

Dritter Abschnitt.

Untersuchung.

Achtes Kapitel.

Von dem Muskelstrome und seinen Bewegungserscheinungen am lebenden unversehrten Thiere.

§. I.

Von dem Strome der ruhenden Muskeln bei Gegenwart der Haut, den Hautungleichartigkeiten des Frosches und der Entwicklung des Muskelstromes scheinbar in Folge des Enthütens.

Die thierischen Theile, deren elektromotorische Thätigkeit wir bisher untersucht haben, befanden sich zwar stets in einem dem des unversehrten Lebens noch am ehesten vergleichbaren Zustande. Wir haben gesehen, daß die elektromotorische Thätigkeit sogar abhängig ist von gewissen Veränderungen der thierischen Theile, welche ihre eigenthümlichen Lebensäußerungen ausmachen, daß sie mit dem Eintreten solcher Leichenveränderungen verschwindet, wodurch diese Aeußerungen unmöglich gemacht werden (S. oben Abth. I. S. 159. 160. 284).¹ Es scheint demnach, als könne kein Zweifel darüber obwalten, daß die elektromotorische Thätigkeit auch während des unversehrten Lebens selber im Thiere vorhanden sei. Nichtsdestoweniger hatte ich es, wie man sich erinnert, vorgezogen, mich oben Abth. I. S. 160, als uns die Abhängigkeit des Muskelstromes von dem Lebenszustande des

¹ Unter »Abth. I.« ist in den rückweisenden Anführungen fortan stets die erste Abtheilung des zweiten Bandes dieses Werkes zu verstehen. S. oben S. ... bezieht sich auf vorliegende zweite Abtheilung desselben Bandes.

Muskels zuerst bekannt wurde, in der Art auszudrücken, daß dadurch die Erscheinung als eine nur an dem lebendigen Gewebe mögliche bezeichnet wurde; es unentschieden lassend, ob sie eine ihm wesentlich angehörige, oder eine vielleicht nur unter bestimmten, durch den Versuch gesetzten Bedingungen daran auftretende sei. Die nächste Folge wird zeigen, daß diese Vorsicht nicht am unrechten Orte war, insofern es wenigstens noch ausgedehnter und schwieriger Untersuchungen bedarf, um die Gegenwart der elektromotorischen Thätigkeit, in der vollen Größe, wie wir sie in unseren bisherigen Versuchen kennen gelernt haben, auch am lebenden unversehrten Thier außer Zweifel zu stellen.

1. Von dem Strom an den entblößten Muskeln und Nerven lebender Thiere.

Daß am lebenden Thiere bloßgelegte Muskeln die nämlichen Erscheinungen darbieten, als an dem getödteten Thiere oder nachdem sie vom Organismus getrennt sind, ist uns von früher her bewußt. Man erinnert sich, daß bereits eine der ersten Mittheilungen MATTEUCCI'S über den Froschstrom, vom November 1837, am lebenden Thier angestellte Versuche enthält, in denen die physiologische Wirkung dieses Stromes von den enthäuteten Beinen und den aus der aufgeschlitzten Flanke hervorgeholten Ischiadnerven gewonnen wurde. Der Strom sei am lebenden Thier schwächer als am getödteten, in stetem Abnehmen begriffen und verschwinde endlich ganz und gar. Werde nun der Frosch getödtet und nach GALVANI'S Vorschrift zubereitet, so erhalte man starke Zuckungen unter den nämlichen Umständen, wo sie am lebenden Thiere versagt hatten (S. oben Bd. I. S. 117. 118). CIMA bemerkt, daß das Ergebniss dieser Versuchsweise meist nur ein sehr zweifelhaftes sei.¹ Ein Jahr nach jener ersten Mittheilung giebt MATTEUCCI an, daß er auf die nämliche Art die Multiplicatorwirkung des Stromes am lebenden Frosche beobachtet habe.² Später hat MATTEUCCI, um diese Wirkung am lebenden Thiere nachzuweisen, eine Säule aus lebenden Fröschen angewendet. Sie werden mit den Vorderpfoten auf sein Froschbrett genagelt (S. oben Bd. I. S. 229), so zugerichtet, daß die Beine nur noch durch die Ischiadnerven mit dem Rumpfe zusammen-

¹ ANTONIO CIMA, Saggio storico-critico e sperimentale sulle contrazioni galvaniche e sulle correnti elettro-fisiologiche. In ZANTEDESCHI'S Raccolta fisico-chimica italiana ec. 1848. vol. III. p. 467.* — S. die Bemerkungen über diese Arbeit in den Nachträgen am Schlusse des Werkes.

² S. oben Bd. I. S. 119; — vergl. Essai etc. p. 76. 83*; — Traité etc. p. 87.*

hängen, und die Nerven des einen immer mit dem Unterschenkel des nächstfolgenden in Berührung gebracht. Die beiden Enden der Säule stehen durch feuchte Fließpapierstreifen mit den bekannten Endlöchern in Verbindung, die in das Brett gegraben, mit Wasser gefüllt sind, und die metallischen Multiplicatoren enthalten.¹

Diese Angaben beziehen sich auf MATTEUCCI'S angeblichen Froschstrom (courant propre), eine andere Reihe auf seinen sogenannten Muskelstrom (courant musculaire). MATTEUCCI'S Grundversuch für den Muskelstrom besteht bekanntlich darin, daß er den Nerven des stromprüfenden Froschschenkels in der Muskelwunde eines lebenden oder frisch getödteten Thieres umherschleift. Ebenso roh wird mit dem Multiplicator verfahren: »Je blesse le muscle (?) de la poitrine ou de la cuisse sur un animal vivant, après avoir découvert la surface de ce muscle. Je touche alors dans le même temps, avec les deux lames du galvanomètre, l'intérieur de la blessure et la surface du muscle blessé. J'observe un courant qui est de 20°, 30°, 40°, etc., dirigé dans le muscle de l'intérieur à la surface.«² Der Versuch wurde an Kaninchen, Hammeln und Tauben angestellt. Nach zwei- oder dreimaliger Wiederholung versagt die Ablenkung, oder kehrt sich auch wohl um. MATTEUCCI selber ist mit diesem Verfahren nicht recht zufrieden und hat daher noch ein anderes am Frosch ersonnen. Frösche, welche mit den Vorderpfoten auf ein Brett genagelt sind, werden so zugerichtet, daß dem einen der enthäuteten Beine nur der Oberschenkel, dem anderen nur der querdurchschnittene Oberschenkel bleibt, und so angeordnet, daß der Stumpf des letzteren stets auf die Außenfläche des ersteren am nächstliegenden Frosche trifft. Eine solche Säule aus vier Gliedern, die Endlöcher mit Wasser gefüllt, gab 12° Ausschlag in der gewöhnlichen Richtung des Muskelstroms.³

Um aber diesen Strom auch an lebenden warmblütigen Thieren nicht unerwiesen zu lassen, hat MATTEUCCI einen Weg eingeschlagen, der wenigstens seiner Absonderlichkeit halber unsere Aufmerksamkeit verdient. Er schneidet nämlich lebendigen Tauben die Flügel halb fort

¹ Traité etc. p. 88.*

² Archives de l'Électricité. 1842. t. II. p. 446;* — 1843. t. III. p. 15;* — Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 331;* — Avril 1843. ibid. t. VII. p. 436;* — Annales des Sciences naturelles. 1843. 2. Série. t. XIX. Zoologie. p. 322;* — Traité etc. p. 65.* — S. oben Bd. I. S. 528. Bd. II. Abth. I. S. 146.*

³ Archives de l'Électricité. 1843. t. III. p. 16;* — Annales de Chimie et de Physique. Avril 1843. 3. Série. t. VII. p. 436. 437;* — Annales des Sciences naturelles. 1843. 2. Série. t. XIX. Zoologie. p. 323;* — Traité etc. p. 65. 66.*

— »je coupe à moitié les ailes d'un pigeon« — wickelt ihnen eine leinene Rollbinde mehrmals um den Leib, so dafs sie, in die Rückenlage gebracht, unbeweglich darin verharren, und enthäutet beide Oberschenkel. Dann wird von dem Oberschenkel derselben Seite an allen Tauben mit einem Scheermesser ein Stück Muskelfleisch abgetragen, das nur enthäutete Bein je einer Taube mit der Muskelwunde der nächstliegenden in Berührung gebracht und beide Beine fest zusammengebunden. Die beiden Enden einer so zusammengesetzten fünfgliedrigeren Säule, d. h. der nur enthäutete Schenkel des einen Endgliedes und die Muskelwunde des anderen, werden mit Fließpapier bedeckt, das mit destillirtem Wasser angefeuchtet ist, und das Papier mit den Platinenden des Multiplicators berührt; es erfolgen 15° Ausschlag. Beim dritten Schliessen beträgt indessen die Ablenkung nur noch 6° . Sie hebt sich von Neuem, wenn das geronnene Blut von der Wunde entfernt wird. Nach einer Viertelstunde starb die eine Taube, und die anderen, sagt MATTEUCCI, würden ihrem Beispiel schleunigst gefolgt sein, wenn er sich nicht beeilt hätte, die Binde aufzutrennen. Dies rührte sowohl von der beengten Athmung als dem Blutverlust her. Um dem letzteren Uebelstande vorzubeugen, legte MATTEUCCI die Wunde mehrere Tage vorher an und verband sie mit einem in Oel getränkten Läppchen, unter welchem sich, nach drei bis vier Tagen, ein Schorf vorfand, der sich ohne beträchtliche Blutung entfernen liefs. Eine Säule aus vier solchen Tauben gab 25° , 15° , 7° Ausschlag. Auch bei dieser Art des Versuches würden aber die Thiere bald erstickt sein, wenn MATTEUCCI sie nicht aus ihren Banden befreit hätte. Es wurden daher die Wunden angefrischt und erst nach mehreren Tagen dasselbe Ergebnifs nochmals beobachtet.¹ CIMA hat den Versuch wiederholt. Sechs grofse Tauben gaben ihm eine Ablenkung von 36° , die nach 6' nur noch 15° betrug, und nach anderen 10' ganz erlosch.²

Endlich würde hier noch zu gedenken sein des oben Bd. I. S. 524 Anm.³ bereits erwähnten Versuches, durch den MATTEUCCI sich bemühte, das Dasein des Muskelstromes am lebenden menschlichen Körper selbst darzuthun. Er erhielt Zuckungen des stromprüfenden Froschschenkels, als er mit dem Nerven desselben auf passende Weise den

¹ Comptes rendus etc. 11 Mars 1844. t. XVIII. p. 443; * — L'Institut. 1844. t. XII. No. 533. p. 90.* — Annales de Chimie et de Physique. 3. Série. Juin 1844. t. XI. p. 403.* — Annales des Sciences naturelles. 1844. 3. Série. t. I. Zoologie. p. 191.* — Leçons sur les Phénomènes physiques des Corps vivants. Paris 1847. p. 187.*

² Saggio storico-critico ec. Ivi, p. 482.*

³ Vergl. Leçons etc. p. 178.*

Kreis schloß zwischen dem Inneren einer Wunde, wodurch ein Muskel des Beines bloßgelegt war, und der Oberfläche (?).

Erfahrungen der Art, betreffend die Gegenwart des Muskelstromes an bloßgelegten Theilen lebender Thiere, habe auch ich in ziemlicher Anzahl gemacht. Die Mehrheit derselben wurde bei anderen Gelegenheiten nur beiläufig gewonnen und ist im Laufe der vorigen Untersuchungen schon mitgetheilt worden. Man entsinnt sich wohl, daß wir die negative Schwankung des Muskelstromes beim Tetanisiren auf elektrischem Wege und durch Strychninvergiftung an dem Gastrokne-mius eines lebenden Frosches beobachteten, von dessen Rückenmark aus sich die Innervation noch ungehindert bis zum Muskel hin fort-pflanzte (S. oben Abth. I. S. 55. 515 ff.). Entsprechende Versuche wurden mit dem Nervenstrom ange-stellt (S. oben Abth. I. S. 474. 475. 510. 605). Auch habe ich den Strom eines lebend enthäuteten Frosches untersucht und an Richtung und Stärke ganz übereinstimmend gefunden mit dem Strom eines durch Gehirnerschütterung oder sonst auf irgend eine Weise getödteten und enthäuteten Gesamtfrosches (S. oben Bd. I. S. 463 ff.).

Unstreitig beweisen diese Versuche, daß die elektromotorische Thätigkeit auch bei noch bestehendem Zusammenhange mit dem seiner selbst mächtigen Centralnervensysteme und zum Theil ungestörtem Blut-umlauf stattfinden könne. Es ist danach, in der That, von vorn herein gar kein Grund vorhanden, an der elektromotorischen Thätigkeit im unversehrten lebenden Körper zu zweifeln. Theoretisch läßt sie sich, bei diesem Stande der Dinge, nun vollends (S. oben S. 1) als erwiesen betrachten, da nicht anzunehmen ist, daß die bloße Gegenwart der Haut hier von irgend einer wesentlichen Bedeutung sei. Es würde aber nunmehr darauf ankommen, diese Schlußfolge, so wahr-scheinlich sie sich darstellt, auch durch unmittelbare thatsächliche Beweise zu erhärten. Es muß der Versuch gemacht werden, den Strom nicht nur an den nicht enthäuteten Gliedmaßen, sondern sogar am lebenden unversehrten Thiere selber nachzuweisen.

Merkwürdig genug finden wir uns auf diesem, doch so natürlich scheinenden Wege allein. MATTEUCCI hat denselben nie betreten. In seinen zahllosen Abhandlungen über den Frosch- und Muskelstrom kommt er nicht ein einzigesmal auf den doch so nahe liegenden Ge-danken, statt den enthäuteten Frosch, einmal den nicht enthäuteten in den Kreis des Multiplicators zu bringen. MATTEUCCI scheint diesen Versuch nicht für nothwendig gehalten zu haben, aber aus dem ent-gegengesetzten Grunde von dem, weshalb er uns fast überflüssig dünkt. Für MATTEUCCI ist es von vorn herein eine ausgemachte

Sache, dafs im lebenden unversehrten Thier keine Spur des Muskelstromes zu finden sei. Seiner Meinung nach entsteht dieser Strom erst durch das Anlegen des leitenden Bogens an die Muskeln. In dem lebenden Thiere sollen die in dem Muskel bei seiner Ernährung entwickelten Elektricitäten sich an denselben Punkten wieder vereinigen, an welchen sie frei wurden, gleichwie, nach der chemischen Hypothese von dem Ursprunge des elektrischen Stromes, die Elektricitäten, die sich beim Eintauchen eines Stückes Zink in verdünnte Säure entwickeln. Das Blut sei die saure Flüssigkeit, die Muskelfaser das positive Metall; der Hülle der Primitivmuskelfaserbündel wird die Rolle des negativen Metalles zugeschrieben, und nichtsdestoweniger angenommen, wie eben gesagt wurde, dafs erst bei Gegenwart eines künstlich hinzugetragenen Bogens ein Strom entstehe (S. oben Bd. I. S. 548. 683. 684. Bd. II. Abth. I. S. 102). Auch CIMA huldigt diesen sinnlosen Meinungen, ja er geht so weit zu behaupten, es sei unmöglich, eine richtigere und weniger hypothetische Theorie des Muskelstromes zu geben.¹

Die ausdrücklich geltend gemachte Einsicht, dafs im lebenden Thiere kein elektrischer Strom kreise, verhindert übrigens MATTEUCCI nicht, in den Aufschriften seiner Arbeiten, in den allgemeinen Redensarten über ihre Bedeutung fortwährend im Munde zu führen die »existence du »courant musculaire dans les animaux vivants ou récemment tués«²; oder z. B. im *Traité etc.*, wo es doch p. 123 heifst: »Les résultats »auxquels nous sommes parvenus sont bien loin de prouver l'existence »de l'électricité libre dans les animaux vivants«³, sich p. 71. 72 zu fragen: »Mais quelle est l'intensité primitive du courant musculaire »dans les différents animaux? Quelle est cette intensité dans l'animal »vivant?... Nous exposerons, par la suite, les faits qui nous conduisent à conclure que l'intensité du courant musculaire dans l'animal »vivant augmente avec son rang dans l'échelle.«⁴ Natürlich; denn schwerlich würde es ihm gelungen sein, mit diesen Arbeiten so viel Aufsehen zu erregen, wenn es in die Augen gesprungen wäre, dafs es

¹ Saggio storico-critico ec. Ivi, p. 543.*

² Comptes rendus etc. 23 Janvier 1843. t. XVI. p. 197;* — L'Institut. 1843. t. XI. No. 475. p. 86.* — Annales de Chimie et de Physique. Avril 1843. 3. Série. t. VII. p. 425;* — Archives de l'Électricité. 1843. t. III. p. 5;* — Annales des Sciences naturelles. 1843. 2. Série. t. XIX. Zoologie. p. 313.* — *Traité etc.* p. 51. 67.*

³ Vergl. Annales de Chimie et de Physique. Avril 1843. 3. Série. t. VII. p. 457;* — Annales des Sciences naturelles. 1843. 2. Série. t. XX. Zoologie. p. 89.*

⁴ Annales de Chimie et de Physique. Avril 1843. 2. Série. t. VII. p. 440. 441;* — Archives de l'Électricité. 1843. t. III. p. 20;* — Annales des Sciences naturelles. 1843. 2. Série. t. XIX. Zoologie. p. 326.*

sich darin, seiner eigenen Ueberzeugung nach, um nichts handele, als um eine lediglich von den Bedingungen des Versuches abhängige, mit den besonderen Lebenseigenschaften des Muskels in gar keiner Verbindung stehende Leichenerscheinung.

2. Vom elektromotorischen Verhalten des lebenden oder todten, äußerlich unversehrten Frosches, wie auch seiner nicht enthäuteten Gliedmaßen.

Folgendes sind nun die Ergebnisse der hier in Rede stehenden Untersuchung. Tödtet man einen Frosch, ohne seine Haut zu verletzen, gleichviel sonst in welcher Weise, also z. B. durch Gehirnerschütterung (S. oben Bd. I. S. 459) oder durch Gift, und legt ihn nach kürzerer oder längerer Zeit ohne ihn zu enthäuten in der oben Bd. I. S. 464 angegebenen Art auf die Zuleitungsgefäße des Multiplimators für den Muskelstrom¹ auf, so erfolgt in den seltensten Fällen ein aufsteigender Ausschlag, wie man ihn erwarten sollte nach dem Erfolg desselben Versuches am enthäuteten Frosche. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle ist vielmehr der Strom absteigend; er beläuft sich auf etwa 40° Ausschlag. In anderen Fällen ist die Wirkung unmerklich, in einigen wenigen erfolgt ein aufsteigender Strom. Endlich kommt es auch vor, daß die Nadel zuerst in dem einen Sinne einen Stofs erhält, aber alsbald stillsteht, wiederkehrt und zuletzt einen Ausschlag in dem dem ersten entgegengesetzten Sinne beschreibt.

Nicht anders ist der Erfolg beim Auflegen des nicht enthäuteten GALVANI'schen Präparates oder des Unterschenkels. Wegen des Zurückziehens der Haut muß man sie bei diesen Versuchen, wie bei Amputationen, höher durchschneiden, als es nöthig scheint, wenn die Gliedmaßen wirklich damit bedeckt bleiben sollen; nämlich bei dem GALVANI'schen Präparat durch einen Zirkelschnitt dicht unter den Armen, bei dem Unterschenkel dicht unter dem Becken.

Das Ergebniss des Versuches mit dem Gesamtfrosch bleibt dasselbe, wenn der Frosch lebend ist, wie zu erwarten war. Natürlich sträubt er sich dabei heftig schon allein wegen der Rückenlage, die man ihm beim Auflegen ertheilen muß, vollends wegen des Reizes der gesättigten Kochsalzlösung am Kopf und den Schwimnhäuten. Diese färben sich alsbald dunkel rosenroth und sterben leicht später nebst den Zehen brandig ab. Um dies zu verhüten sowohl als um das Thier

¹ Der Multiplimator für den Muskelstrom ist fortan stets gemeint, sobald nicht ausdrücklich erwähnt ist, daß der Multiplimator für den Nervenstrom (S. oben Abth. I. S. 495) angewendet worden sei.

nicht unnütz Qualen auszusetzen, muß man es sogleich nach dem Versuch in ein Gefäß mit Wasser thun, in welchem es in den ersten Augenblicken wie rasend umherfährt.

Um am unversehrten lebenden Frosch den Strom des GALVANI'schen Präparates zu untersuchen, bediene ich mich der oben Bd. I. S. 453 beschriebenen, uns schon von früherher bekannten Vorrichtung zur Befestigung des lebenden Frosches in der ebendas. Fig. 24. Taf. III abgebildeten Gestalt, jedoch ohne die in der Figur sichtbaren Froschhautklemmen, die zu einem später anzustellenden Versuch gehören. Ich tauche nämlich die Füße, welche zwischen den beiden dazu bestimmten Fortsätzen unverrückbar festgebunden sind, unmittelbar in das eine Zuleitungsgefäß. Dies geschieht am bequemsten, indem der ganze Rahmen mit dem Frosche um die Axe *zz'* Fig. 22. Taf. IV ebendas. nach hinten geneigt wird. Die Flüssigkeit des anderen Zuleitungsgefäßes setze ich mit dem Rücken des Frosches in Verbindung durch einen ungefähr 110^{mm} langen, 15^{mm} breiten und 10^{mm} dicken Bausch, dessen eines Ende in die Flüssigkeit taucht, und dessen anderes Ende ich wie einen Sattel auf den Frosch auflege; wir wollen diesen Bausch Sattelbausch nennen. Er wird, im Verfolg dieser Untersuchungen, noch vielfach in Gebrauch gezogen werden. Der Sattelbausch kann zugleich, anstatt des Schließungsrohres, zum Abgleichen der Vorrichtung zwischen je zwei Versuchen dienen. Um ihn, tiefend von Salzlösung, frei in den Zuleitungsgefäßen handhaben zu können, ist es hier ganz unerlässlich, die Vorrichtung mit den oben Bd. I. S. 220 beschriebenen, Fig. 8. 9. 10. Taf. II ebendas. abgebildeten Sicherheitsplatten zu versehen.

Schließt man nun auf diese Art die unteren Extremitäten des lebenden unversehrten Frosches zur Kette, so findet man ganz das Nämliche wie am nicht enthäuteten GALVANI'schen Präparat. Man erhält bald absteigende, bald keine, bald aufsteigende, bald doppelsinnige Wirkungen; die aufsteigenden nicht so häufig als die absteigenden; die Ausschläge können bis 90° betragen.

Beim ersten Anblick nehmen sich diese Erfolge freilich sehr trostlos aus. Wo ist in diesem regellosen Gewirr starker und schwacher, auf- und abfließender Ströme, welches keine andere Spur von Gesetz wahrnehmen läßt, als ein gewisses unverkennbares Vorwiegen der absteigenden Richtung, wo ist da der stets die Nadel mit gleicher Heftigkeit an die positive Hemmung werfende Muskelstrom entfernterwise wiederzuerkennen? Indessen bei weiterem Fortschritt der Untersuchung gestaltet sich die Sache bald etwas günstiger. Es findet sich nämlich, daß alle diese bisher erwähnten Wirkungen, gleichviel wie sie sich ursprünglich darstellten, in kurzer Zeit einer Wirkung von ganz an-

derer Beschaffenheit das Feld räumen. Diese besteht in einem aufsteigenden Strome, der 10 — 35° Ausschlag geben kann. Es kehren sich also, im Verfolg des Versuches, die absteigenden Wirkungen um, die man von den nicht enthäuteten Gliedmaßen erwähnter Weise in den meisten Fällen erhält; oder es entsteht jene aufsteigende Wirkung nachträglich, wenn anfangs Gleichgewicht im Kreise herrschte; oder endlich es sinken auf das angegebene Maß die weit stärkeren aufsteigenden Wirkungen herab, die in seltenen Fällen beim ersten Schließen der Kette beobachtet werden. Bei Untersuchung des GALVANI'schen Präparates am lebenden Thiere mittelst des Sattelbauses erleidet die schliesslich sich ergebende aufsteigende Wirkung weiter keine Veränderung mehr. Hingegen beim erschlagenen oder vergifteten äußerlich aber unversehrten Frosch, dem GALVANI'schen Präparate, dem Unterschenkel ist merkwürdiger Weise jene Wirkung stundenlang in langsamem Wachsen begriffen, so daß sie endlich eine sehr beträchtliche Größe, 60 — 70°, erreicht.

Diesen letzteren Umstand des fortdauernden Wachsens der schliesslich entstandenen aufsteigenden Wirkung der nicht enthäuteten Präparate wollen wir vor der Hand ganz aus dem Spiele lassen. Seine Ursache und Bedeutung wird später klar werden, wenn wir auf einem ganz anderen Wege mit gereifterer Einsicht darauf zurückgeführt werden¹. Was aber jene aufsteigende Wirkung betrifft, so wäre es offenbar thöricht, wenn wir uns weigern wollten, darin den Muskelstrom zu erkennen, wie wir gewohnt sind, ihn an den enthäuteten Gliedmaßen zu beobachten. Sie erscheint freilich dafür erstaunlich schwach; indessen werden sich dafür ja wohl die Gründe finden lassen, und es bleibt uns unbenommen, die Natur der Wirkung als einerlei mit dem Muskelstrome, noch durch anderweitige Versuche festzustellen. Zunächst handelt es sich hier darum, die ihrer Größe und Richtung nach scheinbar so ganz regellosen Ausschläge zu erklären, die das erste Schließen der nicht enthäuteten Gliedmaßen zur Kette begleiten und die Erscheinung des Muskelstromes, wenn jene Wirkung in der That einerlei mit ihm ist, anfänglich verdecken.

3. Von den Ungleichartigkeiten der Hautoberfläche des Frosches.

Die schnelle Vergänglichkeit der letzterwähnten Wirkungen scheint darauf zu deuten, daß der Sitz ihrer Quelle am Froschkörper ein sehr

¹ S. unten §. II. 14.

oberflächlicher sei. Die unbeständige, im Allgemeinen aber doch vorzugsweise absteigende Richtung der Ausschläge macht dies noch wahrscheinlicher, da wir ja allen Grund haben anzunehmen, daß unter der Haut die Gliedmaßen in aufsteigendem Sinne thätig sind. Es ist ganz klar, wir haben es hier vor der Hand mit nichts zu thun, als mit Ungleichartigkeiten der Hautoberfläche des Frosches.

Es hält nicht schwer, hiefür einen entscheidenden Beweis zu liefern. Er liegt darin, daß man ganz dieselben Wirkungen, ganz auf dieselbe Weise, auch an bloßen ausgeschnittenen Hautstücken des Frosches beobachten kann. Man legt ein solches Stück mit der innern Fläche auf eine Glastafel von beiläufig 150^{mm} Länge und 50^{mm} Breite, die man mittelst der wagerechten Klemme des allgemeinen Trägers in der Höhe der oberen Fläche der Zuleitungsbäusche aufstellt, und brückt zwischen dieser oberen Fläche und beliebigen Punkten des Hautstückes mit Kochsalzlösung getränkte vierseitig prismatische Hülfsbäusche gleich denen, welche oben Abth. I. S. 511 beschrieben, Fig. 129. Taf. IV. abgebildet sind. Alsdann erhält man Ströme von verschiedener Stärke, welche aber bis zu 70° Ausschlag geben können und in deren Richtung sich beim ersten Anblick ebensowenig Gesetzmäßigkeit blicken läßt als in der der Ströme, die wir von den nicht enthäuteten Gliedmaßen erhielten.

Da man aber hier nach Belieben bald mit dem einen, bald mit dem anderen Hülfsbausch die Schließung des Kreises vollziehen oder neue Stellen der Haut berühren kann, so gelingt es bald, hinter das geheime Gesetz jener Wirkungen zu kommen. Es zeigt sich nämlich, daß sie ganz einfach beruhen auf der ungleichzeitigen Berührung der Froschhaut mit den Bäuschen. Es geht nämlich stets der Strom in die Froschhaut von dem Bausch aus, oder es verhält sich positiv stets der Bausch, der sie zuletzt berührt hat. Legt man beide Bäusche möglichst gleichzeitig auf, so bleibt die Nadel vergleichsweise in Ruhe.

Ein dauernder Gegensatz beider Berührungsstellen kann begreiflich nicht die Folge der ungleichzeitigen Berührung sein. Es versteht sich somit von selber, daß die Wirkungen nur vorübergehender Art sind. Auch die heftigsten Ausschläge hinterlassen keine beständige Ablenkung. Wenn man den Kreis auch nur wenige Minuten dauernd geschlossen hält, findet man, bei Verbindung der beiden Hülfsbäusche durch den Schließungsbausch, der in Bezug auf den Multiplicatorkreis eine Nebenleitung von verschwindendem Widerstande bildet, keine Spur von Ladungen vor.

Soweit kommen diese Ströme wegen ungleichzeitiger Berührung der Froschhaut mit den Bäuschen also ganz überein mit denen durch

ungleichzeitige Benetzung von Metallen (S. oben Bd. I. S. 210). Allein hier läßt sich die Wirkung beliebig oft erneuen, indem man die eine Elektrode wiederum der Luft und der Trocknifs aussetzt. Diese Wirkung beruht darauf, daß die metallische Oberfläche, je nachdem sie eingetaucht oder in der Luft befindlich ist, zwei verschiedene Zustände annimmt, aus deren einem in den anderen und zurück sie beliebige Male übergeführt werden kann. Anders ist es mit den in Rede stehenden Strömen wegen ungleichzeitiger Berührung der Froschhaut mit den Bäuschen. Es büßt nämlich die Froschhaut in dieser Berührung ihre Wirksamkeit sehr bald völlig ein.

Sind zwei Hautstellen einige Minuten lang durch die Bäusche zum Kreise geschlossen gehalten worden, wobei die Nadel des Multiplicators, wenn er sich im Kreise befindet, erwähntermassen auf Null kommt, so gelingt es nicht mehr, durch ungleichzeitige Berührung derselben Stellen mit den Bäuschen einen Ausschlag zu erhalten. Aber bei Berührung einer dieser Stellen und einer frischen Stelle erhält man einen Ausschlag in der Haut von der frischen nach der anderen Stelle hin, wobei es nunmehr gleichgültig ist, ob die Berührung gleichzeitig oder ungleichzeitig geschah, und wenn das Letztere, ob der Bausch an der frischen oder der Bausch an der alten Berührungsstelle später aufgelegt wurde. Um zwei Hautstellen in der Art unwirksam zu machen, daß sie bei ungleichzeitiger Berührung keinen Strom mehr geben, und daß sich jede von ihnen negativ gegen eine frische Hautstelle verhält, ist es aber nicht einmal nöthig, sie durch die Bäusche zum Kreise zu schliessen. Es genügt, ihnen die Bäusche ungeschlossen einige Minuten hindurch anzulegen. Ja, bepinselt man einfach ein Stück Froschhaut mit gesättigter Kochsalzlösung, so giebt es bei ungleichzeitiger Berührung mit den Bäuschen keine Ströme mehr.

Der nächste Grund dieser Ausschläge wegen ungleichzeitiger Berührung ist sonach klar. Jede Berührungsstelle ist der Sitz einer elektromotorischen Kraft in der Richtung von dem Bausch in die Haut hinein. Allein die Berührung der Salzlösung beeinträchtigt zugleich die Ursache dieser elektrischen Triebkraft. - Daher bei ungleichzeitiger Berührung der Strom im Sinne der Triebkraft an der jüngsten Berührungsstelle, der so lange anhält, bis der Unterschied der Triebkräfte an beiden Stellen unmerklich geworden ist.

Hier könnten wir, genau genommen, die Untersuchung der Hautungleichartigkeiten auf sich beruhen lassen. Wir wissen genug davon, um nunmehr unsere Forschungen über den Muskelstrom ungestört durch dieselben fortsetzen zu können. Indessen wollen wir diese Anwendung der gewonnenen Einsicht noch etwas aufschieben und

wenigstens den Versuch machen, der entfernteren Ursache der in Rede stehenden Erscheinungen etwas näher zu rücken.

Alle Punkte der äußeren Oberfläche der Froschhaut, gleichviel z. B. ob dem Rücken oder dem Bauch angehörig, verhalten sich in gleicher Weise. Hingegen die innere Fläche der Haut zeigt die Ströme wegen ungleichzeitiger Berührung nicht. Nur eine leise Spur davon nahm ich wahr, und zwar diese in umgekehrter Richtung von der der Ströme an der äußeren Oberfläche, nämlich von dem zuerst berührten Punkte durch die Haut zum zuletzt berührten. Von der äußeren Oberfläche derselben Hautstücke, welche diese Erfolge gaben, erhielt ich beiläufig später noch die heftigsten Wirkungen bei ungleichzeitiger Berührung, zum Zeichen, daß die Unwirksamkeit der inneren Fläche auf keiner Täuschung beruhte.

Breitet man ein Stück Haut auf der Glastafel dergestalt aus, daß die eine Hälfte gegen die andere verdreht ist, also die eine Hälfte innere, die andere äußere Hautoberfläche zu Tage kehrt, und berührt man beide Hälften mit den Bauschen entweder gleichzeitig, oder so, daß man den Bausch für die äußere Oberfläche oder den äußeren Bausch zuletzt auflegt, so erhält man einen ungemein heftigen Ausschlag stets in der Richtung von der äußeren Berührungsstelle durch die Haut zur inneren Berührungsstelle. Der Strom verschwindet allmählig, obwohl er länger wahrnehmbar bleibt, als der zwischen zwei Stellen der äußeren Oberfläche. Dieser nämlich muß erwähntermassen bereits verschwinden, wenn der Unterschied der Triebkräfte an beiden Stellen klein genug geworden ist, um am Multiplicator für den Muskelstrom keinen merklichen Strom zu erzeugen; in dem gegenwärtigen Fall dagegen, wo auf der einen Seite keine Triebkraft vorhanden ist, muß der Strom so lange sichtbar bleiben, bis die einzelne Triebkraft so klein geworden ist, wie dort der Unterschied der beiden Kräfte. Legt man den äußeren Bausch zuerst auf, so erhält man gleichfalls einen Ausschlag in der vorgedachten Richtung, der aber um so schwächer ist, je länger der Bausch bereits auflag. Hat man die äußere Hautfläche vor der Berührung mit Kochsalzlösung bepinselt, so erfolgt kein Ausschlag mehr. Rückt man den äußeren Bausch von der Stelle, so zeigen sich heftige Ausschläge immer in der nämlichen Richtung. Rückt man dagegen den inneren Bausch, so sind die Ausschläge unvergleichlich kleiner und haben die verkehrte Richtung, d. h. aus der Haut in den Bausch hinein.

Versieht man die Hilfsbäusche an den Stellen, mit denen sie die Froschhaut berühren, noch mit anderen Hilfsbäuschen von etwa 10^{mm} Seite und 3^{mm} Dicke, so hat man die Leichtigkeit, das elektromotorische

Verhalten der Haut bei Berührung auch noch anderer Flüssigkeiten als der Kochsalzlösung zu prüfen. Man braucht alsdann nur jene Hilfsbäusche zweiter Ordnung mit der betreffenden Flüssigkeit zu tränken, und läuft nicht mehr Gefahr, dabei die Zuleitungsbäusche selber zu verunreinigen. Diese Untersuchung muß geeignet sein, uns in Betreff der entfernteren Ursache der in Rede stehenden Ströme, der Quelle nämlich jener elektrischen Triebkraft aus dem Bausch in die Haut hinein, einige Fingerzeige zu verschaffen. Die erste Flüssigkeit, die ich dergestalt versuchte, war Brunnenwasser.

Es schien klar, daß sich bei Anwendung desselben die Wirkungen wegen ungleichzeitiger Berührung nicht würden zeigen können, da ja die Froschhaut immer schon dauernd mit Wasser in Berührung gewesen ist. Diese Vermuthung wurde durch den Versuch bestätigt. Zwar blieb die Nadel, beim Schließen zweier irgendwelcher Stellen der Froschhaut zum Kreise, fast nie in Ruhe; stets erfolgten gröfsere oder geringere Ausschläge. Allein diese Ströme unterschieden sich von den mit den Salzbauschen erhaltenen dadurch, daß ihre Richtung unabhängig war von der Ordnung, in der die Bäusche aufgelegt wurden, und daß sie auch bei noch so langer Schließung nicht merklich an Stärke verloren.

Nichtsdestoweniger schienen sie, mit den Strömen wegen ungleichzeitiger Berührung der Salzbausche, einerlei Ursprungs zu sein. Stellt man nämlich den oben beschriebenen Versuch an der inneren und äußeren Hautoberfläche mit Wasser- statt mit Salzbauschen an, so erhält man, gleichviel in welcher Ordnung man die Bäusche auflege, stets einen heftigen Ausschlag im nämlichen Sinne als mit den Salzbauschen, d. i. von der äußeren Berührungsstelle durch die Haut zur inneren Berührungsstelle. Nach dem Ausschlage kommt aber die Nadel nicht, wie bei Anwendung der Salzbausche, auf Null, sondern diesmal ist die Wirkung beständiger Art. Hat man aber vorher die äußere Hautfläche mit Kochsalzlösung bepinselt und hernach wieder mit Wasser abgespült, so findet man auch mit den Wasserbauschen keinen merklichen Strom mehr nach der inneren Hautfläche hin. Die Berührungsstelle des Wasserbausches mit der äußeren Hautfläche ist also gleich der des Salzbausches der Sitz einer Triebkraft in die Haut hinein; allein das Wasser vernichtet nicht, gleich der Salzlösung, die Quelle dieser Kraft; daher der beständige Strom, der gleichwohl vermisst wird, wenn man seine Quelle vorher mit Kochsalzlösung zerstört hat. So vernichtet auch die Kochsalzlösung die beständige Wirksamkeit verschiedener Punkte der äußeren Hautfläche untereinander bei der nachherigen Berührung mit Wasserbauschen. Berührt man aber mit dem

einen Wasserbausch eine mit Kochsalzlösung unwirksam gemachte Hautstelle, mit dem anderen eine frische Stelle, so erfolgt eine beständige Wirkung nicht anders als wenn statt der künstlich unwirksam gemachten Stelle die innere Hautfläche berührt worden wäre. Man prüfe mittelst der Wasserbäusche das Verhalten zweier Stellen der äusseren Hautfläche gegeneinander. Wir wollen diejenige die positive nennen, an welcher der Strom aus dem Bausch in die Haut geht. Legt man dann den einen Bausch dauernd einer unwirksam gemachten Stelle der äusseren Hautfläche oder der von Natur unwirksamen inneren Hautfläche an, und den anderen Bausch abwechselnd einer von jenen beiden Stellen, so erhält man einen Ausschlag nach der unwirksamen Berührungsstelle hin, jedesmal dafs man den Bausch von der negativen nach der positiven, einen Ausschlag in entgegengesetztem Sinne, jedesmal dafs man den Bausch von der positiven nach der negativen Stelle überträgt. Die positive Hautstelle ist also in Verbindung mit der von Natur unwirksamen oder künstlich unwirksam gemachten die wirksamere. Umgekehrt, hat man zuerst das Verhalten zweier wirksamen gegen eine künstlich oder natürlich unwirksame Hautstelle beobachtet, so kann man sicher sein, beim Prüfen jener beiden untereinander die wirksamere positiv gegen die andere zu finden.

Es scheint demnach angemessen, sich zu denken, dafs die beständigen Wirkungen, die man zwischen verschiedenen Stellen der äusseren Hautfläche mittelst der Wasserbäusche beobachtet, nichts anderes sind, als der Ausdruck des Unterschiedes der Triebkräfte, die an beiden Stellen beständig im Sinne aus dem Bausch in die Haut hinein wirken. Indem wir jetzt dazu übergehen, eine Gesetzmässigkeit in der Richtung und Stärke der beständigen Ströme zu entdecken, die man zwischen verschiedenen Stellen der äusseren Hautfläche wahrnimmt, untersuchen wir daher eigentlich die verschiedene Gröfse der Triebkräfte, welche diese Stellen, beim Schliesen zum Kreise mittelst der Bäusche, in der Richtung aus dem Bausch in die Haut hinein, entwickeln.

Zuerst versuchte ich, ob zwischen der grünen und weissen Gegend der äusseren Hautfläche, deren Gegensatz sich ja bereits im Eierstock vorgebildet findet, eine beständige Strömungsrichtung sich kundgeben würde. Ich schnitt halb grüne, halb weisse Hautringe quer um den Leib des Frosches aus, schnitt sie an der Begrenzung der beiden Farben auf, breitete sie auf der Glastafel aus und untersuchte sie mittelst der Wasserbäusche. Ich erhielt aber keine ganz sichere Ergebnisse. Der Strom ging bald in der Haut vom Weifs zum Grün, bald vom Grün zum Weifs. Merkwürdigerweise aber schwankte die Strömungsrichtung dergestalt weniger von einem Thier einer gleichzeitig

eingefangenen Froschsippschaft zum anderen, als von einer ganzen solchen Sippschaft zur anderen. Bei warmer Sommerwitterung gefangene Frösche zeigten die Richtung vom Weifs zum Grün; bei kalter Witterung in Haft gewesene, oder nach der ersten Herbstkälte an einem warmen Septembertage frischgefangene die Richtung vom Grün zum Weifs, wenn auch nicht unbedingt beständig, doch überwiegend oft. Es schien demnach, als wenn nicht individuelle Unterschiede, sondern mehr äufere Einflüsse allgemeiner Art, zunächst die Temperatur, jene Schwankungen bedingten. Doch will ich darüber keine bestimmte Meinung geäußert haben. Noch unregelmäßiger stellten sich die Erscheinungen an Hautstücken heraus, die rings um die Oberschenkel oder die Unterschenkel ausgeschnitten waren. Namentlich am Unterschenkel gab sich, selbst an den Fröschen, die beständig den Strom vom Bauch zum Rücken darboten, keine Spur eines Gesetzes zu erkennen.

Der Untersuchung, ob an der Froschhaut der Länge nach elektromotorische Unterschiede in beständiger Anordnung vorhanden seien, mußte diejenige vorangehen, ob sich symmetrische Körperstellen untereinander gleichartig verhalten. Dies ist nicht der Fall. Sondern als ich Wasserbäusche an symmetrische Stellen des Rückens, der Ober- und Unterschenkel anlegte, fand ich Ströme vor, die zwar in jedem einzelnen Falle eine wohlausgeprägte Richtung und beständige Gröfse zeigten, jedoch beim Vergleich verschiedener Thiere, wie es auch nicht anders sein konnte, keine Gesetzmäßigkeit blicken liefsen.

Die Untersuchung der Froschhaut ihrer Länge nach mußte somit so geschehen, dafs sie stets ihrer ganzen Breite nach mit den Bäuschen berührt wurde. Ich schnitt den Fröschen die ganze grüne Hautgegend vom Nacken bis zu den Fufsgelenken aus, breitete sie auf der Glas-tafel aus, und legte ihr, dem Obigen gemäfs, Wasserbäusche von 30^{mm} Länge der ganzen Breite des Hautstückes nach an. Wo ich auch die Bäusche anbringen mochte, stets erhielt ich lebhafte Ströme, bald in der einen, bald in der anderen Richtung. Um das Gesetz dieser Ströme, wenn ein solches vorhanden sei, aufzudecken, verfuhr ich so, dafs ich zuerst einen Bausch am Nacken, den anderen am Rücken anbrachte; sodann den Nackenbausch am Kreuz; nun den Rückenbausch an den Oberschenkeln; endlich den Kreuzbausch an den Unterschenkeln, und zuletzt wurden noch Unterschenkel und Nacken mit einander verbunden. Es zeigte sich nun im Allgemeinen, dafs die Ströme von der Gegend des Kreuzes nach aufwärts und von ebenda nach abwärts gerichtet waren. Manchmal war der Rücken der positivste Punkt, wie es denn auch sonst an mancherlei Unregelmäßigkeiten nicht fehlte. Durchaus beständig aber war die aufsteigende

Richtung zwischen Nacken und Rücken, wie auch die absteigende zwischen Nacken und Unterschenkeln. Diese letztere schien darauf zu deuten, daß die gleiche oder grössere Stärke der aufsteigenden Ströme, die man zwischen Kreuz und Nacken wahrnimmt, im Verhältniß zu der Stärke der absteigenden Ströme zwischen Kreuz und Unterschenkeln, auf geringerem Widerstande bei kleinerer elektromotorischer Kraft beruht; denn bei gleicher oder grösserer elektromotorischer Kraft hätte die Strömung zwischen Nacken und Unterschenkeln beziehlich Null oder aufsteigend sein müssen.

Weiter habe ich diese Untersuchung im Einzelnen nicht geführt, deren Interesse mit der Erkenntniß der allgemeinen hier obwaltenden Verhältnisse nachgerade erschöpft war. Ich fuhr nun darin fort, die Erscheinungsweise der Hautströme bei Anwendung verschiedener Flüssigkeiten statt der Kochsalzlösung zu erforschen. Zuerst nahm ich die gesättigten Lösungen von Chlorammonium, Jodkalium, Alaun, schwefelsaurem Kupferoxyd; dann verdünnte Schwefelsäure und käufliche Salpetersäure; endlich eine sehr concentrirte Kalihydratlösung und Ammoniakflüssigkeit.

Das Ergebniß war, daß diese Flüssigkeiten sämmtlich eben solche Ströme wegen ungleichzeitiger Berührung gaben, wie die Kochsalzlösung, und zwar sämmtlich in derselben Richtung. Mit den Salzlösungen hatten die Ströme auch nahezu dieselbe Stärke, mit den Alkalien kamen sie mir schwächer, mit den Säuren stärker vor. Die elektrische Triebkraft in den Berührungsstellen hat also in allen diesen Fällen einerlei Richtung, gleichviel ob die Flüssigkeit, mit der der Bausch getränkt ist, eine stark elektropositive oder -negative Eigenschaft besitzt. Die Schlüsse, die sich hieraus in Betreff des eigentlichen Sitzes jener Triebkraft zu ergeben scheinen, wollen wir bis zu einer späteren Stelle versparen und zuerst den Thatbestand noch weiter aufnehmen.

Die Ströme wegen ungleichzeitiger Berührung der Haut mit den Salzbäuschen scheinen den nackten Amphibien überhaupt eigen zu sein. Wenigstens fand ich sie bei allen vor, deren ich zur Zeit des Abschliessens über diesen Punkt habhaft werden konnte; ausser beim Wasserfrosch (*R. esculenta*) nämlich noch beim Grasfrosch (*R. temporaria*), dem Laubfrosch (*Hyla arborea*), der Feuerkröte (*Bombinator igneus*), der gemeinen Kröte (*Bufo cinereus*), und dem Erdmolch (*Salamandra maculata*). Letzteren verdankte ich der Güte des Herrn C. Eckhard in Giessen. Am stärksten waren die Ströme bei der Kröte. Hingegen vermifste ich sie vollständig bei den Fischen, wo ich sie bisher suchte, dem Aal (*Muraena anguilla*), dem Schley

(*Cyprinus Tinca*), dem Hecht (*Esox lucius*), und dem Barsch (*Perca fluviatilis*).

Dies macht wahrscheinlich, daß die elektromotorische Wirksamkeit der Haut in Verbindung stehe mit der den nackten Amphibien eigenthümlichen Hautabsonderung, welche ja bei der Kröte gleichfalls besonders ausgebildet ist. Legt man der äußeren Hautfläche des Frosches oder der Kröte ein Stück rothes Lackmuspapier an, so findet man es nach einiger Zeit gebläut vor.¹ Legt man aber auf eine harte Unterlage ein Stück Froschhaut, gleichviel von welcher Stelle, auch z. B. vom Bauch, mit der Aufsenfläche nach oben, darüber ein Stück blaues Lackmuspapier, endlich ein Stück starkes Spiegelglas, und preßt das Ganze heftig zusammen, so sieht man durch das Glas auf dem Lackmuspapier einzelne rothe Flecke entstehen, augenscheinlich von dem aus den Hautdrüsen ausgepreßten Milchsaft herrührend. Dieser Saft reagirt also sauer. Bei der Kröte und dem Salamander bedarf es, um dasselbe wahrzunehmen, gar nicht erst dieses Kunstgriffes. Hier quillt der Milchsaft sogleich in hinreichender Menge, um die Untersuchung anzustellen, aus jedem Einschnitt in die Ohrdrüse hervor.²

Zwischen der oben mit Hülfe der Wasserbäusche bestimmten vergleichweisen Wirksamkeit verschiedener Stellen der Froschhaut und der Vertheilung des Drüsenreichthums in der Haut läßt sich zwar keine Beziehung erkennen. Walzt man aber ein Stück Froschhaut zwischen Löschpapier unter heftigem Druck aus, so daß man die Hautdrüsenbälge möglichst von ihrem Inhalt entleert, so zeigt das Hautstück bei der ungleichzeitigen Berührung mit den Salzbäuschen die Ströme nur

¹ Die innere Seite reagirt natürlich gleichfalls und zwar noch deutlicher alkalisch von der sie benetzenden Lymphe.

² LEROUX hat bereits angegeben, daß das Krötengift sauer sei. (*Journal de Médecine*. t. XL. (1817?) p. 75. [In TIEDEMANN'S Physiologie des Menschen. Bd. I. Darmstadt 1830. S. 440]). — Ich weiß daher wirklich nicht, was ich zu JOHN DAVY'S Behauptung sagen soll, der im September 1825 auf Corfu von dem Milchsaft der Kröte ausdrücklich schrieb: »It is neither acid nor alkaline, judging from its not changing the colour of litmus and turmeric paper.« *Philosophical Transactions etc. For the Year 1826. P. II. p. 127.* — Ich ergreife diese Gelegenheit, diejenigen, die sich mit Froschversuchen abgeben, vor den Wirkungen der in Rede stehenden Absonderung auf das Auge zu warnen. Es ist mir im Laufe meiner Untersuchungen dreimal begegnet, daß mir, beim Durchschneiden einer drüsenreichen Hautgegend mit der Scheere, ein Tröpfchen jener Flüssigkeit in's Auge spritzte. Es entstanden sofort alle Zeichen einer lebhaften Entzündung der Bindehaut, und erst nach mehreren Stunden endete der Zufall mit der Abstofsung einer zusammenhängenden Schicht Epithelium. Es ist demnach rathsam, bei jedem Schnitt oder Stich durch die Froschhaut die Augen zu schließen oder das Gesicht abgewendet zu halten.

noch spurweise. Schabt man ferner die Epitheliumschicht, die Pigment-
schicht und die darunter gelegene Schicht der flaschenförmigen Drüsen-
bälge bis auf das Derma fort,¹ so sind die Ströme ebenfalls verschwunden.

Diese Versuche scheinen der Ansicht, als finde eine Beziehung
statt zwischen der elektromotorischen Wirksamkeit der Froschhaut und
ihrer eigenthümlichen Absonderung, einigermassen das Wort zu reden.
Und es könnte scheinen, als wenn durch die Entdeckung der alkalischen
Reaction der Hautoberfläche und der sauren Natur des Drüseninhalts zur
Erklärung jener Wirksamkeit vollends eine bequeme Handhabe geboten
sei. Sucht man indessen die Erscheinungen genauer zu zergliedern, so
sieht man bald, daß hier noch ein völliges Dunkel herrscht, welches
zu erhellen uns auch nicht gelingen wird.

Zunächst ist nun zu berücksichtigen das Ergebniss der Versuche,
in welchen die Berührungsstellen der Bäusche, statt mit Kochsalzlösung,
mit Säuren und mit Alkalien getränkt waren. Aus diesen Versuchen
scheint nämlich unabweisbar zu folgen, daß der Sitz der Triebkraft
nicht die Oberfläche der Froschhaut und ihre Ursache nicht die Berüh-
rung mit den die Bäusche tränkenden Flüssigkeiten sei. Denn wäre
dies der Fall, so könnten nicht die Ströme bei Anwendung der Säuren
und Alkalien einerlei Richtung haben. Es müßte denn die Hautober-
fläche noch elektronegativer sein, als die Säuren, oder noch elektro-
positiver als die Alkalien, was beides nicht ist; und es müßte der Unter-
schied der Triebkräfte bei Anwendung der Säuren und der Alkalien viel
größer sein, als er wirklich ist. Man ist also gezwungen, den Sitz der
Triebkraft nicht an der Grenze der Flüssigkeiten und der Haut, sondern in
der Haut selber zu suchen. Die Flüssigkeiten dienen, abgesehen davon, daß
sie den Kreis bilden helfen, bloß dazu, der Triebkraft an der jüngeren
Berührungsstelle die Oberhand und somit die Möglichkeit zur Erzeu-
gung eines Stromes dadurch zu verschaffen, daß sie durch ihre ver-
derbliche Wirkung die Kraft an der älteren Stelle zuerst schwächen,
endlich vernichten. Es ist keine Frage, daß sie die Haut lebhaft an-
greifen; man erkennt dies deutlich an den mannigfachen Verfärbungen
in's Graue und Braune, denen die Haut an den Berührungsstellen all-
mählig unterliegt.

Nach unserem obigen Versuch, wo nach dem Abschaben der äußeren
Hautlamelle CZERMAK's sich die innere zur Erzeugung der Ströme
unfähig bewies, muß also jene der Sitz der Triebkraft sein. Aber

¹ Ich setze hier den Bau der Froschhaut als bekannt voraus, wie er von
ASCHERSON (Joh. MÜLLER's Archiv für Anatomie und Physiologie u. s. w. Jahrgang
1840. S. 15*) und von J. N. CZERMAK (Ebendas. Jahrgang 1849. S. 252*) be-
schrieben worden ist.

weiter als bis zu diesem Schluss bin ich nicht vorgedrungen. Ich vermag, auch mit Hülfe der Kenntniß der alkalischen Natur der Hautoberfläche und der sauren Beschaffenheit des Drüseninhalts, mir keine irgend läßliche Vorstellung zurechtzulegen über den Ursprung jener Triebkraft und ihre schnelle Vergänglichkeit unter dem Einfluß der Salzlösungen, der Säuren und Alkalien.¹ Was aber die Schwierigkeit, eine solche Vorstellung zu ersinnen, auf das Höchste treibt, ist die verhältnißmäßig ganz ungeweine Größe, die man der fraglichen Triebkraft zuzuschreiben genöthigt ist, wie aus folgenden Versuchen hervorgeht. Benetzt man einen dicken Hülf- oder Zwischenbausch zur einen Hälfte mit verdünnter Salpetersäure, zur anderen mit verdünnter Kalihydratlösung, und berührt man die ungleichartigen Hälften des Bausches mit den Salzbäuschen, so erhält man, wegen der Kochsalzlösung als Zuleitungsflüssigkeit, einen Strom in der Richtung von der Säure zum Alkali in der Flüssigkeit.² Der Ausschlag, den dieser Strom erzeugt, ist aber bei weitem nicht so stark, als der bei ungleichzeitiger Berührung der Froschhaut mit den Salzbäuschen in den meisten Fällen. Ja erst bei Anwendung der unverdünnten käuflichen Salpetersäure und einer höchst concentrirten Kalihydratlösung schlägt die Nadel an die Hemmung. Anschlagen an die Hemmung findet aber fast regelmäßig statt beim Anlegen sogar von Wasserbäuschen an zwei Hautstellen, von denen die eine wirksam, die andere entweder künstlich unwirksam gemacht ist oder der inneren Hautfläche angehört. Nun ist es keine Frage, daß der mit den ungleichartigen Flüssigkeiten benetzte Bausch eine unvergleichlich größere Leitungsfähigkeit besessen habe, als die Froschhaut vollends mit den Wasserbäuschen. Die Froschhaut leitet gerade so schlecht, als es sich bei der Natur der sie durchdringenden thierischen Flüssigkeiten erwarten läßt. Ich nahm einst, zu einem andern Zwecke, ein Stück Schweinsblase, weichte es in Hühnereiweiß auf und schnitt daraus und aus Froschhaut zwei Streifen von gleicher Länge und Breite. Die Streifen legte ich auf eine Glasplatte und ließ abwechselnd die Enden des einen und des anderen in zwei Gefäße mit gesättigter schwefelsaurer Kupferoxydlösung tauchen, in denen die Kupferelektroden einer GROVE'schen Kette enthalten waren. In den Kreis schaltete ich die halbe Länge des Museumsmultiplifiers ein (S. oben Bd. I. S. 202), dessen Empfindlich-

¹ Fast wird man verleitet, sich hier jener vielbesprochenen Hypothese THOMAS YOUNG's zu erinnern, der sich dachte, daß die Absonderungen unter dem Einfluß elektrischer Ströme ihre saure oder alkalische Beschaffenheit erhalten. (S. oben Bd. I. S. 26. 109. 487.)

² Vergl. FECHNER in POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVIII. S. 235.*

keit mit Hülfe eines MELLONI'schen Berichtigungsstabes gehörig herabgestimmt war. Der Widerstand des Streifens Blase und der des Streifens Froschhaut wurden fast genau gleich gefunden. Mit der Blase stellte sich die Nadel auf $19^{\circ}.5$, mit der Haut auf $19^{\circ}.7$ ein. Der Strom war völlig beständig, und ich überzeugte mich, indem ich mit Hülfe einer Wippe abwechselnd die Kette und den Multiplicator in den Kreis der Kupferelektroden brachte, daß, trotz der durch die Gröfse des Gesamtwiderstandes bedingten Schwäche des Stromes, keine Ladungen sich entwickelten (Vergl. oben Abth. I. S. 149). Es folgt, daß die Triebkraft, welche den fraglichen Strömen zu Grunde liegt, unvergleichlich gröfser sein müsse, als die in der Wechselwirkung der Salpetersäure und der Kalihydratlösung zwischen Kochsalz als Zuleitungsflüssigkeit hervortritt.

Ein Paar anderweitige Bemerkungen, die ich über die fraglichen Ströme gemacht habe, tragen zur Aufklärung der hier obschwebenden Fragen nichts Wesentliches bei. Eine halbe Minute, eine ganze Minute, zwei Minuten lang fortgesetzter Aufenthalt in siedendem Wasser vermindert zwar die Stärke der Wirkungen, läfst sie aber sonst unverändert. Fünf Minuten langes Kochen macht ihnen völlig ein Ende. Bei diesem Versuch muß man die Haut gegen ein Brettchen binden, weil sie sich sonst einrollt. Haut, die erst an der Luft, dann 48 Stunden über Schwefelsäure getrocknet und dann wieder in Wasser aufgeweicht worden war, zeigte nur noch eine Spur der Wirkungen, aber im richtigen Sinne. Haut von einem faulenden Frosche zeigte keine Spur mehr davon. Hebt man lebende Frösche, deren Hautoberfläche durch Benetzung mit Kochsalzlösung unwirksam gemacht war, in Wasser auf, so findet man sie nach einiger Zeit wieder wirksam. Frösche, welche lange in der Gefangenschaft gefastet haben, geben ungleich schwächere Hautströme, als frisch eingebrachte.

Die hier in Rede stehenden elektromotorischen Wirkungen der Haut werden wohl im Spiel gewesen sein in den von PFAFF, JOHANNES MÜLLER und mir beobachteten Fällen, in denen die Zuckung ohne Metalle nur erfolgte, wenn die Stelle des Unterschenkels, gegen die der Nerv umgebeugt wurde, noch mit der Haut bekleidet war (S. oben Bd. I. S. 101. 102. 476). Ob die von VALENTIN beobachteten Ausschläge beim Anlegen metallischer Multiplicatorenden an verschiedene Punkte der Oberfläche des Frosches hierher gehören, läfst sich, bei der gänzlichen Untauglichkeit seiner Versuchsweisen, nicht mit Bestimmtheit ermitteln (S. oben Bd. I. S. 129 ff.).

Nach dem hier Dargelegten ist nun auch das oben Abth. I. S. 202 von den elektromotorischen Wirkungen der Haut Gesagte zu ergänzen.

4. Erklärung, mit Hülfe des jetzt erkannten Gesetzes der Hautungleichartigkeiten, des elektromotorischen Verhaltens des lebenden oder todten, äußerlich unversehrten Frosches, wie auch seiner nicht enthäteten Gliedmaßen.

Wir lassen nun die Hautungleichartigkeiten des Frosches auf sich beruhen, mit um so mehrerem Rechte, als es ja überhaupt noch fraglich ist, in wie weit die dadurch bedingten Ströme unter unsere Begriffsbestimmung der physiologischen Elektrizität gehören (S. oben Bd. I. S. 4. 132. 133. 146). Wir beschäftigen uns nicht mit der Hautabsonderung die nackten Amphibien; das aber, was wir behufs unserer eigentlichen Untersuchung von den Hautströmen hier zu wissen brauchten, haben wir längst in Erfahrung gebracht (S. oben S. 11).

Wir sind zu dem Ergebniss gelangt, dafs man bei ungleichzeitigem Anlegen der Salzbäusche an die Hautoberfläche des Frosches nirgends bestimmte Strömungsrichtungen entdeckt. Die vorgebildeten Unterschiede der Triebkraft in die Haut hinein, die man mittelst der Wasserbäusche an den verschiedenen Stellen erkennt, verschwinden, bei Anwendung der Salzbäusche, alsbald gegen den Unterschied, der durch die vernichtende Einwirkung der Lösung auf das elektromotorische Vermögen, zu Gunsten der Triebkraft an der jüngsten Berührungsstelle, erzeugt wird. Bei genau gleichzeitiger Berührung zwar müfste man dieselben vorgebildeten Unterschiede, die die Wasserbäusche zeigen, auch mit den Salzbäuschen erkennen; allein so schnell scheint die Wirkung der Kochsalzlösung vor sich zu geben, dafs, ehe der vorgebildete Unterschied der Triebkräfte an beiden Stellen merklich hat auf die Nadel einwirken können, beide Triebkräfte, und somit auch ihr Unterschied, zu einem ohnmächtigen Bruchtheil ihrer ursprünglichen Gröfse herabgesunken sind.

Wie kam es nun aber dafs, diesen Thatsachen scheinbar zum Trotz, in unseren obigen Versuchen am lebenden oder todten, äußerlich unversehrten Gesamtfrosche, am nicht enthäteten GALVANI'schen Präparate oder Unterschenkel, oder endlich am GALVANI'schen Präparate des lebenden Frosches; dafs hier in den meisten Fällen absteigende, in einigen Fällen kaum merkliche, endlich in noch anderen, seltenen Fällen aufsteigende Ströme sich kundgaben? Folgendes ist die einfache Lösung dieses Räthsels.

Bei allen diesen Versuchen führt es die bequeme Handhabung der thierischen Theile auf den Zuleitungsgefäfsen ganz von selber herbei, dafs man die Füfse zuerst, den oberen Theil des Präparates aber zuletzt mit der Salzlösung des entsprechenden Multiplicatorendes in

Berührung bringt. Für den Gesamtfrosch, sowohl den lebenden als den todtten und für das GALVANI'sche Präparat ist oben Bd. I. S. 464. 466 sogar ausdrücklich die Vorschrift gegeben worden, zuerst die Füße in das eine Zuleitungsgefäß zu tauchen, und dann den Kopf oder das Becken rücklings in's andere Gefäß zu überbeugen. Was den Unterschenkel betrifft, so hängt die Haut des Oberschenkels, die man daran lassen soll (S. oben S. 7), bei wagerechter Haltung vom Knie niemals so tief herab, als am unteren Ende die Zehenspitzen reichen, so daß, bei wagerechtem Herabsenken des Schenkels, die Zehen früher als die Oberschenkelhaut zur Berührung der Kochsalzlösung kommen. Endlich bei der Untersuchung des GALVANI'schen Präparates mittelst des Sattelbauses ist es weit bequemer, zuerst die Füße durch Neigung des Rahmens nach hinten in das entsprechende Zuleitungsgefäß zu tauchen, und dann erst dem Frosch den Sattelbausch aufzulegen, als die entgegengesetzte Ordnung zu befolgen. Daher in allen diesen Fällen die vorwiegend absteigenden Wirkungen. Aufsteigende Ausschläge wurden nur dann erhalten, wenn einmal zufällig das obere Ende des thierischen Theiles vor dem unteren eingetaucht wurde. Doppelsinnig aber fielen die Wirkungen dann aus, wenn, nachdem bereits durch ungleichzeitiges Eintauchen Schluß der Kette erfolgt war, das erst benetzte Ende plötzlich durch tieferes Eintauchen in weiterer Ausdehnung benetzt wurde und dadurch die Rolle des letzteingetauchten überkam. Endlich in den Fällen, wo die nicht enthäuteten thierischen Theile sich beim ersten Schließen zum Kreise stromlos verhielten, war zufällig das Eintauchen beider Enden nahe gleichzeitig geschehen; aber entweder war das obere Ende etwas später eingetaucht worden als das untere, oder es entstand trotz dem gleichzeitigen Eintauchen beider Enden oder gar dem späteren Eintauchen des unteren Endes, wegen vorgebildeter Unterschiede der Triebkräfte an beiden Enden, eine Wirkung in absteigendem Sinne; diese Wirkung und der unter der Haut in aufsteigendem Sinne schwach thätige Muskelstrom hoben einander an der Multiplicatornadel auf.

Daß diese Erklärung der Erscheinungen wirklich die richtige sei, geht zweifellos daraus hervor, daß man nunmehr, mit den aus dem Obigen sich ergebenden Regeln, in Stand gesetzt ist, die vermeintliche Gesetzlosigkeit der Erscheinungen zu beherrschen und diese nach Willkür hervorzurufen. Man kann also z. B. ein nicht enthäutetes GALVANI'sches Präparat nach Belieben aufsteigend oder absteigend wirken lassen, je nachdem man das Becken oder die Füße zuerst eintaucht, oder es nahezu unwirksam erscheinen lassen, indem man das Becken nur einen Augenblick nach den Füßen in das entsprechende Zuleitungs-

Gefäß versenkt. Taucht man einen nicht enthäuteten Frosch mit beiden Beinen rittlings in die Zuleitungsgefäße ein, so ist stets der Strom aufsteigend in dem zuletzt eingetauchten Beine. Taucht man das andere tiefer ein, so erscheint er aufsteigend in diesem. Taucht man beide Beine gleichzeitig ein, so ist der Strom Null u. s. f.

Nichts ist jetzt leichter, als nun sofort, ohne jede Trübung durch die Hautungleichartigkeiten, den Muskelstrom am nicht enthäuteten Thier, gleichviel ob lebend oder todt, und gleichviel ob ganz oder zerstückt, in der Weise hervortreten zu lassen, wie es uns oben S. 8. 9 immer erst nach mehrfachem Tasten, und ohne zu wissen wie, gelang. Dazu ist nur nöthig, die Stellen der Hautoberfläche des Frosches, von denen man den Muskelstrom ableiten will, zuvor mit Kochsalzlösung zu bepinseln. Dadurch vernichtet man, wie uns jetzt bekannt ist, das elektromotorische Vermögen der Haut, und die Wirkungen, die man alsdann noch wahrnimmt, sind allein auf Rechnung der unter der unwirksamen Haut wirksamen Muskeln zu bringen. Bei den einzelnen, nicht enthäuteten Gliedmaßen kann man mit Vortheil auch so zu Werke gehen, daß man sie auf die Zuleitungsgefäße legt, während diese noch mit dem Schließungsrohr überbrückt sind. Der Widerstand des Schließungsrohres ist klein genug im Vergleich zu dem des Multiplicatorkreises, um keinem merklichen Bruchtheil der Hautströme den Eintritt in diesen Kreis zu gestatten. Hebt man nach einiger Zeit das Schließungsrohr ab, so findet man den Ausschlag im Sinne des Muskelstromes ungetrübt vor.

5. Von der Entwicklung des Muskelstromes nach dem Enthäuten.

Wir haben nunmehr, und unstreitig dürfen wir dies als ein Ergebnis von der größten Bedeutung hervorheben, die Gewißheit erlangt, daß der Muskelstrom am lebenden oder todtten, äußerlich unversehrten Frosche, wie auch an seinen nicht enthäuteten Gliedmaßen, wirklich bereits erkennbar sei, nur daß seine Stärke eine geringere zu sein scheint, als an den enthäuteten Präparaten, mit denen wir uns bisher allein beschäftigt hatten.¹ Jetzt ist es an der Zeit, diesem letzteren

¹ S. bereits meinen »vorläufigen Abriss« in POGENDORFF'S Annalen u. s. w. Januar 1843. Bd. LVIII. S. 2. §. 3: »Das Spannung setzende elektromotorische Moment ist auch im nicht enthäuteten Frosch zugegen. Derselbe zeigt den Strom in der nämlichen Richtung, allein in viel geringerem Grade als der enthäutete...« S. 3. §. 4: »Auch der lebendige, ganz unversehrte Frosch zeigt den Strom in derselben Stärke, als der eben getödtete nicht enthäutete, und immer in derselben Richtung.«

Umstände, der größeren Schwäche des Muskelstromes nämlich bei Gegenwart der Haut, unser Augenmerk zuzuwenden. Es liegt nahe, den Grund dieses Verhaltens darin zu suchen, daß nach allem Ermessen die Haut in Bezug auf den Multiplicatorkreis für den Muskelstrom eine schwächende Nebenschließung abgeben muß. Auch ist es leicht, enthäutete Gliedmaßen dadurch stromlos erscheinen zu lassen, daß man sie gleichsam mit einer THEDEN'schen Einwickelung aus einem schmalen, mit verdünnter Kochsalzlösung u. d. m. getränkten Bande umgiebt.¹ Doch scheint es, bei fernerer Erwägung, und in Rücksicht auf die schlechte Leitungsfähigkeit der Haut (S. oben S. 19. 20), kaum denkbar, daß wirklich die Haut im Stande sein sollte, den Muskelstrom in dem Maße durch Nebenschließung zu schwächen. Es hält nun in der That nicht schwer, den Beweis zu führen, daß die Gegenwart der Haut das Hervortreten des Stromes noch in anderer Art verhindere, als indem sie eine Nebenschließung bildet. Dieser Beweis liegt darin, daß, wenn man einem Unterschenkel oder einem GALVANI'schen Präparate, nachdem man sie enthäutet und ihren Strom beobachtet hat, die Haut wieder überzieht, der Strom meist sehr viel stärker zu bleiben pflegt, als er vor dem Abziehen der Haut war.

Dieser merkwürdige Versuch, einer der ersten, welche ich angestellt habe, findet sich gleichfalls bereits in meinem »vorläufigen Abrifs« a. a. O. S. 14. §. 38. Es wird wohl nicht leicht Einer, beim ersten Anblick, sich vor dem Kreise von Muthmaßungen zu bewahren wissen, in den ich selber damals durch diesen Versuch gelockt und für Jahre festgebannt wurde, bis mich eine spätere Wendung der Untersuchung daraus befreite. Wenn das Abziehen der Haut, das Freilegen der Oberfläche der Muskeln den bis dahin nur schwach vorhandenen Strom plötzlich zu steigern im Stande ist; wenn die beiden einzigen Mittel, die wir, abgesehen von dem dunklen Erfolge bei der Zusammendrückung (S. oben Abth. I. S. 139), bisher kennen gelernt haben, um die elektromotorische Kraft der Muskeln zu vergrößern, eben ihr Freilegen und das lange Liegen der nicht enthäuteten Gliedmaßen an der Luft sind (S. oben S. 9); wenn am lebenden unversehrten Frosche hingegen dies letztere Mittel fehlschlägt (S. oben ebendas.): welcher andere Schluß bleibt scheinbar da übrig, als daß der Strom auf nichts beruht als auf einer oberflächlichen Wechselwirkung des Sauerstoffes der atmosphärischen Luft mit den Muskeln, die entweder nur an den noch nicht todtstarrten Muskeln stattfinden kann,

¹ S. meinen »vorläufigen Abrifs« a. a. O. S. 14. §. 38. — Vergl. oben Bd. I. S. 688. Bd. II. Abth. I. S. 50. 551.

oder, da man ja blafgelbe Gesichtsmuskeln sich noch nach Lösung der Todtenstarre während der Zurichtung röthen sieht, wenigstens nur an noch nicht todtenstarken Muskeln einen elektromotorischen Gegensatz bewirken mag; einen Gegensatz, der im Zustande des unversehrten Lebens fortwährend durch die vegetative Thätigkeit im Muskel verwischt und auf einer bestimmten Stufe niedergehalten würde. Dieselbe Annahme müfste natürlich auch auf die Nerven ausgedehnt werden.

Bei näherer Erwägung freilich stößt diese Annahme auf grofse Dunkelheiten. Erstlich ist es sehr schwer, sich vorzustellen, dafs durch eine solche Wechselwirkung sollte ein Gegensatz des Längsschnittes und des natürlichen sowohl als künstlichen Querschnittes stattfinden. An die Hypothese, die ich in Bezug hierauf in dem »vorläufigen Abrifs« aufgestellt hatte,¹ ist jetzt, bei dem erweiterten Stande unserer Kenntnifs, begreiflich nicht mehr zu denken. Ferner erinnert man sich, dafs die GUERICKE'sche Leere, und die athembaren und nicht athembaren Gasatmosphären den Strom unverändert lassen (S. oben Abth. I. S. 187. 192). Drittens würden doch, bei der fraglichen Annahme, die Bewegungserscheinungen des Muskel- sowohl als des Nervenstromes vollständig räthselhaft bleiben. Legt man endlich ein nicht enthäutetes, im Oberschenkel abgeschnittenes Froschbein dergestalt auf die Bäusche der Vorrichtung auf, dafs auf der einen Seite der künstliche Querschnitt, auf der anderen etwa das noch mit der Haut überzogene Knie berührt, so erhält man einen Strom in der gesetzmässigen Richtung von solcher Heftigkeit, wie ihn das enthäutete GALVANI'sche Präparat nur zu geben im Stande sein würde. Es müfste also jedenfalls der Querschnitt sein, auf den die atmosphärische Luft verändernd einwirkte, um den elektromotorischen Gegensatz zu erzeugen; eine Folgerung von höchster Unwahrscheinlichkeit, insofern der natürliche Querschnitt auch am enthäuteten Präparat ja noch stets durch einen sehnigen Ueberzug vor der Berührung der Luft geschützt ist.

Trotz diesen und ähnlichen Gründen, welche gegen die erwähnte Vorstellungsweise sprechen, habe ich mich, wie bemerkt, doch lange Zeit nicht von ihr losmachen können. Ich wufste jenes vermeintliche Experimentum crucis nicht anders zu erklären, als auf diese Weise, und ich beugte mich seinem Gewichte grundsätzlich um so williger, je mehr, den daraus entnommenen Folgerungen gegenüber, die Bedeutung der thierisch-elektrischen Ströme gefährdet schien. Der methodische Fortschritt der Untersuchung aber schien hier zunächst abgeschnitten. Denn das Einzige, was vor der Hand zu thun blieb, war die Unter-

¹ A. a. O. S. 22. §. 58.

suchung, welche Umstände die scheinbare Entwicklung des Stromes nach dem Abziehen der Haut beschleunigen oder verzögern. Auf diese Umstände konnte aber deshalb nicht untersucht werden, weil die Entwicklung nach dem Abziehen ja mit reifsender Schnelligkeit, im Verlaufe weniger Secunden, vor sich zu gehen schien, so dafs nicht daran zu denken war, diesen Vorgang zum Gegenstand einer weiteren experimentellen Prüfung zu machen.

In dieser Rathlosigkeit verharrte ich, bis ein glücklicher Zufall von einer ganz anderen Seite der Untersuchung her mir dadurch zu Hülfe kam, dafs er mich lehrte, jenen Entwicklungsvorgang scheinbar nach Willkür zu verlangsamen. Das Mittel dazu fand ich in dem Einflufs dauernder Temperaturerniedrigung auf die Muskeln des Frosches. Der folgende Paragraph ist bestimmt, dem Leser diese neue Reihe von Thatsachen aus dem Gebiete der elektrischen Muskelphysik vorzuführen, und dabei das Räthsel zu lösen, das uns in diesem Paragraphen von der Natur aufgegeben ist.

§. II.

Von dem Einflufs dauernder Erkältung der Frösche auf den Muskelstrom, dem **parelektronomischen Zustande der Muskeln, der besonderen Anordnung der elektromotorischen Kräfte am natürlichen Querschnitt des Muskels und der Ursache der scheinbar durch das Enthäuten bewirkten Verstärkung des Muskelstromes.**

Die Forschungen dieses Paragraphen nehmen, wie am Schlusse des vorigen angedeutet wurde, ihren Ausgang von der Beobachtung des Einflusses, den die dauernde Erkältung der Muskeln auf ihren Strom ausübt. Es ist dieses Kreises von Erscheinungen bereits oben Abth. I. S. 171. 181 gedacht worden, als an dem Orte, wo wir uns mit dem Verhalten des Stromes verschiedenen physikalischen Einflüssen gegenüber beschäftigten. Es wurde damals nicht darauf eingegangen, einestheils weil wir uns dadurch zu weit von dem Ziel entfernt haben würden, das wir gerade im Auge hatten, anderentheils weil es uns noch an der Kenntniß der Bezüge gebrach, welche dieser Untersuchung eine so hervorragende Wichtigkeit verleihen. Jetzt sind wir so weit

gekommen, daß wir uns dieser Untersuchung sogar nicht länger entschlagen können, und wir beginnen sie demnach, indem wir zuvörderst uns von dem unterrichten, was unsere Vorgänger in diesem Gebiete bereits geleistet haben mögen.

1. MATTEUCCI's und CIMA's Angaben über die Wirkung der Kälte auf den Muskelstrom.

Einige höchst abentheuerliche Behauptungen MATTEUCCI's betreffend den Einfluß der Kälte auf den Froschstrom finden sich schon in seinen ersten Arbeiten über diesen Gegenstand vor und sind oben Bd. I. S. 118. 124 berücksichtigt worden, wo man von ihnen Kenntnifs nehmen kann. Einige Augenblicke langes Bedecken des Frosches mit einem Stück Eis solle ihn des Stromes berauben; dieser solle wiederkehren, wenn man dem Frosch Sauerstoff in die Lungen blase! Im *Essai etc.* p. 82 heißt es sodann: »Nous avons trouvé qu'une grenouille vivante refroidie, »perd la faculté de se contracter par son courant propre, et qu'elle »la reprend lorsqu'on la réchauffe, pourvu qu'on ne l'ait pas refroidie »trop longtemps. Je me suis assuré que, toutes les fois qu'on fait »perdre à une grenouille la faculté de se contracter par son courant, »en la tenant dans la glace pendant quelques minutes, elle perd aussi »la faculté de donner la déviation au galvanomètre. Ce n'est donc »pas l'activité nerveuse qui manque, c'est vraiment le courant. . . .« (S. oben Bd. I. S. 121). Dies war nachmals einer der Beweise, die MATTEUCCI sich die Mühe gab, für die Einerleiheit der Ursache der Zuckung ohne Metalle und der Multiplicatorablenkung durch den Frosch beizubringen (S. oben Bd. I. S. 478. Bd. II. Abth. I. S. 167).

MATTEUCCI's spätere Untersuchungen über diesen Punkt sind wieder doppelt angestellt, d. h. sie beziehen sich wieder getrennt die einen auf den Froschstrom, die anderen auf den, in seiner Einbildung, davon verschiedenen Muskelstrom (Vergl. oben Abth. I. S. 167).

I. Froschstrom. An einem lebenden Frosche wird der Ischiadnerv bloßgelegt, die Haut von den Beinen gezogen, und durch Zurückbeugen des Nerven gegen die Muskeln die Zuckung ohne Metalle beobachtet; eben so die Multiplicatorablenkung, es wird nicht recht gesagt, auf welche Weise. Der Frosch wird mit Eis umgeben, und nach wenigen Minuten erhält man keine Zuckung mehr; auch die Ablenkung erscheint geringer. Wird der Frosch aus dem Eise genommen und in Wasser von 15 — 20° C. gethan, so kehrt der Strom zurück. Dies läßt sich mehrmals an einem und demselben Thiere wiederholen. — Zwei Säulen,

aus zehn Froschbeinen jede, deren eine aber Fröschen angehörte, welche eine Stunde lang in Wasser von 2° C. gehalten worden, gaben, einander entgegen, einen Differentialstrom von 15°. ¹

II. Muskelstrom. In einem Schreiben an v. HUMBOLDT vom Januar 1843 sagt MATTEUCCI: »J'ai trouvé, pour tous les animaux à sang chaud comme pour ceux à sang froid, que le refroidissement affaiblit considérablement, et quelquefois fait disparaître, les signes du courant musculaire, et principalement pour les premiers.« ²

Im *Traité etc.* finden sich darüber folgende Angaben. Frösche, welche in der kälteren Jahreszeit lange einer niedrigen Temperatur ausgesetzt gewesen seien, gäben einen viel schwächeren Muskelstrom als sonst. So z. B. sank, im November 1842, das Thermometer zu Paris auf 0° und darunter. Die Frösche, die MATTEUCCI zu seinen Versuchen von der Fischhalle holen liefs, gaben fast gar keinen Muskelstrom mehr, während andere, die in einem warmen Zimmer im Pflanzengarten aufbewahrt worden waren, ihn wie gewöhnlich zeigten. Thue man Frösche in ein Gefäß mit Wasser, umgebe dies mit Eis und bestreue das Eis mit Kochsalz, so werden die Thiere nach wenigen Minuten regungslos und scheidet; sie sterben wirklich, wenn man sie in der Kälte lasse. Nach 15 — 20' jedoch könne man sie noch retten, wenn man sie in lauwarmes Wasser bringe. Eine zehngliederige Säule aus den querdurchschnittenen Oberschenkeln von Fröschen, welche 30' lang in Wasser unter Null (»dans l'eau froide au-dessous de zéro« ?!) gehalten worden waren, wurde einer anderen entgegengesetzt, die unter den gewöhnlichen Umständen bereitet war. Es erfolgten 35—40° Ausschlag im Sinne der letzteren. Einzeln gab diese 45°, die aus den erkälteten Fröschen nur 15—16°. Habe die Erkältung nicht eine gewisse Zeit lang gedauert, so finde keine merkliche Schwächung statt. Dasselbe Ergebnis fand MATTEUCCI für Fischmuskeln bestätigt; eine viergliederige Säule aus Stücken eines Schleyes (tanche), der einige Zeit bei 0° aufbewahrt worden, gab 5° Ausschlag, eine Säule aus eben so viel Gliedern von einem auf 12° C. gehaltenen Thier 12°. Auf den Muskelstrom warmblütiger Thiere habe die Erkältung keinen merklichen Einfluß. Die Muskeln einer 30' in Luft von — 2° bis — 3° gehaltenen Taube wirkten nicht schwächer als die einer nicht erkälteten. Der obigen völlig entgegengesetzten Angabe (»prin-

¹ *Traité etc.* p. 111. 112.*

² *Comptes rendus etc.* 23 Janvier 1843. t. XVI. p. 197; * — *L'Institut.* t. XI. No. 475. p. 36.*

cipalement pour les premiers^a) aus den *Comptes rendus* wird dabei natürlich nicht gedacht. Frösche, welche erst schnell erkältet worden, dann nach einigen Minuten Aufenthalt in der Kälte in Wasser von 15° gebracht worden seien, sollen einen stärkeren Muskelstrom geben als solche, die keiner Temperaturveränderung ausgesetzt wurden, was wiederum im grellsten Widerspruch mit der Behauptung im *Essai etc.* steht, ohne dafs ein Wort gesagt würde, um diesen Widerspruch aufzuklären. MATTEUCCI schließt: »Il faut donc que l'action du froid se prolonge sur les grenouilles pendant un temps suffisamment long, afin d'affaiblir l'intensité du courant musculaire. » Cette action du froid est d'autant moins grande que l'animal appartient à un rang moins élevé dans l'échelle.«¹ Also nun fällt MATTEUCCI wieder in die erste Angabe der *Comptes rendus* zurück; es sollen wieder die warmblütigen Thiere stärker die Wirkung der Kälte erfahren!

Vom November 1844 bis zum März 1845 erhielt MATTEUCCI zweimal wöchentlich Frösche aus einem Sumpf in der Umgegend von Pisa. Ein Theil dieser Frösche wurde stets in ein kleines Zimmer [von 16° beständiger Temperatur gebracht und in einem Glase trocken aufbewahrt. Eine gleiche Anzahl wurde auf der Terrasse der meteorologischen Warte der zeitigen Lufttemperatur ausgesetzt, und vier Frösche ebendasselbst in eine Vorrichtung gebracht, welche die Schätzung der nach einer gewissen Zeit gebildeten Kohlensäuremenge zuliefs. Auf diese Weise suchte MATTEUCCI, wovon nachmals die Rede sein wird, einen Zusammenhang zwischen der Temperatur, der Lebhaftigkeit des Athmungsvorganges und der Stärke des Muskelstromes zu erkunden. Es wurde stets der Strom einer zwanziggliederigen Säule aus halben Oberschenkeln geprüft, welcher bei mittlerer Temperatur 90° Ausschlag und ungefähr 20° beständige Ablenkung zu geben pflegte. In den kältesten Tagen des Winters (die Temperatur ist nicht angegeben) gab eine solche Säule nur 32° Ausschlag; dann, wie allmählich die Witterung wärmer wurde, 38°, 48°, 50°, 56°, 60°, 66°; zu Anfang 0° beständige Ablenkung, jetzt 8°. Endlich, als im März die Schattenwärme 15°C. erreichte, zeigte die Säule 80°, 85°, 90° Ausschlag. Durch Halten in wärmerer Luft wird der Muskelstrom erkälteter Frösche erhöht. Nachdem die Frösche, aus denen eine Säule der beschriebenen Art nur 32° Ausschlag gab, zwei Tage lang warm gehalten worden waren, erfolgten

¹ Vgl. *Annales de Chimie et de Physique*. Avril 1843. 3. Série. t. VII. p. 442; * — *Archives de l'Électricité*. 1843. t. III. p. 21; * — *Annales des Sciences naturelles*. 1843. 2. Série. t. XIX. Zoologie. p. 328; * — *Traité etc.* p. 73.*

38° Ausschlag. Andere Frösche stiegen in gleicher Weise von 30°; 50°; 66° beziehlich auf 48°; 64°; 85°. ¹

In einer folgenden Abhandlung endlich bemerkt MATTEUCCI, daß die Wirkung der Kälte auf seinen sogenannten Froschstrom bedeutend größer sei als auf den Muskelstrom. Während im Frühling und Sommer an sehr kräftigen Fröschen der Froschstrom dem Muskelstrom gleichkomme oder gar ihn übertreffe², habe er bei sehr kalter Witterung den ersteren Strom stets schwächer als den letzteren gefunden.³

Auch CIMA hat sich mit Versuchen der Art abgegeben. Er bestätigt, daß der Einfluß der Kälte auf den Muskelstrom der kaltblütigen Thiere größer sei als auf den der warmblütigen. Es gehört, nach ihm, eine gewisse Anzahl kalter Tage dazu, damit die Wirkung auf den Muskelstrom der Frösche sichtbar werde. Aber ein warmer Tag, welcher auf eine Reihe kalter Tage folge, reiche häufig hin, die Frösche in ihren gewöhnlichen Zustand zu versetzen.⁴ In Betreff des Umstandes, daß der Einfluß der Kälte auf den sogenannten Froschstrom größer sei, als auf den Muskelstrom, hat aber CIMA sogar das Erstenrecht vor MATTEUCCI.⁵ Seine Abhandlung ist im December 1844 der Akademie zu Bologna eingereicht, MATTEUCCI'S Abhandlung in den *Transactions* ist gezeichnet vom 7. April 1845 (Vergl. oben Bd. I. S. 127. 128).⁶

¹ Philosophical Transactions etc. For the Year 1845. P. II. p. 290.* — Vergl. unten, §. v.

² Vergl. unten, No. 11.

³ Philosophical Transactions etc. For the Year 1845. P. II. p. 298.*

⁴ Saggio storico-critico ec. Ivi, p. 487. 488.*

⁵ Ivi, p. 509.*

⁶ CIMA sagt, ohne nähere literarische Belege mitzutheilen: »L'azione del freddo e della fredda stagione nella facoltà della rana a presentare le contrazioni galvaniche« — d. h. die Zuckung ohne Metalle — »fu già notata dal GALVANI, dall' HUMBOLDT e da altri. Fu trovato da questi fisici come le rane male si prestino alle sperienze nell' inverno. All' azione del freddo sopra la cagione delle contrazioni galvaniche è senza dubbio dovuto il fatto osservato dall' VALLI e dall' HUMBOLDT, che l'acqua molto fredda e il ghiaccio non possono servire d'arco conduttore per eccitarsi quelle contrazioni.« Ivi, p. 475.* — Die Stelle bei VALLI, auf die sich CIMA bezieht, heißt: »L'excès du froid prive l'eau même de la propriété de conduire le fluide en question.« S. RICHARD FOWLER, Experiments and Observations relative to the Influence lately discovered by M. GALVANI, and commonly called animal Electricity. Edinburgh 1793. p. 22;* — ALEXANDER MONRO'S und RICHARD FOWLER'S Abhandlung über thierische Elektrizität u. s. w. Leipzig 1796. S. 63;* — REINHOLD'S Geschichte des Galvanismus u. s. w. Leipzig 1803. S. 41.* FOWLER läugnet a. a. O. die Richtigkeit der Behauptung VALLI'S mit Recht in soweit, als nicht das Wasser zu trockenem Eise gefriert; er scheint die älteren Versuche über die Leitungsfähigkeit des Eises nicht zu kennen. v. HUMBOLDT'S Ver-

2. Von der Art, die Frösche zu erkälten, und von dem Einflusse der Erkältung auf das Allgemeinbefinden der Frösche.

Als ich, im Sommer 1842, zuerst unternahm, MATTEUCCI'S Versuche über den Einfluß der Kälte auf den Muskelstrom zu wiederholen, geschah dies allein auf Grund der Angaben im *Essai etc.* (S. oben S. 27). Ich nahm Gastroknemien vom Frosch und setzte sie bis 20' lang verschiedenen Kältegraden von 0° bis -20° C. aus. Ich erhielt aber nur verneinende Ergebnisse. Entweder zeigte sich der Strom so gut wie unverändert; oder der Muskel ging todtstarr, und alsdann auch unzusammenziehungsfähig und stromlos, aus der Kälte hervor. Die Art, auf welche ich dabei verfuhr, ist bereits oben Abth. I. S. 180 (11) beschrieben; die daselbst dargelegten Erfahrungen sind nämlich bei dieser Gelegenheit gewonnen. Bei der Ungewißheit, in der ich somit blieb, liefs ich übrigens die ganze Angelegenheit in meinem »vorläufigen Abrifs« unerwähnt.

Später, im Winter 1843 — 1844, führte mich der Verfolg meiner Arbeiten von Neuem auf diesen Gegenstand zurück. MATTEUCCI hatte nunmehr die »quelques minutes« oder gar »quelques secondes« seiner ersten Behauptungen zu wenigstens 20—30' ausgedehnt (S. oben S. 28). Ich bedurfte aber seiner Unterweisung nicht mehr; denn schon hatte ich selber die Erscheinung, ohne mein Hinzuthun, durch Witterungsverhältnisse bedingt nicht eben auf die angenehmste Art kennen gelernt, und zwar in viel gröfserem Mafsstabe als sie MATTEUCCI je begegnet zu sein scheint. Hr. POGGENDORFF erinnert sich vielleicht der Verlegenheit, in der ich mich, im October 1843, befand, als ich ihm den Froschstrom zeigen wollte und die Nadel, statt meiner Vorhersage

suchen zeigen nur, dafs die Kälte die Zahl und Stärke der Herzschläge vermindert und ebenso die Leistungsfähigkeit der Nerven und Muskeln beeinträchtigt, wenn man diese mittelst ungleichartiger Metalle prüft (Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfasern u. s. w. Posen und Berlin 1797. Bd. II. S. 215 ff.). CAVALLLO sagt hingegen, »die Kraft der Frösche werde nicht geschwächt, wenn man sie in Wasser, das zu frieren anfing, getödtet, oder, beyrn Präpariren, einige Stunden auf Eis gelegt hatte.« (Vollständige Abhandlung der theoretischen und praktischen Lehre von der Elektrizität u. s. w. Aus dem Englischen übersetzt u. s. w. Leipzig 1797. Bd. II. S. 291.) Wie dem auch sei, man sieht, dafs, wenn nicht CIMA noch andere, mir unbekannte Quellen zu Gebote gestanden haben, es auf einer Begriffsverwirrung beruht, dafs er hier VALLI'S und v. HUMBOLDT'S Versuche anführt, da es sich in beiden Fällen gar nicht um Zuckungen durch den Froschstrom handelte, sondern um solche durch ungleichartige Metalle. Was die Stelle bei GALVANI betrifft, auf die CIMA anspielt, so habe ich sie, trotz aller Mühe, nicht ausfindig machen können.

gemäß an die Hemmung zu fliegen, beim Auflegen mehrerer Thiere nach einander unbewegt auf dem Nullpunkt verharrte. Dies war, wie ich selber damals zum ersten Mal erfuhr, die Schuld der Kälte, der die Frösche während des Lebens ausgesetzt gewesen waren.

Seitdem habe ich, im Winter und Sommer, zu verschiedenen Zeiten eine große Anzahl von Versuchen über diesen Gegenstand angestellt. Im Winter setzte ich die Frösche eine hinreichende Zeit lang in einem Garten bei meiner Wohnung in den Schnee und bedeckte sie mit einem gleichfalls mit Schnee angefüllten Gefäße. Neben dem Gefäße wurde ein RUTHERFORD'sches Minimumthermometer aufgestellt. Die Möglichkeit, diese Arbeiten aber auch in der warmen Jahreszeit fortsetzen zu können, verdankte ich größtentheils der bekannten, stets bereitwilligen Güte des Herrn Professor GURLT, welcher mir den Gebrauch des Eiskellers der hiesigen Königlichen Thierarzneischule verstattete. Die Frösche befanden sich in einem weithalsigen Glase, das mit einem mehrfach durchbohrten Korke geschlossen war. Das Glas steckte ich in eine in das Eis ausgehauene Höhlung und deckte diese mit flachen Eisstücken zu.

Von der Länge der Zeit, während welcher die Einwirkung der Kälte dauern muß, um die bald zu beschreibenden Veränderungen der elektromotorischen Thätigkeit hervorzurufen, wird nachmals die Rede sein. Zunächst mögen hier nur noch, um das Bild der Versuche abzurunden, einige Bemerkungen Platz finden über den Einfluss, den die fortgesetzte Erkältung auf das Allgemeinbefinden der Frösche äufsert. MATTEUCCI hat hierüber, wie über fast alle Punkte dieses Gebietes, welche er berührt hat, die falschesten Vorstellungen mitgetheilt (S. oben S. 82). Nach seiner Beschreibung waren die Frösche nicht eingefroren; sie befanden sich nur in Wasser nahe dem Gefrierpunkte. MATTEUCCI behauptet, daß ein Aufenthalt darin von einer halben Stunde den Thieren tödtlich werden könne. Ich habe aber Frösche im Sommer wochenlang im Gletscher des Eiskellers gelassen, und nicht den mindesten Nachtheil davon für ihr Befinden gespürt.

Frösche, welche lange genug einer dem Gefrierpunkt nahen Temperatur ausgesetzt gewesen sind, verfallen in folgenden Zustand. Sie ziehen die Beine dicht an den Leib, schliessen die Augen, deren Pupille verengt erscheint, die Athembewegungen sind kaum bemerkbar, die Haut nimmt eine dunkelbraune Färbung an. Reizt man sie auf, legt sie auf den Rücken u. d. m., so bewegen sie sich langsam aber kräftig, etwa wie ein Mensch, der sich nach dem Schlafe reckt und dehnt. Eine Viertel- bis eine halbe Stunde in mittlerer Temperatur zugebracht, ist hinreichend, sie wieder völlig zu ermuntern.

Tödtlich für die Frösche wird erst der Aufenthalt in einer Temperatur, bei der sie wirklich zu Eis gefrieren. Indessen kommen in dieser Hinsicht merkwürdige Dinge vor. Es sind viele Fälle berichtet, in welchen nicht nur, im Widerspruch mit dem oben Abth. I. S. 180. 181 Gesagten, steif gefrorne Gliedmaßen nach dem Aufthauen noch zuckungsfähig waren, sondern wo auch der Gesamtorganismus selber scheinbar unbeschädigt aus dem erstarrten Zustand hervorging. Ich selber habe Frösche noch wochenlang leben sehen, welche in einer Winternacht im Schnee des Gartens bei -8° Minimum der Luft vergessen, dermaßen gefroren waren, daß der Bauch zum Theil steinhart anzufühlen war und dabei von Eisstückchen in seinem Inneren gleich Zinn schrie. Es scheint nicht unmöglich, daß diese Abweichungen darauf beruhen, daß die Flüssigkeiten zwischen den Elementartheilen der Gewebe, z. B. in den Muskeln zwischen den Primitivbündeln, früher zu Eis erstarren als die in jenen Theilen selber. So kann, bei einer gewissen Temperatur, die freilich zwischen engen Grenzen eingeschlossen sein mag, eine Gliedmaße steif gefroren erscheinen, ohne daß die Gewebe selber es sind, deren Organisation also noch ungeändert aus einer solchen Temperatur hervorgehen kann.¹

¹ Folgendes ist die wichtigste Literatur über diesen Gegenstand, der methodisch fortgesetzt, genauerer Untersuchung wohl einmal werth wäre.

LISTER in JOH. GODARTIUS de Insectis, in Methodum redactus cum Notularum Additione. Opera M. LISTER etc. Londini 1685. p. 76.* — DUFAY in Histoire de l'Académie Royale des Sciences. Année 1729. Paris 1731. 4^o. p. 144.* — RÉAUMUR, Mémoires pour servir à l'Histoire des Insectes. t. II. p. I. Amsterdam 1737. p. 178.* — JEAN BELL D'ANTERMONY, Voyages depuis St. Pétersbourg en Russie, dans diverses contrées de l'Asie. Paris 1766. t. I. p. 319.* — SPALLANZANI, Opuscoli di Fisica animale e vegetabile. In Modena 1766. vol. I. p. 64—100;* — vol. II. p. 92. 212;* — Opuscules de Physique animale et végétale etc. Traduits par SENEBIER. Genève 1777. t. I. p. 76—119;* — t. II. p. 198. 335;* — Mémoires sur la Respiration, traduits par SENEBIER etc. Genève 1803. p. 132. 150. 192.* — JOHN HUNTER, Philosophical Transactions etc. For the Year 1775. P. II. p. 446;* — For the Year 1778. P. I. p. 27. 37;* — Versuche über das Blut, die Entzündung und die Schufswunden u. s. w. (1794.) Uebersetzt von HEBENSTREIT. Leipzig 1797. Bd. I. S. 179.* — BONNET in Opuscules de Physique animale et végétale, par Mr. l'Abbé SPALLANZANI etc. Traduits par SENEBIER. Genève 1777. t. II. p. 13;* — Oeuvres d'Histoire naturelle et de Philosophie. t. VI. Neuchatel 1779. p. 12. Note 2.* — CALDANI, Osservazioni sulla Membrana del Timpano e nuove Ricerche sulla Elettività animale ec. In Padova 1794. p. 125.* — v. SIERSTORFF, Ueber einige Insectenarten, welche den Fichten vorzüglich schädlich sind, und über die Wurmtrocknifs der Fichtenwälder des Harzes. Helmstedt 1794. S. 21.* — ANSCHEL, Thanaologia etc. Goettingae 1795. p. 21.* — v. HUMBOLDT, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfasern u. s. w. Posen und Berlin 1797. Bd. II. S. 223. 224.* — CARLISLE, Philosophical Transactions etc. For the Year 1805. P. I. p. 25.* — KYBER,

3. Erste Darlegung des Einflusses der dauernden Erkältung der Frösche auf ihren Muskelstrom.

Was sodann den Einfluss der dauernden Erkältung auf den Strom betrifft, so ist, was CIMA und MATTEUCCI darüber berichten, im höchsten Grade mangelhaft und oberflächlich, wie sich dies alsbald aus folgender Darstellung ergeben wird, welche selber doch noch weit entfernt ist, den wirklichen Thatbestand ahnen zu lassen.

Es werde das GALVANI'sche Präparat oder ein Bein eines erkälten Frosches, oder auch der enthäutete Gesamtfrosch selber, wie zu Anfang des ersten Kapitels dieses Abschnittes gelehrt wurde, auf die Zuleitungsgefäße gebracht, so sieht man nicht, wie es sein sollte, die Nadel in aufsteigender Richtung an die Hemmung fliegen, sondern entweder einen mehr oder weniger starken absteigenden Strom sieht man erfolgen, oder die Nadel bleibt auf Null, oder es ist wenigstens nur eine schwache Spur des gesetzmäßigen aufsteigenden Stromes vorhanden.

in GERMAR's Magazin der Entomologie. 1. Jahrgang. Heft II. Halle 1815. S. 8.* — PALLAS (MS), in RUDOLPHI's Grundrifs der Physiologie. Bd. I. Berlin 1821. S. 176.* — VERNEUR, Journal des Voyages, Découvertes et Navigations modernes; ou Archives géographiques du XIX^e Siècle, etc. 1822. t. XVI. p. 130.* — FRORIEP's Notizen u. s. w. N^o. 69. (Bd. IV. No. 3.) Februar 1823. S. 37.* — GASPARD, in MAGENDIE's Journal de Physiologie expérimentale etc. t. II. 1822. p. 295.* — FRORIEP's Notizen u. s. w. No. 66. (Bd. III. No. 22.) Januar 1823. S. 337.* — FRANKLIN, Journey to the Shores of the Polar Sea in the years 1819, 20, 21 and 22. London 1823. 4^o. p. 248.* — FRORIEP's Notizen u. s. w. No. 99. (Bd. V. No. 11.) September 1823. S. 170.* — Jahresbericht der schwedischen Academie der Wissenschaften über die Fortschritte der Naturgeschichte, Anatomie und Physiologie der Thiere und Pflanzen. Aus dem Schwedischen von JOH. MÜLLER. 1824. Bonn 1826. S. 31.* — JOHN MURRAY, Experimental Researches in natural History. London 1826. 12^o. p. 148.* — STICKNEY, in KIRBY and SPENCE, An Introduction to Entomology etc. Vol. II. 5. Ed. London 1828. p. 448.* — TIEDEMANN, Physiologie des Menschen. Bd. I. Darmstadt 1830. S. 468.* — LENZ, Schlangenkunde. Gotha 1832. S. 56.* — RATZEBURG, die Forst-Insecten, oder Abbildung und Beschreibung der in den Wäldern Preussens und der Nachbarstaaten als schädlich oder nützlich bekannt gewordenen Insecten. Bd. I. Berlin 1837. 4^o. S. 148.* — GAIMARD, Bibliothèque universelle de Genève. Nouvelle Série. Mars 1840. t. XXVI. p. 207.* — KÜRSCHNER, Grundrifs der allgemeinen Physiologie. Herausgegeben von RUD. WAGNER. Eisenach und Wien. 1843. S. 89.* — BARKOW, der Winterschlaf nach seinen Erscheinungen im Thierreich u. s. w. Berlin 1846. Cap. VIII. S. 125 ff.* — AUG. DUMÉRIl, L'Institut. 1850. t. XVIII. No. 848. p. 108.* — PAGET, in Philosophical Transactions etc. For the Year 1850. P. I. p. 221.* — Philosophical Magazine etc. 3. Series. vol. XXXVI. p. 541.* — C. ECKHARD, Ueber die Einwirkung der Temperaturen des Wassers auf die motorischen Nerven des Frosches. Heidelberg 1850. S. 23.*

Jetzt legt man, nachdem man, wenn Strom in der einen oder der anderen Richtung zugegen war, die Ladungen getilgt und die Nadel beruhigt hat, den Frosch zum zweitenmale wieder auf, und nun findet man, daß er an aufsteigender Wirksamkeit zugenommen hat. Entweder nämlich, wenn beim ersten Auflegen absteigender Strom erfolgt war, ist derselbe jetzt geringer, oder, wenn vorher die Nadel unbeweglich blieb, es ist jetzt eine Spur gesetzmäßigen Stromes da, oder endlich, wenn diese bereits beim ersten Auflegen nicht vermist wurde, findet man sie jetzt um ein Merkliches vergrößert.

Beim dritten Auflegen hat das Präparat abermals an aufsteigender Wirksamkeit zugenommen, und so fort. Bei der fünften Prüfung erreicht der Strom jedoch häufig schon seinen oberen Grenzwert. Um diesen beobachten zu können, darf man natürlich, falls nicht die Erkältung eine sehr heftige war, von dem Multiplicator für den Muskelstrom nur die halbe Länge benutzen, und auch zu dieser muß man oft noch eine Nebenschließung anbringen, damit die letzte Entwicklung des Stromes nicht in zu hohen Breiten der Theilung vor sich gehe. Nichtsdestoweniger bleibt der Grenzwert unter demjenigen der Ausschläge, welche man von nicht erkälteten Fröschen erhält, und zwar ist er unter Umständen beträchtlich kleiner.

Auf dem Grenzwerte angelangt, hält sich der Strom einige Zeit, d. h. man erhält Ausschläge die, unstreitig in Folge von allerhand Zufälligkeiten beim Auflegen, nur um wenige Grade bald in dem einen bald in dem anderen Sinne unterschieden sind; dann fängt der Strom allmählig zu sinken an. Mit anderen Worten, die Erscheinungsweise des Stromes der erkälteten Frösche schließt sich von hier ab völlig an die des Stromes der Frösche im Normalzustande.

Dies ist das elektromotorische Verhalten ganzer Gliedmaßen erkälteter Frösche, wenn man sie wie gewöhnlich behandelt, ohne Rücksicht zu nehmen auf gewisse Umstände, die wir später kennen lernen werden. Man kann aber die Erscheinung der allmählichen Entwicklung des Stromes auch an einzelnen unverletzten Muskeln beobachten. Schneidet man einen Gastrocnemius, einen Extensor cruris aus einem erkälteten Frosche und legt ihn mit natürlichem Längs- und Querschnitt auf die mit Eiweißhäutchen bekleideten Bäusche auf, so erhält man mitunter einen Ausschlag in absteigendem Sinne, oft verharrt die Nadel unbewegt, meist ist schon eine Spur aufsteigenden Stromes vorhanden. Manchmal erhält man im ersten Augenblick einen absteigenden Ausschlag, aber gleich kehrt die Nadel um und beschreibt im positiven Quadranten einen größeren Bogen als vorher im negativen. Nicht selten bekundet das Verhältniß beider Ausschläge, be-

kunden die negativen Ladungen, daß eine Umkehr des Stromes zur positiven Richtung wirklich im ersten Auflegen stattgefunden habe. Anderemale bleibt die Nadel anfänglich unbewegt stehen und entfernt sich dann erst langsam vom Nullpunkt im positiven Sinne. Bei öfterem Auflegen sieht man endlich, wie allmählig der regelmässige aufsteigende Strom des Gastroknemius stufenweise in der nämlichen Art hervortritt, wie dies so eben von den Gliedmaßen des Frosches geschildert wurde. Auch hier bleibt der stärkste Ausschlag, welchen man erreicht, mehr oder weniger tief unter der gewohnten Wirkung eines Gastroknemius stehen. Verfährt man aber ebenso mit dem Gastroknemius eines GALVANI'schen Präparates oder eines Gesamtfrosches an dem sich der Strom bereits vollständig entwickelt hat, so findet man den Strom auch an dem einzelnen Gastroknemius oder Extensor cruris vollständig entwickelt vor.

Himmelweit verschieden gestalten sich die Dinge, sobald künstlicher Querschnitt in's Spiel kommt. Schneidet man einem erkälteten Frosche, dessen enthäutetes GALVANI'sches Präparat einen starken negativen Ausschlag geben würde, ein Bein im Oberschenkel ab, und legt es, wie oben S. 25, mit dem Gesamtquerschnitt des Oberschenkels einerseits, andererseits mit dem noch mit der Haut bekleideten Knie auf die Bäusche auf, so erhält man auf der Stelle einen Ausschlag von größter Heftigkeit in dem gesetzmässigen Sinne. Ebenso von einem enthäuteten, querdurchschnittenen Oberschenkel, der auf der einen Seite mit dem Querschnitt, auf der anderen mit dem Kniestumpf aufgelegt wird, einer demi-cuisse in MATTEUCCI's Weise (S. oben Bd. I. S. 529), und endlich von einzelnen querdurchschnittenen Muskeln, einem Adductor magnus oder Semimembranosus Cuv. Nur in seltenen Fällen gelingt es, auch hier eine Spur fernerer Stromentwicklung in der Art wahrzunehmen, daß noch der zweite Ausschlag den ersten um eine geringe Gröfse übertrifft. Die absolute Gröfse der Ausschläge erscheint aber freilich geringer als bei nicht erkälteten Fröschen.

Es obwaltet demnach hier ein ebenso ausgesprochener als bemerkenswerther Unterschied zwischen dem Verhalten des natürlichen und künstlichen Querschnittes. Während der Strom zwischen natürlichem Längs- und künstlichem Querschnitt stets schon völlig oder nahe ganz entwickelt vorgefunden wird, zeigt der Strom zwischen natürlichem Längs- und Querschnitt anfangs die umgekehrte Richtung, ist gleich Null oder wenigstens nur äußerst klein, und erhebt sich erst im Laufe des Versuches allmählig zu der Gröfse, die ihm in Verhältniß zum Strom zwischen natürlichem Längsschnitt und künstlichem Querschnitt,

vermöge der Anordnung der Muskelbündelenden am natürlichen Querschnitt, zuzukommen scheint.

Im Gegensatz zu dem Unterschiede, der sich demgemäß zwischen den beiden Arten des Querschnittes kundgiebt, fährt zwischen dem natürlichen und künstlichen Längsschnitte, hinsichtlich ihres elektromotorischen Verhaltens, die vollkommenste Uebereinstimmung zu herrschen fort. Gleich dem natürlichen Längsschnitt, giebt der künstliche in Verbindung mit dem künstlichen Querschnitt sogleich den ganz entwickelten Strom, in Verbindung mit dem natürlichen Querschnitt die allmähliche Stromentwicklung. Man stellt den Versuch am *Gastrocnemius* oder am *Semimembranosus* Cuv. an, und bedient sich dabei in hergebrachter Weise der gefensterten Glimmerblättchen (S. oben Bd. I. S. 629. Bd. II. Abth. I. S. 200. 258).

Was das Verhalten des Stromes erkälteter Muskeln bei anderen Arten der Ableitung, z. B. von beiden sehnigen Enden, oder von verschiedenen Punkten des Längsschnittes betrifft, so soll erst später davon die Rede sein.

Der absteigende Ausschlag, den man von stark erkälteten Präparaten beim ersten Auflegen mit natürlichem Querschnitt erhält, kann jetzt in der Bedeutung, die wir ihm zugeschrieben haben, verdächtig erscheinen. Da nämlich, wie wir nun wissen, der Strom des künstlichen Querschnittes der Entwicklung nicht bedarf, so könnte man vermuthen, der absteigende Ausschlag rühre her von dem künstlichen Querschnitt des *Ileo-Coccygeus* Dug. am Beckenende des Präparates; er gehe durch Null hindurch in die entgegengesetzte Richtung über in dem Maße, als nicht nur der Strom des natürlichen Querschnittes der verschiedenen Beinmuskeln sich entwickle, sondern auch die Wirksamkeit des künstlichen Querschnittes durch den Angriff der Zuleitungsflüssigkeit beeinträchtigt werde.

Es ist nicht unmöglich, daß in dem Falle des GALVANI'schen Präparates ein solches Widerspiel der Wirkungen beider Querschnitte, des natürlichen und des künstlichen, wirklich stattfindet, obschon doch zu bedenken ist, daß die Salzlösung für den Strom des querdurchschnittenen *Ileo-Coccygeus* in Bezug auf den Multiplicatorkreis wahrscheinlich eine viel zu gute Nebenschließung abgiebt, als daß noch eine Spur von jenem Strom an der Nadel sichtbar werden könnte. Wie dem auch sei, es muß jedenfalls noch einen anderen Grund für den absteigenden Ausschlag geben. Denn erstens habe ich dergleichen Ausschläge auch von GALVANI'schen Präparaten erhalten, deren Becken ich mit großer Sorgfalt von jeder Spur verletzter Muskeln befreit hatte, welche also nirgends künstlichen Querschnitt darboten, der absteigend

hätte wirken können (Vergl. oben Bd. I. S. 460). Für's zweite zeigt es sich, wie oben bereits erwähnt wurde, daß der Gesamtfrosch, ja sogar ein einzelner Gastroknemius oder Extensor cruris, im stark erkälteten Zustande gleichfalls einen absteigenden Ausschlag ertheilen. In einem Fall habe ich von einem Gastroknemius — 70° am Multiplikator für den Muskelstrom erhalten; noch nach vier Stunden gab der Muskel — 50° . Weder am Gesamtfrosch, der mit Nase und Fußspitzen, noch an den einzelnen Muskeln, die mit natürlichem Längs- und Querschnitt aufgelegt werden, kann aber von der Verdächtigung die Rede sein, der die absteigende Wirkung am GALVANI'schen Präparat anfangs unterlag.

Nach dem Versuch am Gastroknemius und Extensor cruris kann es vielmehr, so scheint es, nicht länger zweifelhaft sein, daß diese Wirkung in der That zu betrachten sei als eine negative, d. h. daß sich die Muskeln stark erkälteter Frösche in den ersten Augenblicken nach dem Enthäuten in negativ peripolarem Zustande befinden (S. oben Abth. I. S. 155. 156. 555). Die Folge wird lehren, in wiefern diese Meinung selber noch einer Berichtigung bedarf.

Der negative Ausschlag ist um so größer, die darauf folgenden Ausschläge bewegen sich um so länger im negativen Quadranten, und entfernen sich, wenn sie endlich den Nullpunkt überschritten haben, von demselben im positiven Viertelkreise um so weniger, je niedriger die Temperatur war, der der Frosch dauernd ausgesetzt wurde. Es kann in solchen Fällen geschehen, daß der erste negative Ausschlag dem größten positiven, den man bei öfterem Auflegen erhält, gleichkommt, ja ihn übertrifft. Alsdann ist aber meist der Frosch wirklich gefroren gewesen. In der That, auch der nicht mehr zuckungsfähige Muskel, wie er in unseren früheren Versuchen noch eine Spur von Strom übrig hatte (S. oben Abth. I. S. 161), kann noch innerhalb der engen Grenzen einer solchen Spur Sitz einer Stromentwicklung in der beschriebenen Art werden.

Ob auch die Nerven durch die Wirkung der Kälte in einen ähnlichen Zustand verfallen, wie die Muskeln, ist durch keinen unmittelbaren Versuch auszumachen, weil sich an den Nerven kein natürlicher Querschnitt zur Untersuchung darbietet (Vergl. oben Abth. I. S. 253). Was den künstlichen Querschnitt betrifft, so zeigen wohl die Nerven eine Schwächung ihres Stromes durch lang anhaltende Einwirkung der Kälte, allein eine allmälige Entwicklung des Stromes läßt sich an ihnen so wenig als an den querdurchschnittenen Muskeln nachweisen.

Den Zustand der Muskeln, in dem sie negativ wirken oder unwirksam erscheinen, will ich mit dem Namen des *parelektronomischen*

Zustandes¹ bezeichnen, womit gemeint sein soll, daß die elektrischen Kräfte des Muskels darin eine von der gesetzmäßigen abweichende Anordnung haben. Die Wahl dieses Namens wird später gerechtfertigt werden.

Nach dieser ersten Darlegung des Thatbestandes, welche von dem eigentlichen Wesen desselben aber, wie bemerkt, noch gar keine Vorstellung giebt, lassen wir die Untersuchung sogleich diejenige Wendung nehmen, wodurch den hier obschwebenden Versuchen eine so unerwartete Wichtigkeit für die ganze Lehre von den thierisch-elektrischen Strömen zu Theil wird.

4. Die Entwicklung des Muskelstromes nach dem Enthäuten der Gliedmassen rührt nicht her von der Berührung der Muskeln mit der Luft.

Am Schlusse des ersten Paragraphen waren wir, nach Beseitigung der uns durch die Hautungleichartigkeiten entgegengesetzten Hindernisse zu der vermeintlichen Einsicht gelangt, daß der Muskelstrom und also wahrscheinlich auch der Nervenstrom im unversehrten thierischen Körper nur in geringem Mafse vorhanden seien. Wir hatten, zu unserer nicht geringen Betroffenheit, erfahren müssen, daß der Muskelstrom, auf den unsere Versuche der Natur der Dinge nach allein Bezug hatten, sich in voller Kraft erst nach dem Enthäuten der thierischen Gliedmassen einfinde. Wir konnten von dieser Erscheinung, beim besten Willen, keine andere Auslegung geben als die, daß die Entwicklung des Stromes nach dem Enthäuten beruhe auf dem freigestellten Zutritt der Luft zu der Oberfläche der Muskeln. Allerdings fehlte es bereits damals nicht an mehr oder minder triftigen Gründen gegen diese Vorstellungsweise. Nichtsdestoweniger sahen wir uns außer Stande, darüber ganz in's Klare zu gelangen, weil nämlich die Entwicklung nach dem Enthäuten an den im natürlichen Zustande befindlichen Thieren mit so reifsender Schnelligkeit vor sich zu gehen schien, daß nicht daran zu denken war, während ihrer Dauer Versuche über die Umstände anzustellen, welche auf die Entwicklung des Stromes von Einfluß sein mögen, und dadurch die Natur dieses Entwicklungsvorganges zu ermitteln.

In dieser Sachlage ist nun durch die Entdeckung des parelektronischen Zustandes eine wesentliche Veränderung herbeigeführt. Beiläufig gesagt, entspringen bereits aus den bisher beschriebenen Erscheinungen dieses Zustandes für die fragliche Annahme unüberwindliche

¹ *Παράνομος*, gesetzwidrig.

Schwierigkeiten. Beim ersten Anblick könnte man wohl versucht sein, sich vorzustellen, daß die Kälte die Entwicklung des Stromes verzögere, indem sie die Oberfläche der Muskeln unfähig mache, die Veränderungen durch den Sauerstoff der Luft zu erleiden, auf denen die elektromotorischen Ungleichartigkeiten beruhen sollen. In dem Maße, wie über dem öfteren Auflegen, dem längeren Aufliegen, das Präparat erwarme, sähe man auch den Strom stufenweise stärker und stärker hervortreten. Allein was wird bei dieser Vorstellungsweise aus dem Unterschied in dem Verhalten des künstlichen und natürlichen Querschnittes? Was sollte die negative Wirkung stark erkälteter Präparate zu bedeuten haben?

Indessen diese Betrachtungen sind noch nicht der wesentliche Punkt, auf den hier gezielt wird. Dieser liegt vielmehr darin, daß uns jetzt, durch die Erscheinungsweise des Stromes im parelektronomischen Zustande, eine Handhabe geboten wird zur näheren Untersuchung der Entwicklung des Stromes nach dem Enthäuten, insofern wir nämlich jetzt in Stand gesetzt sind, mit Hülfe der Kälte diese Entwicklung scheinbar so zu verzögern, daß die dabei stattfindenden Umstände der Beherrschung fähig und dem Versuch zugänglich gemacht werden. Die Erforschung der Umstände, welche die Entwicklung des Stromes herbeiführen, sie hemmen oder begünstigen, kann nicht länger eine Unmöglichkeit sein, nun wir wissen, daß ein parelektronomisches Präparat nach dem Enthäuten viele Minuten lang der Luft ausgesetzt bleiben kann, ohne daß sich der Strom vollständig entwickelt.

Folgendes sind die Versuche, die wir anstellen müssen, um jene zwar mißliebige, aber noch immer nicht genügend widerlegte Hypothese auf einmal zu bestätigen oder zurückzuweisen. Ist die Entwicklung des Stromes nach dem Enthäuten und beim Auflegen auf die Zuleitungsgefäße, sie geschehe schnell, wie am nicht erkälteten, oder langsam, wie am erkälteten Frosch, die Folge der freigegebenen Berührung der Muskeln mit dem Sauerstoff der Luft, so muß ein erkältetes Präparat, unmittelbar nach dem Enthäuten in Kohlensäure, in Wasserstoff, in Stickstoff, in die GUERICKE'SCHE Leere, unter Quecksilber gebracht, nach beliebig langer Zeit stromlos daraus hervorgehen, hingegen in Sauerstoff und vielleicht in Stickstoffoxydul muß es noch schneller als in der atmosphärischen Luft selber seinen Strom erhalten.

Diese Versuche wurden im Winter folgendermaßen ausgeführt. Der hinreichend lange und tief erkältete Frosch wurde im Freien, unmittelbar auf dem Schnee, möglichst schnell zugerichtet, und sein GALVANI'SCHES Präparat in eine weithalsige Flasche mit doppelt durchbohrtem Korke gebracht. Durch jede Durchbohrung ging ein Glas-

rohr, welches mit einem Hahn versehen war. Das eine Glasrohr führte zu dem Gasbehälter mit der zu prüfenden Gasart, das andere endete unter Wasser in einem benachbarten Cylinder, um durch den hier stattfindenden Blasengang über den Fortschritt des Luftaustreibens unterrichtet zu sein (S. oben Abth. I. S. 185). Damit der Versuch möglichst rein sei, wurde die Flasche schon vor Einbringen des Frosches mit Gas gefüllt. Bei Wasserstoff und Stickstoff war die Oeffnung der Flasche während des Einbringens nach unten gekehrt. Nach dem Einbringen des Frosches wurde abermals Gas durch die Flasche getrieben; es wurden die Hähne geschlossen und die Flasche, vom Gasbehälter und dem Probeylinder zu bequemerer Handhabung getrennt, in mittlerer Temperatur so lange aufbewahrt als nothwendig schien um Stromentwicklung herbeizuführen, wenn solche unter diesen Umständen überhaupt stattfand.

Ich begann mit Kohlensäure, Wasserstoff und Stickstoff, und fand, dem Anschein nach, die zu prüfende Voraussicht genau bestätigt. Die GALVANI'schen Präparate erkälteter Frösche gaben, nach einem Aufenthalte von 3—4 Stunden in den nicht athembaren Gasarten bei mittlerer Temperatur, absteigende Ausschläge zum Zeichen, dafs auch noch nicht einmal ein Anfang von Stromentwicklung Platz gegriffen hatte.

Ich schritt nun dazu, die Entwicklung, wie ich mir vorstellte, auch durch den Aufenthalt in der GUERICKE'schen Leere zu verzögern. Die Luftpumpe war die dem Leser schon bekannte von OERTLING's Arbeit (S. oben Abth. I. S. 188. 288). Damit die Entleerung möglichst schnell vor sich gehe, wurde die ohnehin kleine Glocke fast ganz mit einem gefirniften Holzklötz ausgefüllt, auf den das Präparat zu liegen kam. Ich pumpte bis auf die der zeitigen Temperatur entsprechende Spannkraft der Wasserdämpfe; die Pumpe hielt während der Dauer der Versuche (3—4 Stunden) so gut wie vollkommen dicht.

Es fand keine Spur von Stromentwicklung statt, so dafs sich das Ergebnis scheinbar auf's Beste dem der Versuche mit den nicht athembaren Gasarten anschlofs.

Jetzt kam, in der Verwirklichung des obigen Versuchsplans, die Reihe an das Quecksilber. Ich ging folgendermassen zu Werke. Auf den Grund eines 145^{mm} hohen, 11^{mm} weiten Cylinderglases wurde Kitt ausgegossen, in den Kitt eine Oese aus Eisendraht eingeschmelzt, und durch die Oese eine Fadenschlinge gezogen. Die Schlinge wurde um die Fufsgelenke des GALVANI'schen Präparates gelegt, das Präparat bis auf den Grund des Glases niedergezogen und mit Quecksilber übergossen. Durch Befestigung des freien Endes der Schlinge konnte alsdann das Präparat unter dem Quecksilber niedergehalten werden.

Der erste Frosch, der auf diese Weise behandelt wurde, war unter den nämlichen Umständen als die vorigen erkältet. Um so mehr erstaunte ich, als ich nach vierstündiger Absperrung gleich beim ersten Auflegen + 65° Ausschlag erhielt, und bei wiederholter Prüfung fand, daß der Strom völlig entwickelt war. Ein zweiter Versuch gab ganz dasselbe Ergebniss. Ein drittesmal wiederholte ich ihn mit ausgekochtem und dann bei Abschluß der Luft auf 0° erkaltetem Quecksilber, aber mit keinem anderen Erfolg. Ja ich fand, daß es, um den Strom zur Entwicklung zu bringen, gar nicht einer so langen Frist bedurfte, als ich sie angewendet hatte in der Meinung, ich würde zu beweisen haben, wie der Strom auch durch noch so langes Verweilen unter Quecksilber nicht zur Entfaltung gelange. Eine Stunde reichte völlig aus bei Fröschen, die 36 Stunden auf 0° erkaltet worden; 30 — 45' brachten den Strom seiner Entwicklung wenigstens sehr nahe.

Dies Ergebniss war nun freilich mit der zu prüfenden Voraussetzung und auch scheinbar mit dem Erfolg der vorigen Versuche, in sofern er diese Voraussetzung zu bestätigen schien, in keiner Weise zu vereinbaren. Doch ergab sich daraus kein hinreichend deutlicher Wink in Betreff eines anderen hier zu betretenden Versuchsweges, um nicht den vorliegenden zuerst noch in seine übrigen Consequenzen zu verfolgen. Ich beschloß vielmehr, die für die fragliche Hypothese erwachsene neue Schwierigkeit vor der Hand bei Seite liegen zu lassen und mich jetzt noch mit der anderen Hälfte der Beweisführung abzugeben, nämlich zu versuchen, ob in Sauerstoff oder Stickstoffoxydul der Strom wohl noch schneller als in der Luft zur Entwicklung gelange.

Ich stellte zuerst, nach der früher beschriebenen Methode, den Versuch mit Sauerstoff an. Kaum traute ich meinen Sinnen, als ich fand, daß auch im Sauerstoff, so wenig als in der Kohlensäure, dem Wasserstoff und dem Stickstoff, der Strom sich binnen vier Stunden im mindesten entwickle. Die Präparate gingen aus der Sauerstoffatmosphäre so stromlos hervor, als sie hineingebracht worden waren.

Jetzt fielen mir die Schuppen von den Augen. Ich erkannte zu spät, daß ich auf einem ganz falschen Wege fortgeschritten war, ohne mich, wie ich gekonnt hätte, Eingangs desselben zu vergewissern, ob es der richtige sei. Ich hatte versäumt, mich zu überzeugen, ob denn wirklich ein Präparat seinen Strom erhalte, welches man an der Luft ruhig liegen läßt, ohne es auf die Zuleitungsgefäße aufzulegen. Ich hatte nicht berücksichtigt, daß möglicherweise in diesem Auflegen, statt in der freigegebenen Berührung mit der Luft, die Ursache der Entwicklung enthalten sein könne.

Ohne erst noch den Versuch mit dem Stickstoffoxydul anzustellen, der der Natur der Dinge nach nun kein Ergebniss mehr liefern konnte, verfuhr ich jetzt, wie mit den Gasarten, mit der atmosphärischen Luft, und mit dem nämlichen unzweideutigen Erfolge. Der Strom eines Präparates, welches enthäutet beliebig lange Zeit der atmosphärischen Luft ausgesetzt wird, ohne auf die Zuleitungsgefäße gebracht zu werden, entwickelt sich nicht. Es ist folglich nicht die Berührung mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft, nicht die oberflächliche Trockniss u. d. m., worauf die Entwicklung des Stromes beruht. Alle Muthmäsungen der Art, die mich Jahre lang einem bösen Traume gleich verfolgt hatten, da durch die Bestätigung derselben die Bedeutung meiner Untersuchungen gänzlich in Frage gestellt gewesen wäre, alle diese Muthmäsungen fanden sich nun mit einem Schlage beseitigt. Das Auflegen des Präparates auf die Gefäße ist es, welches den Strom zur Entwicklung bringt, da er erst anfängt, sich zu entwickeln, wenn man anfängt, ihn durch Auflegen auf seine Entwicklung zu prüfen.¹ Ein Ergebniss welches, wenn auch noch selber reich an Dunkelheiten, mindestens schon das für sich hat, mit der Wirkung des Quecksilberbades auf die Stromentwicklung einigermaßen zu stimmen. Die beiden Vorgänge, der des Auflegens auf die Zuleitungsgefäße und der des Untertauchens unter Quecksilber, haben dem Anschein nach wenigstens das gemein, dafs in beiden ein leitender Bogen den thierischen Theilen angelegt wird. Freilich wird die Folge lehren, dafs dieser Anschein ein ganz trüglicher gewesen sei, und dafs die Uebereinstimmung in dem Erfolg beider Behandlungsweisen in ganz etwas Anderem seinen Grund habe.

5. Die Stromentwicklung an den parelektronomischen Präparaten ist die Folge des zufälligen Benetzens derselben mit der Kochsalzlösung der Zuleitungsgefäße.

Wir schreiten nun dazu, die Bedingungen der Stromentwicklung näher zu ergründen. Es scheint zuvörderst, als könne das Auflegen auf die Zuleitungsgefäße in keiner anderen Weise aufgefaßt werden, denn als Schliessen der Präparate zum Kreise. So einfach ist jedoch die Sache bei weitem nicht, wie wir sogleich finden werden, wenn wir einige Schlußfolgen aus dieser Voraussetzung auf die Probe des Versuches stellen.

Man findet zwar, dafs, wenn man das Präparat mit Becken und

¹ Zu dieser Einsicht gelangte ich im März 1844.

Füßen auf zwei Gefäßen mit gesättigter Kochsalzlösung nach Art der Zuleitungsgefäße ruhig liegen läßt, die aber nicht zum Kreise geschlossen sind, der Strom sich nicht entwickelt. Läßt man aber das Präparat nach dem ersten Auflegen auf den Zuleitungsgefäßen, die durch den Multiplicator zum Kreise geschlossen sind, ruhig liegen, so entwickelt der Strom sich auch nicht. Er fängt erst an sich zu entwickeln, wenn man das Präparat abwechselnd auf die Gefäße bringt und wieder davon entfernt.

Man sollte nun meinen, das Schließen des Präparates zum Kreise allein sei nicht ausreichend, den Strom zu entwickeln, es gehöre dazu abwechselndes Oeffnen und Schließen des Kreises. Freilich müßte man, in Erwägung des Erfolgs des Quecksilberbades, noch die Annahme hinzufügen, daß, bei sehr guter Leitungsfähigkeit des angelegten Bogens, diese Bedingung weg falle.

Man lege nun aber ein Präparat mit dem Becken in das eine Zuleitungsgefäß, Z , mit den Füßen in ein Gefäß G mit gesättigter Kochsalzlösung, welches mit beiden Zuleitungsgefäßen im Dreieck gestellt ist, und schliesse das Präparat häufig zum Kreise, ohne es von den Gefäßen abzuheben, indem man zwischen dem Gefäße G und dem zweiten Zuleitungsgefäße Z' einen mit Kochsalzlösung getränkten, kurzen und dicken Bausch B wechselsweise anbringt und entfernt. Die Platinplatten entladet man dabei durch Anbringen des Schließungsrohres zwischen beiden Zuleitungsgefäßen. Man kann auch den Salzbausch ruhig liegen lassen, und in den Multiplicatorkreis ein Unterbrechungsrad einschalten, welches man beliebige Zeit hindurch in Bewegung erhält. Gleichviel wie man verfähre, es findet auf diese Art keine Spur von Stromentwicklung statt. Wenn z. B. bei diesem Verfahren das GALVANI'sche Präparat einen negativen Ausschlag beim ersten Auflegen gab, sieht man wohl, im Verfolg des Versuches, die negative Wirkung kleiner werden. Man gewinnt jedoch leicht die Ueberzeugung, daß diese Abnahme von nichts herrührt, als von der verminderten Leistungsfähigkeit des Präparates, nicht aber von einer beginnenden Stromentwicklung. Denn wenn das Präparat beim ersten Auflegen einen positiven Ausschlag gab, so sieht man bei dem hier beschriebenen Verfahren den positiven Ausschlag gleichfalls abnehmen, während er doch, wenn Stromentwicklung stattfände, bis zu einer gewissen Grenze zunehmen müßte. Nimmt man aber ein einzigesmal das Präparat von den Gefäßen herunter, legt es ein paar Augenblicke ruhig auf eine isolirende Unterlage hin, legt es wieder auf, so beginnt unbegreiflicherweise die Stromentwicklung mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit, d. h. man erhält nun im positiven Sinne wachsende

Ausschläge, wenn man den Strom von Zeit zu Zeit mit Hülfe des Bausches *B* zwischen dem Gefäße *G* und dem zweiten Zuleitungsgefäße *Z'* bei Abwesenheit des Schließungsrohres zwischen *Z* und *Z'* prüft.

Wiederum sollte man meinen, wenn das Schließen des Präparates zum Kreise die Ursache der Stromentwicklung enthält, müßte diese Entwicklung abhängig sein vom Widerstande des hergestellten Kreises, so zwar, daß, wenn der Strom sich durch wiederholtes Auflegen auf die durch einen schlechten Leiter zwischen *G* und *Z'* zum Kreise geschlossenen Gefäße *Z* und *G* bis zu einem gewissen oberen Grenzwert entwickelt hätte, er sich noch einer weiteren Entwicklung fähig zeigen müßte, wenn man nun zwischen *G* und *Z'* einen besseren Leiter anbringt. Dies ist jedoch nicht der Fall. Ich brachte zwischen *G* und *Z'*, an Stelle des Salzbausches, ein zweimal rechtwinklig gebogenes sehr dünnes Rohr mit destillirtem Wasser, ja mit Brennspiritus an (Vergl. oben Abth. I. S. 339). Um nicht die Gleichartigkeit der Zuleitungsflüssigkeit zu gefährden, wurden die Mündungen des Rohres mit Pfropfen aus Fließpapier verschlossen, die mit gesättigter Kochsalzlösung getränkt waren. Die bedeutende Schwächung, welche der bereits entwickelte Strom eines Präparates erlitt, wenn der Salzbausch zwischen *G* und *Z'* durch dies Rohr ersetzt wurde, bekundete hinlänglich, daß der Widerstand des Rohres neben dem eines Präparates im Kreise allerdings sehr in Betracht kam. Nichtsdestoweniger zeigte es sich, daß, wenn ich bei Einschaltung des Widerstandrohres ein Präparat seinen Strom durch wiederholtes Auflegen auf *Z* und *G* entwickeln liefs, der Strom auch völlig entwickelt erschien, wenn ich an Stelle des Rohres den unvergleichlich besser leitenden Salzbausch brachte. Es war die entfernte Möglichkeit vorhanden, daß dies deshalb der Fall sei, weil das eine Bein dem anderen eine Nebenschließung darbot, welche schon allein vollständig zur Entwicklung hinreichte. Ich wiederholte also die nämlichen Versuche, statt mit dem GALVANI'schen Präparat, mit einem einzelnen Bein, allein mit keinem anderen Erfolg.

Diese Wahrnehmung enthielt einen Wink, den ich nicht unbenutzt vorübergehen liefs. In der That, es hatte danach den Anschein, als sei der schließende Bogen zwischen den Gefäßen für die Entwicklung des Stromes von keinerlei Bedeutung. Vielleicht also könnte sogar der Widerstand des Bogens unendlich sein, d. h. der Bogen ganz und gar fortbleiben, und der Strom würde sich dennoch entwickeln, wofern nur das Präparat wechselseitig aufgelegt und abgehoben würde. Denn ich hatte mich wohl überzeugt, daß bei offenen Gefäßen der Strom sich nicht entwickle, wenn man das Präparat auf den Gefäßen ruhig

liegen lasse; aber den Erfolg beim wechselweisen Auflegen und Abheben bei offenen Gefäßen hatte ich noch nicht geprüft.

Dies that ich nun und fand wirklich, dafs, wenn ich bei offenen Gefäßen ein Präparat mehreremal auflegte, es abnahm und ruhig auf den Tisch hinlegte, wie ich es sonst that um währenddem die Nadel zu beruhigen und die Ladungen zu tilgen, der Strom sich gerade so schnell und vollständig entwickelte, als ob die Gefäße geschlossen gewesen wären. Also in dieser bloßen Handhabung des Auflegens, des Abhebens und Hinwerfens auf eine isolirende Unterlage mußte nothwendigerweise die Stromentwicklung begründet sein.

Von hier aus war es nicht schwer, dem eigentlichen Kern der Erscheinung auf die Spur zu kommen. Dafs die mechanischen Wirkungen, die das Präparat bei jener Handhabung erfuhr, auf die Entwicklung von keinem Einfluß seien, war bald ausgemacht. Ich konnte das Präparat zwischen Wachstaffett oder Guttaperchaplatten quetschen und kneten, ohne Stromentwicklung herbeizuführen. Es blieb, als möglicher Grund für die Entwicklung, nur noch folgender Umstand übrig. Ich bemerkte, dafs an den Stellen des Tisches oder der Porzellanfliesen (S. oben Bd. I. S. 460), wo ich, zwischen je zweimaligem Auflegen, das Präparat hingelegt hatte, ein mit blutiger Flüssigkeit gemaltes Abbild der Gliedmaßen hinterblieb. Diese Flüssigkeit war gesättigte Kochsalzlösung, welche sich von den damit benetzten Füßen und dem Becken her durch Haarröhrchen-Anziehung zwischen dem Tisch und der feuchten Oberfläche der Muskeln hingezogen hatte. Das wiederholte Auflegen, Abheben und ruhige Hinlegen des Präparates stellte also vermuthlich nichts anderes vor, als wiederholtes Benetzen des Präparates mit gesättigter Kochsalzlösung in seiner ganzen Ausdehnung, vorzüglich aber an der Rückenfläche, auf die ich es zu legen pflegte.

Hiemit war das Rechte getroffen, wie aus folgenden Versuchen hervorgeht. Ich tauchte das parelektronomische Präparat in Kochsalzlösung und liefs es einige Zeit lang ruhig liegen. Als ich es auf seinen Strom prüfte, fand ich ihn vollständig entwickelt. Ich liefs es in der Kochsalzlösung selber liegen; der Strom wurde in noch kürzerer Zeit vollständig entwickelt. Ich tauchte das Präparat in die Lösung, legte es auf *Z* und *G* auf, und prüfte die Entwicklung des Stromes durch Schliesen mit dem Salzbausch zwischen *G* und *Z'*, während ich die Ladungen mittelst des Schließungsrohres zwischen *Z* und *Z'* tilgte. Der Strom entwickelte sich, gerade wie wenn das Präparat unabsichtlich durch Haarröhrchen-Anziehung, während des ruhigen Liegens nach einmaligem Auflegen, mit Salzlösung benetzt worden wäre.

Ich tauchte nur die Unterschenkel in die Salzlösung ein und schützte die Oberschenkel vor der Benetzung damit, der Strom schien bald völlig entwickelt. Als ich jetzt aber auch noch die Oberschenkel eintauchte, zeigte sich's, daß ihm noch der Antheil fehlte, der von diesen herührt; er ging nun noch merklich höher.

Es versteht sich übrigens, daß in allen diesen Versuchen die Kochsalzlösung, abgesehen von der Wirkung, die sie auf die Entwicklung des Stromes ausübt, in Bezug auf den Multiplicatorkreis als stromschwächende Nebenschließung auftritt. Wenn der Strom eines damit benetzten Präparates völlig entwickelt erscheint, und das Präparat wird mit Wasser abgespült und getrocknet, nimmt die Multiplicatorwirkung beträchtlich an Stärke zu; ein Vorgang, der nicht mit einer ferneren Stromentwicklung verwechselt werden darf (S. oben Bd. I. S. 688).

Auf der anderen Seite läßt sich zeigen, daß das Auflegen, Abheben und Ruhigliegenlassen den Strom nicht entwickelt, wenn man dabei vermeidet, daß sich durch Haarröhrchen-Anziehung das Präparat in weiterer Ausdehnung benetzt. Dies kann man auf verschiedene Art erreichen. Erstens, indem man das Präparat, statt es auf den Tisch zu legen, über ausgespannte Fäden wagrecht frei in der Luft ausbreitet. Fürs zweite, indem man es erst auf den Tisch legt, nachdem man Becken und Füße mit der Spritzflasche von der Salzlösung befreit und sorgsam abgetrocknet hat. Endlich drittens, indem man es mit der Rückenfläche auf die gewölbte Seite eines gleich einer Fafsdaube vor dem Feuer gebogenen Brettchens (eines Stückes Cigarrenkiste) von etwa 15^{mm} Breite, 90^{mm} Länge und 80^{mm} Krümmungshalbmesser dergestalt bindet, daß es die Enden des Brettchens mit Becken und Füßen überragt. Diese kann man alsdann eintauchen, und das Präparat mit den benetzten Endpunkten gleich einem Brückenbogen auf den Tisch stellen, ohne daß sich Salzlösung seiner Oberfläche entlang zieht. So kann man das Präparat beliebig oft auflegen, abheben und ruhig hinstellen, ohne daß der Strom sich entwickelt. Man kann es auch mit dem Becken und den Füßen als Brückenbogen in eine flache Schüssel mit gesättigter Kochsalzlösung stellen; der Strom entwickelt sich nicht. Er entwickelt sich aber sofort, wenn man das Präparat, mit dem Bogen, an den es gebunden ist, auch nur einmal durch Kochsalzlösung zieht.

Aus alledem geht mit Gewißheit hervor, daß es in der That das zufällige Benetzen mit Kochsalzlösung bei der Handhabung des Auflegens, Abhebens, Ruhigliegenlassens war, wodurch der Strom zur Entwicklung kam. Dies macht die vorherigen räthselhaften Ergebnisse nun mit einemale verständlich. Es wird klar, weshalb das einmalige

Auflegen und Liegenlassen auf den offenen sowohl als geschlossenen Gefäßen oder auch das öftere Zumkreiseschließen eines unverrückt aufliegenden Präparates, den Strom unentwickelt lasse, denn es fehlt dabei die Gelegenheit zur Benetzung mit Kochsalzlösung. Weshalb der Strom anfangs sich zu entwickeln, sobald nur einmal das Präparat abgehoben und auf den Tisch hingelegt worden ist, denn dabei überzieht es sich mit einer Schicht Kochsalzlösung. Weshalb nichts ankomme auf den Widerstand des Präparat zum Kreise schließenden Bogens, ja weshalb dieser Widerstand sogar unendlich, d. h. der Kreis geöffnet sein könne, unbeschadet der Stromentwicklung, denn gleichviel ob der Kreis zur Entwicklung beitrage oder nicht, was wir noch nicht wissen, jedenfalls reicht die Benetzung mit Kochsalzlösung aus, die Entwicklung bald vollständig herbeizuführen.

Was die Zeit betrifft, welche nothwendig ist, damit durch die Einwirkung der Kochsalzlösung der Strom zur Entwicklung komme, so hält es schwer, eine genaue Angabe darüber zu machen. Diese Zeit ist jedoch eingeschlossen zwischen etwa 1' und 1.5, d. h., wenn man Präparate beziehlich diese Zeiträume hindurch in Kochsalzlösung liegen läßt, sie darauf mit Wasser abspült, prüft, von Neuem in Lösung legt und nach einer gewissen Zeit abermals abspült und prüft, so findet man in dem ersten Fall häufig, in dem zweiten Fall selten, daß durch das zweite Eintauchen noch eine Verstärkung des Stromes um einige Grade herbeigeführt worden ist. Größer wird die zur vollständigen Entwicklung des Stromes nothwendige Zeit in dem Fall, wo das Präparat nicht in die Lösung getaucht, sondern nur der zufälligen Benetzung mit der Lösung beim wiederholten Auflegen preisgegeben wird. Alsdann findet man, wie bereits oben S. 35 angegeben wurde, daß der Strom sich gemeinlich bis zum fünften Mal steigert, von da ab wiederum sinkt. Es kostet aber jede Prüfung des Präparates auf die Stärke seines Stromes, wegen des nothwendigen Beruhigens der Nadel und Abgleichens der Ladungen, 3—4' Zeit, so daß der ganze Entwicklungsvorgang zu seiner Vollendung in dieser Art eine Viertelstunde bis 20' in Anspruch nimmt. Dies heißt aber im Grunde begreiflich nur so viel, als daß sich im Durchschnitt bei fünfmaligem Auflegen alle die Zufälligkeiten ereignet haben, welche nothwendig sind, um das Präparat an allen den Stellen, wo es für die Entwicklung des Stromes von Wichtigkeit ist, mit Kochsalzlösung zu überziehen. Daher denn auch, bei dieser Versuchsweise, die zur Entwicklung nöthige Zeit im Allgemeinen mit der Länge der Zeiträume wächst, die man zwischen den einzelnen Malen des Auflegens läßt. Die Folge wird übrigens lehren, daß sich an die Kenntniß der

absoluten Zeitdauer der Stromentwicklung durch die Kochsalzlösung durchaus kein wesentliches Interesse knüpft.

6. Die Stromentwicklung an den parelektronomischen Muskeln in unseren Versuchen ist die Folge des Benetzens allein des natürlichen Querschnittes mit der Kochsalzlösung der Zuleitungsgefäße oder dem Hühnereiweiß der Eiweißhäutchen.

Wir wissen nun, daß Untertauchen der parelektronomischen Gliedmaßen unter Quecksilber und Benetzen derselben mit gesättigter Kochsalzlösung den Strom zur Entwicklung bringt, daß er dagegen nicht hervortritt, wenn ein Präparat zwischen Füßen und Becken noch so lange zum Kreise geschlossen bleibt. Das Quecksilber und die Kochsalzlösung haben dem Anschein nach nur eine Eigenschaft gemein, auf die es hier ankommen kann, im Vergleich zu den thierischen Theilen gute Leiter zu sein. Es liegt folglich die Muthmaßung nahe, das Bedingende der Stromentwicklung beim Eintauchen in jene beiden Flüssigkeiten liege darin, daß eine gute Leitung unmittelbar zwischen natürlichem Längs- und Querschnitt der oberflächlichen Muskeln des GALVANI'schen Präparates hergestellt werde. Diese Muthmaßung wollen wir jetzt einer Prüfung unterwerfen. Wir wenden uns, zu diesem Zweck, zur Untersuchung der Bedingungen der Stromentwicklung an einem einzelnen Muskel, dem Gastroknemius oder dem Extensor cruris, welche einen ausgedehnten natürlichen Querschnitt darbieten. Es scheint nun anfangs wirklich, als ob es gelänge, mit Hülfe dieser Muskeln die Richtigkeit der ausgesprochenen Vermuthung zu bestätigen.

Man legt einen Gastroknemius mit seinem rothen Fleisch auf das Eiweißhäutchen des einen Bausches, mit der Ausbreitung der Achillessehne auf das des anderen, und schließt, neben dem Gastroknemius, zwischen beiden Bäuschen mittelst des Schließungsbausches. Auf diese Weise ist die Kette zwischen Längs- und Querschnitt des Muskels dauernd und doppelt geschlossen, einmal durch den Multiplicatorkreis, für's zweite durch den Schließungsbausch. Der Schließungsbausch bildet aber in Bezug auf den Multiplicatorkreis eine so gute Nebenschließung, daß selbst bei völlig entwickeltem Strome die Nadel des Multiplicators für den Muskelstrom nur eine kaum merkliche Spur davon anzuzeigen vermag. Beim Entfernen des Muskels, während der Schließungsbausch liegen bleibt, geben sich gleichfalls nur ganz unmerkliche Ladungen der Platinenden des Multiplicators kund. Hebt man dagegen den Schließungsbausch ab, während der Muskel liegen bleibt, so bleibt dieser allein durch den Multiplicatorkreis zur Kette

geschlossen, und die Nadel beschreibt einen Ausschlag genau als ob man den Muskel bei vorher ganz geöffnetem Kreise eben auf die Bäsche gelegt hätte. Man vermag also, auf diese Art, durch bloßes Abheben des Schließungsbausches von Zeit zu Zeit und ohne sonst irgend etwas an der Anordnung zu verändern, den zwischen Längs- und Querschnitt dauernd geschlossenen Muskel auf die Entwicklung seines Stromes zu prüfen. Dies ist weit vortheilhafter, als wenn man den Muskel anderweitig zum Kreise schlosse und ihn zu jeder Prüfung aus diesem Kreise auf die Bäsche brächte. Man würde dabei nicht sicher sein, ihm stets wieder dieselbe Lage zu ertheilen, und möglicherweise könnte von irgend welchem Umstande beim wiederholten Auflegen, statt vom dauernden Aufenthalt im Kreise, die Entwicklung des Stromes herrühren.

Verfährt man nun dergestalt mit einem parelektronomischen Muskel, so findet man, daß sich sein positiver Strom im Verlauf des Aufliens bald vollständig entwickelt, gerade wie wir dies oben S. 35 beobachtet haben, wo wir den Muskel wechselsweise abhoben und wiederum auflegten. Uebrigens dauert die Stromentwicklung am Gastroknemius, der mit Längs- und Querschnitt auf den mit Eiweißhäutchen bekleideten Bäuschen aufliegt, sehr viel länger als an einem Präparate, welches unter Kochsalzlösung getaucht wird, wenn auch nicht gerade länger als an einem solchen, welches der zufälligen Benetzung beim wiederholten Auflegen preisgegeben wird (S. oben S. 48). Dieser letztere Umstand ist beiläufig Schuld daran, daß wir oben S. 35 nicht bemerken konnten, wie die Dauer der Entwicklung von der Art des Schließens zur Kette abhängig sei und folglich die Entwicklung nicht freiwillig nach dem Enthäuten der Gliedmaßen vor sich gehen könne, sondern irgendwie durch das Schließen derselben zur Kette bedingt sein müsse.

Uebrigens versteht es sich von vorn herein, daß auch ein einzelner Gastroknemius, den man 1'—1'.5' in Kochsalzlösung taucht, gleich einem ganzen Präparate mit völlig entwickeltem Strome daraus hervorgeht. Dabei giebt sich aber ein fernerer Umstand zu erkennen, auf den wir gleichfalls oben S. 35 noch nicht aufmerksam werden konnten, und der von großer Wichtigkeit zu werden verspricht. Entwickelt man nämlich den Strom des einen Gastroknemius eines Frosches durch Auflegen auf die mit Eiweißhäutchen bekleideten Bäsche, den Strom des anderen Gastroknemius desselben Frosches aber durch Eintauchen in Kochsalzlösung, so findet man, daß der Strom des letzteren den des ersteren an endlicher Stärke weit übertrifft.

Jetzt wollen wir den parelektronomischen Muskel statt mit Längs- und Querschnitt, auf andere Weise, z. B. mit Punkten des Längsschnittes

allein, oder mit sehnigen Enden, in den Kreis bringen. Dabei wird also zugleich zur Erledigung kommen die oben S. 37 offen gebliebene Frage nach dem Verhalten erkälteter Muskeln bei diesen Arten der Ableitung. Man nähere die Bäusche einander, versehe die Eiweißhäutchen in hergebrachter Weise mit Glimmerblättchen die nur ihren Rand frei lassen, und brücke darüber einen parelektronomischen Semimembranosus oder Adductor magnus Cuv. mit symmetrischen oder asymmetrischen Punkten des Längsschnittes. Es findet keine Entwicklung statt; d. h. bei asymmetrischen Punkten tritt der gehörige Strom nicht hervor, bei symmetrischen findet man bei nachheriger Prüfung den Strom zwischen Längsschnitt und natürlichem Querschnitt noch unentwickelt vor.

Man bringe sodann zwischen den Bäuschen die Spitze der dreieckigen Glasplatte Fig. 28. Taf. I. Fig. 40. Taf. IV. Bd. I. an, lege darauf einen parelektronomischen Gastroknemius, und lasse ihn diesmal die Bäusche, die dabei nicht mit Eiweißhäutchen überzogen zu sein brauchen, statt, wie früher, mit Längs- und Querschnitt, nur mit sehnigen Enden berühren. Es ist uns diese Art, den Strom des Gastroknemius abzuleiten, schon von früherher wohlbekannt (S. oben Bd. I. S. 495. 496. 515). Man erinnert sich, daß der Gastroknemius, wenn er im vollen Besitze seines Stromes ist, dabei mit sehr großer Kraft in aufsteigender Richtung wirkt. Nichtsdestoweniger zeigt sich in dieser Lage abermals das Schließens des Muskels zum Kreise auch bei noch so langer Dauer unfähig, den Strom zu entwickeln. Höchstens eine leise Spur, im Bereiche von ein paar Graden, kommt in einigen Fällen nach stundenlanger Frist zum Vorschein. Dasselbe ist aber auch manchmal der Fall, wenn man den Muskel, ohne ihn auf irgend eine Art zur Kette zu schließens, auf nichtleitender Unterlage sich selbst überläßt.

Also beim Aufliegen des Muskels mit seinen sehnigen Enden entwickelt der Strom sich nicht, so wenig als beim Aufliegen mit Punkten des Längsschnittes allein und so wenig als der Strom eines GALVANI'schen Präparates, welches mit Füßen und Becken auf den Zuleitungsgefäßen aufliegt. Es ist dies beiläufig ein Fund von großer praktischer Wichtigkeit für den Verfolg der Untersuchung. Denn wir sind dadurch in Stand gesetzt, die Entwicklungsstufe des Stromes des Gastroknemius zu bestimmen, und ihn auf einer gegebenen Stufe beliebig oft der Prüfung zu unterwerfen, ohne Gefahr zu laufen, durch die Prüfung selber den Stand der Entwicklung zu verändern, wie dies, dem Obigen nach, unfehlbar der Fall sein würde, wenn wir den Muskel mit Längs- und Querschnitt auflegten. Es versteht sich hienach von selber, daß fortan jedesmal, wo es sich um die Prüfung eines par-

elektronomischen Gastroknemius auf die Entwicklung seines Stromes handelt, der Muskel als mit sehnigen Enden aufgelegt zu denken ist.

Es hat sich also, dem Anschein nach, vollständig bewährt die zu Anfang hingestellte Vermuthung, es sei die unmittelbare Verbindung von Längs- und Querschnitt nothwendig, damit der Strom sich entwickle. Lassen wir indess, durch diese scheinbare Uebereinstimmung einiger Thatsachen, unsere Wachsamkeit nicht einschläfern. Vergessen wir nie, dafs wir uns auf einem Gebiete bewegen, auf dem man, wenn der Ausdruck vergönnt ist, nicht unterlassen darf sich zu vergewissern, ob auch wirklich ein Stein falle. Setzen wir unsere Meinung, es sei eine Verbindung von Längs- und Querschnitt in der bisher verwirklichten Art nothwendig, damit der Strom sich entwickle, auf die nämliche Probe, vor der oben S. 45 unsere damalige Vorstellung nicht bestand, es genüge, um Entwicklung herbeizuführen, dafs das GALVANI'sche Präparat überhaupt zwischen beliebigen Punkten, z. B. Becken und Füfsen, zum Kreise geschlossen werde. Wir dachten uns damals, dafs, wenn dieses Schliesfen zum Kreise die Entwicklung bedinge, doch wahrscheinlich auch der Widerstand des Kreises dabei in Betracht komme, so zwar, dafs ein Präparat, dessen Strom für einen schlecht leitenden Kreis völlig entwickelt erscheine, sich beim Anlegen eines besser leitenden Bogens noch einer ferneren Stromentwicklung fähig zeigen würde. Diese Erwartung ward getäuscht. Wir fanden vielmehr eine völlige Unabhängigkeit des schliesslich erreichten Entwicklungsgrades vom Widerstande des angelegten Bogens, und wurden so darauf geführt, dafs vielleicht dieser Bogen selber gar nichts möge mit der Entwicklung zu schaffen haben, eine Muthmassung, die bald zur völligen Gewifsheit ward.

Hier jedoch könnte man meinen, in der geringeren Schnelligkeit und Stärke der Stromentwicklung beim Aufliegen des Muskels auf den mit Eiweifs häutchen bekleideten Bäuschen im Vergleich zu der beim Eintauchen in Kochsalzlösung, den Einflufs des gröfseren Widerstandes des angelegten Bogens bereits unzweideutig zu erkennen. Um nun diesen Einflufs, wenn er wirklich vorhanden ist, unmittelbar nachzuweisen, lassen sich verschiedene Anordnungen treffen. Die einfachste ist folgende. Man legt auf eine Glasplatte nebeneinander zwei Zwischenbäusche. Gegen einander über liegende Stellen der Bäusche werden mit Eiweifs häutchen bekleidet, und mit dem Gastroknemius überbrückt. Zwischen beliebigen anderen Punkten der Bäusche stellt man die schlechtleitende Verbindung her, sei's mit einem feuchten Faden, sei's mit einem Widerstandsrohre gleich dem oben S. 45 erwähnten, dessen Fließpapierstopfen man mit den Bäuschen in Berührung bringt. Von Zeit zu Zeit prüft man den Gastro-

knemius auf die Entwicklung seines Stromes, indem man den Strom von den beiden sehnigen Enden ableitet. Ist der Strom scheinbar völlig entwickelt, so bringt man an Stelle der schlechten Leitung zwischen den Bäuschen eine beliebig gute Leitung an. Es findet aber dadurch keine merkliche Entwicklung mehr statt. Die entwickelnde Ursache scheint also auch hier von dem Widerstande des Bogens unabhängig zu sein, und die geringere Schnelligkeit und Stärke der Entwicklung beim Aufliegen auf den Bäuschen im Vergleich zu der beim Eintauchen in Kochsalzlösung muß auf etwas anderem beruht haben, als auf einem Unterschiede der Widerstände der angelegten Bögen in beiden Fällen.

Vielleicht kann nun sogar der Widerstand unendlich groß sein, ohne daß die Entwicklung beeinträchtigt wird, d. h. vielleicht brauchen die Bäusche gar nicht zur Kette geschlossen zu sein (Vergl. oben S. 45). So zeigt es sich in der That. Es genügt, um nach einiger Zeit den Strom vollständig entwickelt zu sehen, an Längs- und Querschnitt des Gastroknemius mit Eiweißhäutchen bekleidete Bäusche zu bringen, die nicht unter sich zum Kreise geschlossen sind.

Jetzt mußte versucht werden, ob es vielleicht auch hinreichend sei, nur an Längsschnitt, oder nur an Querschnitt, einen mit einem Eiweißhäutchen bekleideten Bausch hinanzuschieben. Ich fand, daß das Anlegen eines solchen Bausches an den Längsschnitt den Strom nicht viel stärker entwickle, als wenn der Muskel sich selber überlassen bleibt, d. h. nur spurweise; daß hingegen der Strom zur Entwicklung gelangt, wenn ein mit dem Eiweißhäutchen bekleideter Bausch die Ausbreitung der Achillessehne in einiger Ausdehnung berührt. Endlich entfernte ich auch noch den Bausch und behielt nur das Eiweißhäutchen bei, womit ich, statt des Bausches, den Rand einer der oben Bd. I. S. 460 erwähnten Porzellanfliesen bekleidete. Legte ich den Gastroknemius mit seinem Kopfe auf irgend einen isolirenden Körper, mit der Ausbreitung der Achillessehne auf jenes Eiweißhäutchen, so fand Stromentwicklung statt, so gut wie in dem ersten Versuche dieser Nummer, wo die Kette zwischen Längs- und Querschnitt dauernd und doppelt durch vorzügliche Leitungen geschlossen war.

Es geht hieraus hervor, daß diese Leitungen, in jenem Versuch und in den späteren, ganz überflüssig waren. Die bloße Gegenwart des Eiweißhäutchens am natürlichen Querschnitt ist ausreichend, um den Strom zu entwickeln. Es ist also kein Wunder, daß der Widerstand der Leitungen sich von gar keinem Einfluß auf die Entwicklung zeigte. Ebenso, läßt sich jetzt schließen, war es wohl in allen Versuchen, in welchen wir die Entwicklung durch Benetzen mit Kochsalzlösung herbeiführten, ganz überflüssig, daß sich die Benetzung

auch auf den natürlichen Längsschnitt erstreckte. Es kam gewifs auch hier nicht darauf an, dafs die Lösung eine gute Leitung zwischen den beiden ungleichartigen Flächen des Muskels herstellte. Es wird, um den Strom zu entwickeln, genügen, den natürlichen Querschnitt allein mit der Lösung zu benetzen, während das Benetzen des Längsschnittes sich auch hier vergleichweise ganz unwirksam erweisen wird.

Dies ist denn auch wirklich der Fall. Wenn man den Muskel mit der Ausbreitung der Achillessehne, statt gegen den mit einem Eiweifs häutchen bekleideten Rand einer Porzellanfliese, gegen den des Eiweifs häutchens beraubten Salzbausch lehnt, tritt der Strom ungefähr mit derselben Geschwindigkeit und ebenso stark hervor, als da wir den ganzen Muskel unter Kochsalzlösung brachten. Verfäht man auf gleiche Weise mit Punkten des Längsschnittes allein, so zeigt sich keine mit der früheren irgend vergleichbare Entwicklung.

7. Die Stromentwicklung an den parelektronomischen Muskeln kann herbeigeführt werden durch Benetzen des natürlichen Querschnittes mit beliebigen chemisch wirksamen Flüssigkeiten, gleichviel ob leitender oder nichtleitender Art.

(i) Verfahren, verschiedene Flüssigkeiten auf ihr Vermögen zur Entwicklung des Stromes parelektronomischer Muskeln zu prüfen.

Wir haben nunmehr drei Arten kennen gelernt, den Strom der parelektronomischen Muskeln zur Entwicklung zu bringen. Erstens durch längeres Verweilen der Muskeln unter Quecksilber; zweitens durch Benetzen des natürlichen Querschnittes mit Hühnereiweifs und drittens durch Benetzen desselben mit Kochsalzlösung. Lassen wir die erste Art der Entwicklung, diejenige nämlich durch ein Quecksilberbad, vorläufig auf sich beruhen. Sie wird sich später auf ebenso überraschende als befriedigende Weise, nur als eine unwesentliche Abänderung der beiden anderen Arten erweisen. Gehen wir lieber darauf aus, das allgemeine Prinzip zu finden, welches diesen letzteren zu Grunde liegen mag. Der Weg dazu wird sein, zu untersuchen, ob auch andere Flüssigkeiten im Stande sind, den Strom zu entwickeln, als gerade Kochsalzlösung und Hühnereiweifs, und wenn dies, wie wir wohl annehmen dürfen, der Fall ist, welche die gemeinsame Eigenschaft dieser Flüssigkeiten, also die zur Entwicklung nothwendige und wesentliche sein mag.

Man kann, bei der Prüfung der Flüssigkeiten auf ihre stromentwickelnde Fähigkeit, auf verschiedene Art zu Werke gehen.

Man kann erstlich den Muskel, nachdem man ihn zwischen seinen sehnigen Enden auf den Entwicklungszustand seines positiven Stromes

geprüft hat, in die Flüssigkeit tauchen, ihn darin eine genügende Zeit verweilen lassen, und ihn, nachdem man ihn abgespült hat, abermals zwischen seinen sehnigen Enden einer Prüfung unterwerfen. Dabei gelangt man jedoch nie zur Sicherheit, daß nicht an den sehnigen Enden Spuren der Flüssigkeit haften geblieben sind, welche den Strom durch Veränderung des Widerstandes entsprechend verändern, bei leitenden Flüssigkeiten aber außerdem noch elektromotorisch wirken können; der Längsschnitt wird ohne Noth angeätzt; es ist schwer, den Muskel stets wieder in genau gleicher Art aufzulegen; endlich erlangt man eine Vorstellung von der Geschwindigkeit, mit der die verschiedenen Flüssigkeiten den Strom entwickeln, nur durch die schwierige und langwierige Bestimmung der Zeit, die die Muskeln darin verweilen müssen, um den oberen Grenzwert ihrer positiven Wirksamkeit zu erlangen.

Besser ist schon das Verfahren, dem Querschnitt des Muskels kleine Fließpapierbäusche anzulegen, welche mit der zu prüfenden Flüssigkeit getränkt sind; wenigstens bleiben dabei Längsschnitt und sehnige Enden von der entwickelnden Flüssigkeit verschont.

Diese beiden Verfahrensarten sind es im Wesentlichen, die wir in unseren bisherigen Versuchen mit der Kochsalzlösung und dem Hühnereiweiß, durch zufällige Umstände geleitet, in Anwendung gebracht haben. Dabei hatten wir aber, bei dem ersten Verfahren, den günstigen Umstand für uns, dessen wir jetzt verlustig gehen, daß die entwickelnde Flüssigkeit einerlei mit der war, die die feuchten Multiplicatoren bildet, so daß wir wenigstens keine Störungen durch eine etwaige elektromotorische Wirksamkeit der entwickelnden Flüssigkeit zu besorgen brauchten. Weit leichter in's Werk zu setzen und entscheidender in ihrem Erfolge als jene beiden ist nachstehende Versuchsweise, der wir daher auch fortan den Vorzug schenken werden.

Der Muskel ruht mit seiner Tibialfläche auf der dreieckigen Glasplatte, kehrt die Ausbreitung der Achillessehne frei nach oben, und berührt die beiden Bäusche mit seinen sehnigen Enden. Zwischen den Rändern der Glasplatte und den Bäuschen bleibt ein Zwischenraum von einigen Millimetern. Während der Muskel dergestalt aufliegt und die Nadel auf Null verharret oder sich im negativen Quadranten, oder auch bereits im positiven Viertel der Theilung in beständiger Ablenkung befindet, trägt man die entwickelnde Flüssigkeit auf den natürlichen Querschnitt des Muskels mit einem Haarpinsel oder einem Glasstäbchen auf. Der Erfolg zeigt sich entweder augenblicklich an der Nadel, oder man erkennt ihn bei langsamerer Entwicklung dadurch, daß man zwischen den Bäuschen neben dem Muskel mit dem

Schließungsbausch schließt, dann, nach getilgten Ladungen, den Bausch wieder abhebt (Vergl. oben S. 49. 50). Bei diesem Verfahren hat man keine der oben aufgezählten Störungen von Seiten der Flüssigkeiten zu fürchten, da die sehnigen Enden davon frei bleiben. Der Muskel bleibt unverrückt, mit Ausnahme höchstens des Falles, daß er durch die zu prüfende Flüssigkeit in Zuckung versetzt wird. Endlich aber hat man an der Lebhaftigkeit der Nadelbewegung, welche auf das erste Benetzen mit der Flüssigkeit folgt, ein bequemes und innerhalb der Grenzen, auf die es hier ankommt, hinreichend sicheres Merkmal für die Geschwindigkeit, mit der die Flüssigkeit den Strom hervorruft.

(n) Entwicklung des Stromes parelektronomischer Muskeln durch Benetzen des natürlichen Querschnittes mit leitenden Flüssigkeiten.

Ich habe auf diese Weise eine große Anzahl von Flüssigkeiten auf ihre entwickelnde Fähigkeit untersucht.

Ich begann mit den gesättigten Lösungen folgender Salze: schwefelsaures Kupfer- und schwefelsaures Zinkoxyd, salpetersaures Silberoxyd, essigsaures Natron, Chlorammonium, Quecksilberchlorid, Eisenchlorid, Jodkalium, Cyaneisenkalium, Schwefelwasserstoffammoniak.

Alle diese Lösungen wirkten mehr oder weniger rasch entwickelnd. Bei den schneller entwickelnden Lösungen sieht man sogleich die Nadel sich ausschlagsweise bis auf $+70$ bis 80° begeben, ja an die positive Hemmung schlagen; so wirken namentlich salpetersaures Silberoxyd, Jodkalium, Eisenchlorid, Cyaneisenkalium. Bei den minder rasch wirkenden Lösungen, mit Inbegriff der Kochsalzlösung, geht die Nadel so langsam, daß sie dabei in keine merkliche Schwingungen geräth, auf $+10$ bis 15° beständiger Ablenkung. Bringt man jetzt den Schließungsbausch neben dem Muskel auf die Bäusche, so schlägt sie an die negative Hemmung, und beim Abheben des Bausches nach getilgten Ladungen an die positive Hemmung.

Ich wendete mich nun zu den Säuren. Sowohl rauchende als die gemeine käufliche Salpetersäure, Chlorwasserstoffsäure, verdünnte Schwefelsäure, concentrirte Essigsäure, Oxalsäure wirkten sämmtlich sehr stark, d. h. die Nadel ging sogleich ausschlagsweise in sehr hohe Breiten des positiven Quadranten, ja an die Hemmung.

Von alkalischen Flüssigkeiten prüfte ich eine sehr concentrirte Kalilauge und Ammoniakflüssigkeit. Beide trieben sofort die Nadel an die positive Hemmung.

Es versteht sich übrigens, daß die Flüssigkeiten, gleich der Koch-

salzlösung, ebensogut entwickelnd wirken, wenn man Längs- und Querschnitt zugleich damit benetzt, nicht aber, wenn allein der Längs-schnitt ihnen preisgegeben wird.

So versteht es sich auch, daß die Flüssigkeiten, neben ihrer stromentwickelnden Thätigkeit, immer zugleich als Nebenschließung wirksam sind. Man erkennt dies leicht daran, daß der Strom nach sorgfältiger Reinigung des Muskels merklich an Stärke zunimmt (Vergl. oben S. 47).

Wenn der Muskel, beim Benetzen mit den minder rasch entwickelnden Flüssigkeiten, wie Kochsalzlösung, Salmiaklösung u. d. m., bereits etwas positiven Strom besitzt, so zeigt sich eine merkwürdige Erscheinung. Man sieht nämlich die Nadel zuerst einen kleinen negativen Vorschlag beschreiben und erst nachher den weit größeren Ausschlag im entgegengesetzten Viertel der Theilung vollziehen, der von der Entwicklung des positiven Stromes herrührt.

Diese Erscheinung beruht zweifellos darauf, daß die Flüssigkeit sich eher geltend macht als Nebenschließung für den bereits vorhandenen Strom, als sie ferneren Strom zu entwickeln vermag. Damit stimmt wenigstens, daß die schneller entwickelnden Flüssigkeiten die Erscheinung nicht zeigen, und daß sie ebensowenig bemerklich wird, wenn der Muskel, statt bereits positiven Strom, noch negativen Strom besitzt. Im letzteren Falle nämlich muß die Wirkung wegen der Nebenschließung einerlei Sinn haben mit der wegen der Stromentwicklung, d. h. die positive Richtung. Der negative Vorschlag ist ferner um so bedeutender, je reichlicher der Muskel mit der Flüssigkeit benetzt wird, während es für die Entwicklung begreiflich eine Grenze giebt, jenseits welcher es gleichgültig ist, ob noch mehr Flüssigkeit hinzugetragen wird oder nicht.

Der Vorschlag wegen Nebenschließung findet auch statt, wenn nur der Querschnitt benetzt wird, nicht aber, wenn nur den Längs-schnitt. Leitet man den völlig entwickelten Strom des Gastroknemius abwechselnd von den sehnigen Enden und von Längs- und Querschnitt ab, so findet man ihn im ersten Falle regelmäsig stärker als im zweiten. Unstreitig hat man sich zu denken, daß in diesem letzteren die Masse selber des an den Querschnitt angelegten Bausches eine schwächende Nebenschließung bildet in Bezug auf den Multiplicatorkreis, dessen eines Ende der Bausch vorstellt. Daß aber das Anbringen eines Leiters an den Querschnitt allein hinreicht, eine solche Nebenschließung zu bilden, erklärt sich einigermassen daraus, daß der natürliche Querschnitt am Gastroknemius einen sehr spitzen Winkel mit der Richtung der Primitivmuskelbündel macht. Zwar sind diese, wie

ich sehe, längs der Ausbreitung der Achillessehne unter demselben Winkel gegen ihre Axe, und unter seinem Complement gegen die Richtung ihrer Querstreifen, in einer Flucht schräg abgeschnitten; ihre Enden überragen einander nicht stufenförmig, und eine den Querschnitt benetzende Flüssigkeit ist daher nicht etwa zu betrachten als angelegt an Längs- und Querschnitt aller einzelnen Bündel. Wohl aber kann man sich vorstellen, dafs in dem schrägen Querschnitt jedes einzelnen Bündels die Längsreihen der elektromotorischen Molekeln einander stufenförmig überragen, so dafs an Längs- und Querschnitt dieser Reihen die Nebenschließung angelegt sein würde.

Man kann den negativen Ausschlag wegen der Nebenschließung natürlich auch beobachten, indem man den Strom zuerst mit Hülfe einer bestimmten Flüssigkeit entwickelt und dann den Querschnitt noch mit derselben Flüssigkeit überschwemmt. Es findet alsdann kein Rückkehren der Nadel in das positive Viertel der Theilung mehr statt, es sei denn, dafs das erste Benetzen zur vollständigen Entwicklung nicht hingereicht habe. Entwickelt man aber zuerst mit einer bestimmten Flüssigkeit, und trägt dann eine andere auf, so findet man, dafs gewisse Flüssigkeiten noch vermögen, da einen positiven Ausschlag hervorzulocken, wo bereits andere ihre volle Wirkung gethan zu haben scheinen, z. B. Salpetersäure nach Kochsalzlösung, salpetersaure Silberoxydlösung nach Essigsäure. Die verschiedenen Flüssigkeiten entwickeln also nicht allein nicht gleich schnell, sondern auch nicht gleich stark. Der obere Grenzwert der positiven Wirksamkeit, den der Muskel durch die Einwirkung der Flüssigkeit erreicht, ist bei der einen gröfser als bei der anderen. Im Allgemeinen kann man sagen, dafs er um so gröfser ist, je schneller, um so kleiner, je langsamer er erreicht wird. Doch giebt es auch namhafte Ausnahmen von dieser Regel; wenigstens in sofern, als eine Flüssigkeit sehr viel schneller als eine andere entwickeln kann, ohne deshalb viel stärker zu entwickeln; so Essigsäure im Verhältnifs zu Kochsalzlösung. Eine Rangordnung der verschiedenen Flüssigkeiten, in der jede folgende noch positiven Ausschlag giebt, wenn alle vorhergehende ihre volle Wirkung gethan haben, bin ich mitzuthellen für jetzt noch nicht im Stande. Noch weniger bin ich bereits im Besitze einer genaueren Rangordnung der Flüssigkeiten nach der Schnelligkeit der durch sie bedingten Entwicklung, welche also, dem eben Gesagten gemäfs, im Allgemeinen die umgekehrte der ersten sein würde. Die Folge wird lehren, dafs sich das Aufstellen solcher Rangordnungen der Mühe nicht verlohnen würde.

Der oben S. 51 von uns bemerkte Unterschied hinsichtlich der Schnelligkeit und Stärke zwischen der Entwicklung durch Hühnerei-

weifs und der durch Kochsalzlösung stellt sich jetzt, wie man sieht, nur als ein besonderer Fall von der hier gemachten allgemeinen Wahrnehmung heraus. Die hier befolgte Methode zur Prüfung der Flüssigkeiten auf die vergleichweise Stärke der durch sie bedingten Entwicklung kann dazu dienen, jenen Unterschied noch deutlicher hervortreten zu lassen, als es uns früher durch die Vergleichung des Erfolgs an verschiedenen Muskeln möglich war. Der durch Hühnereiweifs vollständig entwickelte Strom geht beim Benetzen des natürlichen Querschnittes mit Kochsalzlösung noch beträchtlich höher.

Wenn es aber früher stets geheifsen hat, unter gewissen Umständen habe sich der Strom vollständig entwickelt, so bedarf diese Ausdrucksweise jetzt sichtlich einer näheren Bestimmung. Der Strom schien uns, in jenen Fällen, vollständig entwickelt nur darum, weil die Flüssigkeit, womit der natürliche Querschnitt benetzt war, ihn gerade nicht höher zu entwickeln vermochte. Eine andere Flüssigkeit hätte ihn wohl noch höher getrieben; was aber den Strom wirklich vollständig entwickeln sei, und welche Forderung eine Flüssigkeit zu erfüllen habe, die dies leisten solle, davon wird an einer späteren Stelle die Rede sein, wenn wir in das Wesen des Entwicklungsvorganges erst etwas tiefer eingedrungen sind.

Die bisher als entwickelnd aufgeführten Flüssigkeiten kommen überein in verschiedenen Eigenschaften. Mit Ausnahme des Hühnereiweisses sind sie erstens sämmtlich fähig, die organische Substanz lebhaft anzugreifen. Sie sind zweitens sämmtlich Leiter des elektrischen Stromes, und zwar abermals mit Ausnahme des Hühnereiweisses bessere als die thierischen Gebilde. Vermöge ihrer doppelten Eigenschaft als Leiter aber und als chemisch wirksame Stoffe sind sie auch sämmtlich im Stande, im Verein mit den thierischen Theilen Ketten aus mehreren Flüssigkeiten darzustellen.

Man könnte daher jetzt den Verdacht fassen, dafs der ganze Anschein der Stromentwicklung lediglich auf einer solchen Kettenbildung oder gar nur auf einer Widerstandsverminderung des sehnigen Ueberzuges über den natürlichen Querschnitt beruhe. Es ist leicht, diesen Verdacht schon allein mit Hülfe des bisherigen Kreises von Thatsachen zu widerlegen.

Wie soll eine Kette aus mehreren Flüssigkeiten hier zu Stande kommen, wenn nur ein Theil der Oberfläche des mit sehnigen Enden aufliegenden Muskels, der natürliche Querschnitt, mit der entwickelnden Flüssigkeit bestrichen wird, oder wenn, bei der Kochsalzlösung als entwickelnder Flüssigkeit, der ganze Muskel, mit Inbegriff der sehnigen Enden, in derselben Flüssigkeit gebadet wird, womit die Bäusche

getränkt sind? Wie soll die Kettenbildung dagegen ausbleiben, wenn der Längsschnitt die gleiche Behandlung erfährt? Wie die Richtung des entstehenden Stromes von der chemischen Beschaffenheit der Flüssigkeiten ganz unabhängig sein? Und so kann man denn auch einen faulenden Muskel, der mit sehnigen Enden zwischen den Bäuschen stromlos aufliegt, mit Salpetersäure, Chlorwasserstoffsäure, Kalihydratlösung, Ammoniakflüssigkeit benetzen so viel man will; man erhält keine Spur von Entwicklung eines positiven Stromes, keine Nadelbewegung, so wenig als wenn man einen Tropfen Säure auf einen metallischen Leiter bringt, der den Multiplicator zum Kreise schließt.

Was vollends die Verminderung des Widerstandes des sehnigen Ueberzuges betrifft, so haben wir ja im Gegentheil erst eben erfahren, dafs, wenn bereits positiver Strom gegenwärtig ist, dem positiven Ausschlage wegen Stromentwicklung ein negativer Vorschlag vorhergeht. Daraus erhellt, dafs der sehnige Ueberzug nicht als Widerstand, der auf dem Wege des Stromes liegt, sondern als Nebenschließung in die Anordnung eingeht; die Verminderung des Widerstandes dieser Nebenschließung hat Verminderung statt Vermehrung der Stromstärke im Multiplicatorkreise zur Folge. Wenn ferner noch negativer Strom vorhanden ist, so ist die Wirkung des Benetzens mit den gut leitenden Flüssigkeiten nicht die Verstärkung des Stromes, sondern die Umkehr desselben in die positive Richtung.

- (III) Entwicklung des Stromes parelektronomischer Muskeln durch Benetzen des natürlichen Querschnittes mit nicht leitenden Flüssigkeiten.

Doch die Betrachtungen dieser Art, so schlagend sie sind, können wir uns füglich ganz ersparen. Suchen wir lieber, unserem Eingangs vorgezeichneten Plane gemäß, durch Anwendung von Flüssigkeiten, welche schlechte oder gar Nichtleiter des elektrischen Stromes sind, zu erkennen, ob die im Verhältnifs zu der der thierischen Theile mehr oder weniger große Leitungsfähigkeit der bisher geprüften Flüssigkeiten, ja ihre Leitungsfähigkeit überhaupt, worauf zugleich ihre Fähigkeit zur Kettenbildung beruht, eine zur Entwicklung wesentliche oder unwesentliche Eigenschaft gewesen sei.

Schon haben wir, im Hühnereiweifs, das Beispiel einer Flüssigkeit, welche, ohne die Froschmuskeln erweislich an Leitungsfähigkeit zu übertreffen, die Entwicklung des Stromes herbeizuführen im Stande ist, freilich in ungleich längerer Zeit und schwächerem Grade, als die an Leitungsgüte überlegenen sauren, salzigen und alkalischen Flüssigkeiten. Dem Hühnereiweifs ähnlich, nur noch träger und schwächer, wirken bei-

läufig Brunnenwasser und destillirtes Wasser, welche den thierischen Theilen an Leitungsfähigkeit sogar unterlegen sind. Ja man kann den Widerstand des Wassers noch dadurch erhöhen, daß man es mit Rohrzucker sättigt,¹ und nicht nur wird die entwickelnde Kraft des Wassers dadurch nicht vermindert, sondern sogar merklich erhöht. Da bei diesen Flüssigkeiten die entwickelnde Wirkung nicht im ersten Augenblick hervortritt, wie bei den Säuren u. s. w., und da die Verunreinigung der sehnigen Enden mit den Flüssigkeiten hier nichts zu sagen hat, so thut man wohl, anstatt den zwischen den Bäuschen stromlos aufliegenden Gastroknemius damit zu betupfen, wie oben S. 55 empfohlen wurde, das andere Verfahren einzuschlagen, und den Muskel einfach eine hinreichende Zeit lang in den Flüssigkeiten zu baden.

Schon das Verhalten der gesättigten Rohrzuckerlösung zeigt, daß die geringere Wirksamkeit des Wassers nicht auf seiner geringeren Leitungsfähigkeit beruhen könne. Vollends erhellt dies aus folgenden Versuchen. Nämlich ich schritt nun endlich dazu, auch solche Flüssigkeiten auf ihre stromentwickelnde Fähigkeit zu prüfen, welche Nichtleiter des elektrischen Stromes sind, und deren geringe Leitungsfähigkeit, wenn sich solche an ihnen kundgiebt, ihrem Gehalt an Wasser zuzuschreiben ist. Ich wählte Alkohol, Holzgeist, Essiggeist (Aceton), Schwefeläther, Essigäther, Kreosot, Terpenthinöl, Mandelöl, Olivenöl. Vom Alkohol, dem Schwefeläther, dem Terpenthinöl und den fetten Oelen ist es längst bekannt, daß sie nicht leiten (Vergl. oben Abth. I. S. 114). Von den übrigen Flüssigkeiten konnte, nach ihrer chemischen Natur, mit Hinblick auf FARADAY'S Lehre,² zwar mit äußerster Wahrscheinlichkeit dasselbe angenommen werden; auch haben sich Holzgeist³ und Kreosot⁴ bereits in Versuchen Anderer als Nichtleiter erwiesen; doch unterliefs ich nicht, mich noch besonders davon durch folgendes immerhin rohe, aber für den Zweck hinlängliche Verfahren zu überzeu-

¹ Ueber die geringe Leitungsfähigkeit von Honig und Sirup s. VOLTA bei HUMPHRY DAVY in Philosophical Transactions etc. For the Year 1829. P. I. p. 16; — Bibliothèque universelle etc. Ancienne Série. Sciences et Arts. t. XLI. p. 101; — Annales de Chimie et de Physique. 1829. t. XLI. p. 440; — POGGENDORFF'S Annalen u. s. w. 1829. Bd. XVI. S. 313.*

² Experimental Researches in Electricity. Reprinted from the Philosophical Transactions. vol. I. London 1839. p. 201. Series VII. January 1834. No. 679; — POGGENDORFF'S Annalen u. s. w. Bd. XXXIII. S. 309.*

³ Ueber das Verhalten des Holzgeistes bei der Elektrolyse s. ARTHUR CONNELL in The Philosophical Magazine etc. 3. Series. 1841. vol. XVIII. p. 355; — Archives de l'Électricité. 1841. t. I. p. 413.*

⁴ REICHENBACH in SCHWEIGGER-SEIDEL'S Neuem Jahrbuch der Chemie und Physik. 1832. Bd. VI. S. 310.*

gen. In den Kreis des Multiplicators für den Muskelstrom brachte ich eine GROVE'sche Kette der kleineren oben Bd. I. S. 446 beschriebenen Art und ein Paar Kupferelektroden von 10 Quadratcentimetern einander zugekehrter Oberfläche. Zwischen die Elektroden legte ich ein mehrdoppeltes Stück Fließpapier, welches mit der zu prüfenden Flüssigkeit getränkt war. Zuerst, und um einen Vergleichspunkt zu gewinnen, tränkte ich es mit dem Alkohol, der zu den Versuchen gedient hatte. Obschon der Alkohol nahe absolut war (von 0.799 Dichte oder etwa 99 Procent dem Volum nach Alkoholgehalt), wurde die Nadel beim Schließen mit äußerster Heftigkeit an die Hemmung geschleudert. Erst als ich nur die halbe Multiplicatorlänge in den Kreis nahm und auch zu dieser noch eine Nebenschließung von verhältnißmäßig sehr geringem Widerstand anbrachte (die inducirende Rolle meines oben Abth. I. S. 393. Anm. 1 erwähnten Magnetelektromotors, etwa $12^m.6$ eines 1^m dicken Kupferdrahtes), erhielt ich beim Schließen einen Ausschlag von brauchbarer Größe, etwa 20° . Fließpapier mit Holzgeist getränkt zwischen den Kupferelektroden gab einen eben so starken Ausschlag als Alkohol. Hingegen bei Tränkung des Fließpapiers mit Essiggeist, Essigäther und Kreosot ging die Nadel nur auf $2 - 3^\circ$.

Als ich aber mit diesen nichtleitenden Flüssigkeiten den natürlichen Querschnitt bestrich, fand ich, daß sie, mit Ausnahme der fetten Oele, sämmtlich den Strom so gut entwickeln, wie die Salzlösungen, die sauren und alkalischen Flüssigkeiten. Kreosot wirkte am schnellsten und stärksten; es trieb die Nadel sofort auf $70 - 80^\circ$. Die übrigen Flüssigkeiten brachten schwächere positive Ausschläge hervor, den schwächsten Schwefeläther, allein bei erneuter Prüfung des Muskels flog bei allen die Nadel an die positive Hemmung. Auch hier zeigte sich von zwei Flüssigkeiten die eine noch entwickelnd, nachdem die andere bereits schien ihr Aeufserstes gethan zu haben; z. B. Alkohol nach Terpenthinöl, Kreosot nach Alkohol.

Die fetten Oele ließen beim Bepinseln des Querschnittes keine Wirkung erkennen. Als aber die Muskeln einige Stunden lang darin gelegen hatten, blieb die Stromentwicklung nicht aus, obschon sie allerdings nur spurweise, im Bereich von höchstens 15° , stattfand.

(iv) Die leitenden und nicht leitenden stromentwickelnden Flüssigkeiten kommen überein darin, daß sie die organische Substanz angreifen.

Nach diesen neuen Erfahrungen ist, wie man sieht, bei der Erscheinung der Stromentwicklung in keiner Art mehr zu denken an eine Kettenbildung oder an eine Verminderung des Widerstandes durch

die fremde Flüssigkeit. Auch bleibt hier, wie natürlich, wenn der Muskel bereits positiven Strom hat, der negative Vorschlag aus, der bei den gut leitenden und zugleich langsamer entwickelnden Flüssigkeiten beobachtet wird und den wir also richtig dahin deuteten, daß die Flüssigkeit eher durch Nebenschließung als durch Stromentwicklung ihre Gegenwart geltend macht. Daß es aber jetzt nicht umgekehrt die Vermehrung des Widerstandes des sehnigen Ueberzuges sein kann, welche den Anschein einer Stromentwicklung bedingt, er giebt sich daraus, daß bei noch bestehendem negativen Strome die Folge der Benetzung mit den nichtleitenden entwickelnden Flüssigkeiten nicht Verstärkung des Stromes, sondern Schwächung bis Umkehr in die positive Richtung ist.

Ueberlegen wir uns aber, welche gemeinsame Eigenschaft wohl den entwickelnden Flüssigkeiten aus beiden Klassen, den leitenden und den nichtleitenden, zukomme, auf der die entwickelnde Fähigkeit beruhen möge, so bietet sich jetzt nur noch die eine dar, daß sie alle mehr oder weniger fähig sind, die organische Substanz anzugreifen, durch Gerinnen des Eiweißes und des Faserstoffes, durch Entziehen des Wassergehaltes u. s. f. Der Zuckerlösung und dem Hühnereiweiß wird wenigstens die letztere Art der Wirkung nicht abzusprechen sein; gepulverter Zucker ist übrigens längst den Wundärzten als Aetzmittel bekannt. Das Brunnenwasser und das destillierte Wasser diffundiren sich mit den thierischen Flüssigkeiten, worauf ihre der Erregbarkeit verderbliche Wirkung beruht (S. oben Abth. I. S. 183. Anm. 2). Beim Terpenthinöl ist zu bemerken, daß, wenn es sich dem Anschein nach nicht merklich mit Wasser mischt, es doch sowohl in Dampfgestalt von den Lungen aus, als in Substanz vom Darmkanal und der Haut aus, die Nierenabsonderung bethätigt und verändert, daß also auch hier die Möglichkeit vorhanden ist, daß es durch den sehnigen Ueberzug hindurch verändernd auf den natürlichen Querschnitt wirke. Was endlich die fetten Oele anlangt, so erinnere ich an die merkwürdigen chemischen Wirkungen, die bei ihrer Berührung mit mehreren thierischen Flüssigkeiten, insbesondere Eiweiß und Blutwasser, Platz greifen, und zur Bildung von Häuten, der sogenannten Haptogenmembran, Anlaß geben.¹

Es hat demnach jetzt den Anschein, als liege in dem Anätzen des natürlichen Querschnittes die Ursache der Stromentwicklung an den parelektronomischen Muskeln. Damit stimmt denn auch noch die Wahrnehmung, deren hier gedacht werden mag, daß nämlich Frosch-

¹ S. ASCHERSON in JOH. MÜLLER'S Archiv u. s. w. Jahrgang 1840. S. 44.*

blut auch nach längster Einwirkung so gut wie gar nicht entwickelt. In der That möchte es nicht leicht eine Flüssigkeit geben, deren Berührung für den natürlichen Querschnitt minder gefahrbringend wäre, als eben das Blut; es sei denn die Lymphe, welche im Zustande des unversehrten Lebens die in die Lymphräume gekehrten natürlichen Oberflächen der Muskeln bespült.

Dafs das Anätzen des natürlichen Querschnittes im Stande sein solle, den positiven Strom an den Muskeln hervorzurufen, mag beim ersten Anblick völlig unbegreiflich scheinen. Nichtsdestoweniger wird es uns gelingen, nicht allein aufser Zweifel zu setzen, dafs wirklich in dem Anätzen des natürlichen Querschnittes der Grund der Stromentwicklung liege, sondern auch eine ganz klare Vorstellung von diesem Vorgange zu geben. Zuvor wollen wir jedoch unsere Aufmerksamkeit jener anderen Art der Stromentwicklung zuwenden, welche wir oben S. 41. 42 bereits kennen lernten, und die mit der jetzt untersuchten so gar nichts gemein zu haben scheint, derjenigen nämlich durch Untertauchen der Muskeln unter Quecksilber.

8. Von der Stromentwicklung an den parelektronomischen Muskeln durch Anlegen von Metallen an ihren natürlichen Querschnitt.

Man erinnert sich aus der Versuchsreihe, durch die wir die Unabhängigkeit des Entwicklungsvorganges von dem Sauerstoff der Luft erwiesen, dafs, damals zu unserem grössten Erstaunen, Untertauchen der parelektronomischen Gliedmassen unter Quecksilber den Strom nach einiger Zeit hervorrief. Als es später bei oberflächlicher Kenntnifs schien, als sei das Anlegen eines leitenden Bogens überhaupt an die parelektronomischen Muskeln das Bedingende der Stromentwicklung, dächte uns auch jener Erfolg nicht mehr so fremdartig. Vielmehr erblickten wir eine vorläufige Bestätigung dieser neuen Vorstellungsweise in dem Umstände, dafs sie auch den Fall der Stromentwicklung durch das Quecksilberbad in sich befaßte (S. oben S. 43).

Jetzt hat sich das Blatt wiederum gewendet. Wir wissen nun, dafs in allen jenen Fällen, wo wir dem Anlegen eines leitenden Bogens an die parelektronomischen Gliedmassen die Stromentwicklung zuschrieben, dieser Bogen unnütz war. Die Stromentwicklung erfolgte schon allein in Folge des Angriffes des natürlichen Querschnittes der Muskeln entweder durch die Kochsalzlösung der Zuleitungsgefäße oder durch das Hühnereiweifs des Eiweifshäutchens, womit der die Ausbreitung der Achillessehne tragende Bausch bekleidet war. Eine Wirkung der

Art nun, sollte man meinen, könne man der Berührung des Quecksilbers nicht beimessen.

Es entsteht aber folgende Frage. Freilich reichte, in jenen Versuchen, das Benetzen des natürlichen Querschnittes mit der Lösung und dem Hühnereiweiß zur Stromentwicklung aus, und machte den angelegten leitenden Bogen unnütz. Dies beweist aber nicht, daß nicht in einem Falle, wo keine entwickelnde Flüssigkeit den natürlichen Querschnitt benetzt, die Stromentwicklung, wiewohl langsamer, durch das bloße Anlegen eines leitenden Bogens an Längs- und Querschnitt bewirkt werden könne. Wäre dies der Fall, so würde sich die Wirksamkeit des Quecksilberbades leicht ableiten lassen. Es kann übrigens nicht schwer sein, mit Hülfe des Versuches darüber in's Reine zu kommen.

Ich begann damit, daß ich einen parelektronomischen Gastrokneuius, statt ihn unter das Quecksilber zu tauchen, nur mit dem natürlichen Querschnitt damit in Berührung brachte. Dazu ließ ich den Muskel mit seiner Rückenfläche auf einem reinen Quecksilberspiegel schwimmen, hielt aber den natürlichen Längsschnitt von dem Quecksilber getrennt, indem ich entweder zwischen beiden ein Glimmerblättchen schwimmen ließ, oder indem ich an den Kopf des Muskels einen Faden band, an dem ich den Muskel so weit vom Quecksilber abheben konnte, daß er es nur mit der Ausbreitung der Achillessehne berührte.

Ich fand aber, zu meiner nicht geringen Verwunderung, daß auch auf diese Art nach Verlauf von ein bis zwei Stunden Stromentwicklung eintrat. Zwar schien sie oft schwächer, als beim Untertauchen des Muskels unter Quecksilber, wobei auf dieselbe Art verfahren wird, wie beim Untertauchen eines ganzen Beines oder GALVANI'schen Präparates, indem man die Schlinge um die Achillessehne, oberhalb des Sesamknorpels, anbringt (S. oben S. 41). Indessen ist zu beachten, daß bei dem Schwimmen des Muskels mit seiner Rückenfläche auf Quecksilber zu beiden Seiten immer ein Streifen sehniger Ausbreitung von der Berührung des Metalles frei bleibt, weil der Muskel nicht tief genug geht. Unstreitig beruht hierauf der etwaige Unterschied in der Entwicklung der untergetauchten und der nur mit natürlichem Querschnitt berührenden Muskeln, und nicht auf dem Umstande, daß beim Untertauchen ein Bogen zwischen Längs- und Querschnitt hergestellt wird. Dies geht daraus hervor, daß, wenn man einen Muskel mit seiner Rückenfläche einfach auf Quecksilber schwimmen läßt, ohne den natürlichen Längsschnitt auf die eine oder die andere Art davon zu trennen, die Stromentwicklung an Stärke die

durch alleinige Berührung des Querschnittes nicht mehr merklich übertrifft. Liefs ich den Muskel allein mit Längsschnitt das flüssige Metall berühren, so entwickelte der Strom sich nicht oder nur spurweise.

Man sieht daher, daß die Voraussetzung, als wirke das Quecksilberbad entwickelnd durch Herstellung einer vorzüglichen Leitung zwischen Längs- und Querschnitt, entschieden als gefallen zu betrachten ist. Es ist jedoch nicht nöthig, uns hier viel um neue Muthmaßungen der Art zu bemühen; eine auf der Hand liegende Abänderung der Versuchsweise wird uns den erwünschten Aufschluß ohne weiteres entgegengetragen. Wir hatten die parelektronomischen Gliedmaßen unter Quecksilber getaucht, um sie von der Luft abzusperren. Jetzt wissen wir, daß das Untertauchen zu der dabei stattfindenden Entwicklung ganz unnöthig war. Wir sind also auch gar nicht mehr gebunden an die Anwendung eines flüssigen Metalles, des einen Quecksilbers. Sehen wir daher zu, wie sich die Erscheinung mit anderen Metallen gestalten möge.

Ich begann mit Platin. Parelektronomische Gastroknemien wurden theils nur mit der Ausbreitung der Achillessehne, theils mit der ganzen Rückenfläche auf frisch geglühtes Platinblech gelegt und, vor der Trocknifs geschützt, viele Stunden lang beobachtet. Es gab sich keine Spur von Stromentwicklung kund.

Jetzt begab ich mich an das entgegengesetzte Ende der galvanischen Spannungsreihe der Metalle. Als ich den nämlichen Versuch mit Zinkblech wiederholte, fand ich nach kurzer Zeit den Strom stark entwickelt. Das Zink war mit Sandpapier, nicht mit Schmirgelpapier und auch nicht mit der Feile vor dem Versuch blank gerieben. Gleich dem Zink, ja, wie mir schien, noch stärker entwickelnd, verhielt sich frisch verquicktes Zink, welches sorgfältig von der Schwefelsäure befreit war, die zum Anquicken gedient hatte.

Hingegen gleich dem Platin in dem obigen Versuche verhielt sich auch frisch geglühtes Dukatengoldblech und Silberblech. Doch liefs das letztere, in einigen Fällen, bereits Spuren von Entwicklung erkennen. Mit Sandpapier polirtes Kupfer- und Zinnblech und weiches Eisen endlich glichen in ihrer Entwicklungsfähigkeit ziemlich dem Quecksilber. In allen diesen Fällen erwies es sich übrigens wieder so gut wie gleichgültig, ob die Muskeln den Metallen mit ihrer Rückenfläche entlang gelegt waren, oder ob sie sie nur mit der Ausbreitung der Achillessehne berührten. Berührte nur der Längsschnitt das Metall, so blieb, bei den entwickelnden Metallen, die Stromentwicklung aus, oder zeigte sich wenigstens nur spurweise.

Es versteht sich, daß man bei diesen Versuchen die größte Ob-

hut zu verwenden hat darauf, dafs nicht von der anfänglichen Prüfung der Muskeln auf den Entwicklungszustand ihres Stromes Salzlösung an den sehnigen Enden haften bleibe und sich nachmals in den capillaren Raum zwischen Muskel und Metall verbreite. Es würde dadurch das Ergebnifs der Versuche, welche ein verneinendes in Bezug auf Stromentwicklung liefern sollen, ein bejahendes werden; das bejahende Ergebnifs der Versuche aber, von denen ein solches erwartet wird, würde illusorisch sein.

Diese Versuche können keinen Zweifel daran übrig lassen, dafs die entwickelnde Fähigkeit der Metalle Hand in Hand gehe mit ihrer elektropositiven Beschaffenheit. Was diese nun könne mit der Stromentwicklung an den parelektronomischen Muskeln zu schaffen haben, geht aus folgender Bemerkung hervor.

Auf denjenigen Metallen, welche entwickelnd zu wirken vermögen, bleibt nach mehrstündigem Aufenthalte der Muskeln an dem Orte, wo diese lagen, ein Abbild davon mit einer Flüssigkeit gezeichnet zurück, die stellenweise das Lackmuspapier lebhaft röthet, stellenweise es lebhaft bläut. Vorzüglich ist dies der Fall beim Zink und dem verquickten Zinke, wo die Flüssigkeit milchig aussieht. Natürlich ist auch die Rückenfläche der Muskeln, welche auf den Metallen lag, mit derselben Flüssigkeit bekleidet, und zeigt die nämlichen Reactionen.

Die zum Theil sauer, zum Theil alkalisch reagirende Flüssigkeit kann von nichts herrühren, als von der Elektrolyse der in den thierischen Säften enthaltenen Salze, welche durch irgendwelche Ströme herbeigeführt worden ist. Diese Ströme müssen aber noch von etwas anderem herkommen als von dem Muskel selber. Denn die Flüssigkeit wird nicht minder erzeugt, wenn man auf eine Zinkplatte einen im parelektronomischen Zustande unwirksamen Muskel nur mit Längsschnitt auflegt, wobei keine Entwicklung stattfindet. Die Gegenwart jener Ströme erklärt sich aber, wenn man sich der Versuche JÄGER'S erinnert, durch welche dieser lehrte, die Ungleichartigkeit der Oberfläche scheinbar gleichartiger Metalle nachzuweisen. Es ist dieser Versuche bereits oben Bd. I. S. 613 gedacht worden und wir selber haben sie daselbst nachgeahmt und bestätigt. Feuchte Reagenzpapiere werden über die zu prüfende Fläche gebreitet; nach einiger Zeit findet man sie bedeckt mit Zeichnungen, welche die vergleichsweise elektropositive und -negative Natur der verschiedenen Punkte des Metalls anzeigen. Diese Versuche gelingen nur mit den positiveren Metallen, am besten mit dem Zink.

In dem Falle, wo der Muskel entweder noch negativen, oder schon positiven Strom besitzt, ist für die Entstehung solcher Ströme,

wie wir hier ihrer bedürfen, unstreitig noch ein fernerer Grund gegeben, und zwar nicht bloß wenn der Muskel mit Längs- und Querschnitt aufliegt, sondern auch wenn nur der Querschnitt oder nur der Längsschnitt das Metall berühren. Wenn diese Ströme auf den negativen Metallen nicht im Stande sind, die Ströme durch Ungleichartigkeit der metallischen Fläche zu ersetzen, so liegt dies einestheils wohl an ihrer geringen ursprünglichen Stärke, andertheils an der größeren Ladungsfähigkeit der negativen Metalle. Dafs aber die Positivität der Metalle mit der Stromentwicklung wirklich nicht anders zusammenhängt, als insofern sie die Entstehung elektrischer Ströme begünstigt, läfst sich leicht folgendermassen darthun.

Ist nämlich diese Voraussetzung richtig, so muß sich die entwickelnde Kraft der positiven Metalle noch steigern lassen dadurch, dafs man die Ungleichartigkeit ihrer Oberfläche künstlich erhöht, trotzdem dafs es auf Kosten der Positivität des Ganzen geschieht. Wirklich ist dies der Fall. Von zwei Gastroknemien, die sich auf gleicher Stufe des parelektronomischen Zustandes befanden, legte ich den einen in eine mit Sandpapier polirte Rinne von Zinkblech, die sich an die Rückenfläche und die beiden Seitenflächen des Muskels überall anschloß, den anderen in ein Bett von Kupfer- und Zinkfeilspänen. Der Strom des letzteren zeigte sich hoch entwickelt zu einer Zeit, wo der des ersteren erst hervorzutreten begann. Ja sogar ein Gemenge von Kupfer- und Zinnfeilspänen zeigte sich schneller entwickelnd als die reine Zinkfläche, obschon jeder der Gemengtheile negativer war, als das Zink.

Die Muskeln, die in die Feilspäne gelegt wurden, zeigten beiläufig ein merkwürdiges Verhalten. Sie waren nämlich unablässig in kleinen Zuckungen ihrer einzelnen Theile begriffen, die ihre Kräfte dergestalt aufrieben, dafs sie nach Verlauf von ein bis zwei Stunden nicht mehr vermochten, auf die stärksten Schläge meiner Inductionsvorrichtungen zu antworten, zu einer Zeit, wo die zum Vergleich auf Zink gelegten Muskeln noch kaum eine Abnahme ihrer Leistungsfähigkeit erkennen liefsen.

So überraschend sich diese Erscheinung auf den ersten Blick darstellt, so leicht erklärt sie sich bei näherer Ueberlegung. Der Strom zwischen einem Kupfer- und einem Zinkspan, die sich an der Oberfläche des Muskels berühren, muß, in dem Bezirk des Muskels zunächst der gemeinschaftlichen Berührungsstelle, eine sehr ansehnliche Stärke erlangen, eine solche, die bei weitem hinreicht, bei raschen und ausgedehnten Schwankungen ihrer Gröfse Zuckungen zu erregen.

Aber die erste Partialzuckung, die auf diese Weise zu Stande kommt, wird durch Veränderung der Lage der Späne am Muskel und der Polarisation Anlaß zu neuen Partialzuckungen; diese verhindern abermals die Herstellung eines beständigen Zustandes sämtlicher Ströme, es entstehen von Neuem Schwankungen und dem entsprechend Partialzuckungen und so fort bis zum Tode des Muskels.

Die Flüssigkeit, die sich auf den positiveren Metallen durch Elektrolyse an der Berührungsstelle des Muskels bildet, ist im Stande, den Strom eines parelektronomischen Muskels zu entwickeln. Zwar ist die Menge dieser Flüssigkeit zu gering, um sie gesondert aufzufangen und den natürlichen Querschnitt eines anderen Muskels damit zu benetzen. Allein der Versuch läßt sich leicht in der Weise anstellen, daß man den parelektronomischen Muskel ein bis zwei Stunden auf Muskeln lagert, welche ihrerseits ein paar Stunden auf Zink gebettet waren. Dabei muß die Rückenfläche des ersteren Muskels natürlich die Punkte der letzteren Muskeln berühren, die sich, in Folge ihrer Berührung mit dem Zink, mit der Flüssigkeit überzogen haben, deren entwickelnde Fähigkeit nachgewiesen werden soll. Die fortgesetzte Berührung der natürlichen Flächen von Muskeln in ihrem natürlichen Zustande läßt begreiflich den Strom ganz unentwickelt.¹ Unter den in Rede stehenden Umständen aber tritt er bald gerade so hervor, als ob der Muskel wirklich auf Zink gebettet worden wäre.

Es bieten sich nunmehr, für die Erklärung der Stromentwicklung durch Anlegen positiver Metalle an den natürlichen Querschnitt, zweierlei Wege dar. Man kann erstlich sagen, diese Art der Entwicklung komme mit der uns früher bekannt gewordenen durch Anätzen des Querschnittes in allen Stücken überein, nur daß wir, anstatt die ätzende Flüssigkeit mit dem Pinsel auf den Querschnitt aufzutragen, sie hier, umständlicher und viel weniger sicher, erst durch Elektrolyse am Querschnitt sich hätten bilden lassen. Man kann aber auch zweitens sagen, die Entwicklung durch die positiven Metalle sei bereits die Folge allein der Elektrolyse des natürlichen Querschnittes; die Elektrolyse ersetze hier den chemischen Angriff durch die entwickelnde Flüssigkeit in unseren früheren Versuchen, und die sich durch die Elektrolyse bildende Flüssigkeit von ätzender Natur brauche demnach zur Entwicklung nichts mehr zu thun; sie könne nur vielleicht den Grad derselben bestimmen helfen, da es ja, wie wir jetzt wissen (S. oben S. 58), durch Umstände, die uns noch verborgen sind, bedingt, verschiedene Grade der Entwicklung giebt.

¹ Vergl. unten, No. 9 (III).

Die Art, zwischen diesen beiden Möglichkeiten zu entscheiden, würde sichtlich sein, die Wirkung der Elektrolyse und die der ausgeschiedenen Zersetzungsstoffe im Versuch von einander zu trennen. Dies geht nun zwar für die letztere Wirkung von statten, wie wir so eben gesehen haben; die Wirkung der Elektrolyse hingegen läßt sich leider nicht in gleicher Weise vereinzeln.

Es ist nämlich zu bemerken, daß es, um allein eine oberflächliche Schicht des Muskels starken Strömen auszusetzen, ohne zugleich auf größere Tiefen verderblich einzuwirken, eben kein Mittel giebt als das, worauf wir hier durch Zufall geführt worden sind, nämlich der betreffenden Gegend der Muskeloberfläche kleine Elektrodenpaare dichtgedrängt anzulegen, wie die verschiedenen Punkte der ungleichartigen Metalloberfläche sie gewissermaßen darstellen. Zwischen den einander zunächst gelegenen positiven und negativen Gliedern dieser Elektrodenpaare kreisen alsdann wegen der Kürze der Bahnen verhältnißmäßig sehr starke Ströme, während in jeder größeren Entfernung von der Muskeloberfläche die Ströme nicht nur wegen der wachsenden Länge der Bahnen sehr an Stärke verlieren, sondern sich auch einander vielfach beeinträchtigen, ja aufheben müssen. Wollte man nun zwischen diese Elektrodenmosaik, wenn der Ausdruck vergönnt ist, und den natürlichen Querschnitt, um diesen vor der Einwirkung der Zersetzungsstoffe zu schützen und ihn der Elektrolyse allein preiszugeben, eine Schicht nicht entwickelnden feuchten Leiters, z. B. Froschblutes (S. oben S. 63. 64), anbringen, so versetzt man den Querschnitt in die Bedingungen, unter denen sich vorher die entferntere Schicht des Muskels befand, d. h. die ihn durchkreisenden Ströme sind bei weitem schwächer und heben einander zum größten Theil auf. In der That verhindert denn auch die Einschaltung eines mit Blut getränkten mehrdoppelten Streifens Fließpapier zwischen den natürlichen Querschnitt und das positive Metall die Stromentwicklung vollständig, vielleicht nur deshalb, weil die Zersetzungsstoffe vom Anätzen des Querschnittes abgehalten werden, vielleicht aber auch, weil die unmittelbare Wirkung der Elektrolyse auf den Querschnitt dadurch aus den erwähnten Gründen verloren geht. Und man sieht leicht, daß es unter diesen Umständen zu nichts helfen würde, die Ströme dadurch zu verstärken, daß man sie, statt durch die ungleichartigen Punkte einer und derselben Metalloberfläche, hervorbrächte durch eine Säule von beliebiger Kraft und sie dem natürlichen Querschnitt durch eine Elektrodenmosaik zuführte, welche der Querschnitt eines Bündels von einander isolirter Drähte wäre, von denen die Hälfte mit dem einen, die andere Hälfte mit dem anderen Ende der Säule in Verbindung stände. Die Ströme

würden in einiger Entfernung von den Elektroden einander nicht minder aufheben, wenn auch die etwa übrig bleibenden Resultanten stärker ausfielen; und da, je weiter man sich von den Elektroden entfernt, um so langsamer die Stärke der Ströme abnimmt, so würde sich die durch sie verübte verderbliche Elektrolyse nun nicht bloß auf den Querschnitt beschränken, sondern auf eine größere Tiefe des Muskels erstrecken. Dafs aber bei allgemeiner Zerstörung des Muskels durch Elektrolyse von einer Entwicklung des Muskelstromes nicht mehr die Rede sein könne, bedarf nicht des Beweises. Käme aber auch auf diese Weise Entwicklung des Stromes jener Muskeltheile zu Stande, welche etwa minder hart betroffen würden, so würde man doch nicht einmal sicher sein, dafs die Entwicklung von der Elektrolyse herstamme. Denn man erinnert sich von unserer Untersuchung über die PELTIER'schen Ladungen her (S. oben Bd. I. S. 379), dafs sich die thierischen Gewebe auf der Bahn des Stromes nicht ganz als feuchte Leiter verhalten, sondern dafs an ihren Grenzen, wie an denen metallischer Leiter, Ausscheidung der Zersetzungsstoffe stattfindet. Es wird also immer noch dem Bedenken Raum bleiben, ob nicht von den so ausgeschiedenen Zersetzungsstoffen, statt von der Elektrolyse, die beobachtete Entwicklung herrühre.

Setzt man Muskeln starken elektrischen Strömen auf die gewöhnliche Art dauernd aus, so dafs sie ihrer ganzen Masse nach zwischen beliebigen Punkten ihrer Oberfläche in der einen oder anderen Richtung durchkreist werden, so ist nicht nur unfehlbar der ganze Muskel dem zerstörenden Einflufs der Elektrolyse preisgegeben, sondern es treten noch andere Störungen hinzu, die bei der vorhin erwogenen Versuchsweise durch die Mannigfaltigkeit in der Richtung der übrig bleibenden Stromresultanten wohl minder zu fürchten gewesen wären, und wodurch hier die sichere Beobachtung einer stattfindenden Stromentwicklung erschwert wird, ja unmöglich gemacht werden kann. Nämlich die PELTIER'schen Ladungen selber verdecken jede andere Veränderung im elektromotorischen Zustande des Muskels, aufserdem aber kommt noch eine andere Erscheinung in Betracht, deren schon oben Abth. I. S. 331 im Vorübergehen gedacht worden ist, von der aber erst weiter unten ausführlich die Rede sein soll.¹ Mit dieser Versuchsweise ist demnach, beim jetzigen Stande unserer Kenntnisse, vollends nichts anzufangen.

Hingegen kann man mit schwachen Strömen eher auf die angegebene Weise verfahren, weil die letzterwähnte Erscheinung in der

¹ S. unten, §. IV.

That erst bei sehr bedeutender Stromdichte merklich wird, die Ströme wegen Ausgleichung der PELTIER'schen Ladungen aber dann so geringfügig sind, daß durch sie hindurch Schwankungen des elektromotorischen Zustandes der Muskeln sich bemerklich machen können.

Der Versuchsplan wird alsdann folgender. Man prüft den Muskel zwischen sehnigen Enden auf die Entwicklung seines Stromes, und bringt ihn, der zu beantwortenden Frage entsprechend, auf die eine oder die andere Art dergestalt in die Kette, daß er aufsteigend durchströmt wird. Hat er genügende Zeit in der Kette zugebracht, so prüft man ihn abermals, und wird ihn alsdann, wegen der PELTIER'schen Ladungen, stets absteigend wirksam finden. Allein sehr bald gleichen sich jene Ladungen ab; der Muskel nähert sich mehr und mehr seinem ursprünglichen Zustande positiver Wirksamkeit, und überschreitet ihn vielleicht zuletzt mehr oder weniger. Erreicht oder überschreitet er ihn, so kann man mit Bestimmtheit sagen, es habe Stromentwicklung stattgefunden, anfangs verdeckt durch die PELTIER'schen Ladungen; denn wenn der Muskel ruhig sich selbst überlassen geblieben wäre, würde er an elektromotorischer Kraft ja vielmehr verloren haben. Erreicht der Muskel seinen ursprünglichen Grad positiver Wirksamkeit nicht wieder, so bleibt es ungewiß, ob sich an ihm Strom entwickelt habe oder nicht.

Ich setzte parelektronomische Gastroknemien mehrere Stunden lang dem Strom einer GROVE'schen Kette der kleineren oben Bd. I. S. 446 beschriebenen Art zwischen Platinenden aus. Berührte der natürliche Querschnitt die positive Elektrode, so daß er der Einwirkung der aufgesammelten Anionen preisgegeben war, so fand Stromentwicklung statt. Berührte er sie nicht, sei's daß die Achillessehne die Verbindung herstellte, sei's daß ein mit Blut getränkter Fließpapierbausch den natürlichen Querschnitt vom Platin trennte, so blieb die Entwicklung aus. Im zweiten Falle gaben sich indessen einigemal Spuren davon zu erkennen. Es bleibt aber begreiflich ungewiß, ob sie herrührten von den durch den Muskel aufgehaltenen Kationen, oder ob sie der unmittelbaren Einwirkung des Stromes ihren Ursprung verdankten, welche in diesem Falle wohl stärker war, als beim Aufliegen mit sehnigen Enden.

Somit ist hier vor der Hand nichts zu thun übrig, als sich in Betreff der schwebenden Frage zu bescheiden. Glücklicherweise erscheint sie nur als von untergeordneter Wichtigkeit. Es ist gleichviel, in welcher Art des Angriffes des natürlichen Querschnittes die wahre Ursach der Entwicklung durch die positiven Metalle liege; ob in der durch die Elektrolyse selber, oder erst in der durch die ätzende

Flüssigkeit, welche das Erzeugniß dieser Elektrolyse ist. Immer handelt es sich nun doch auch hier um nichts anderes mehr, als um einen Angriff des natürlichen Querschnittes, und der Widerspruch zwischen der Stromentwicklung durch das Quecksilberbad und der durch die ätzenden Flüssigkeiten ist nunmehr als geschlichtet anzusehen.

9. Von dem verschiedenen Verhalten des natürlichen und des künstlichen Querschnittes der Muskeln im parelektronomischen Zustande.

(1) Darlegung der hier zu entscheidenden Fragen.

Ehe wir weiter gehen, ist es jetzt nöthig, daß wir einem Punkte von größter Wichtigkeit, den wir so lange gänzlich außer Acht gelassen haben, unser Augenmerk zuwenden. Ich meine den bereits oben S. 36 im Allgemeinen erwähnten Unterschied zwischen dem Verhalten des natürlichen und des künstlichen Querschnittes im parelektronomischen Zustande der Muskeln.

Im Lauf unserer früheren Untersuchungen haben wir zwischen dem elektromotorischen Verhalten der beiden Arten des Querschnittes die vollkommenste Uebereinstimmung überall gefunden. Von dem natürlichen Querschnitt haben wir jetzt erkannt, daß sein positiver Strom im parelektronomischen Zustande der Muskeln nicht sogleich vorhanden ist. Dieser Querschnitt bedarf alsdann, um gesetzmäßig elektromotorisch zu wirken, einer gewissen Vorbereitung. Er muß zuvor einem chemischen Angriff auf die eine oder die andere Weise ausgesetzt gewesen sein. In dem Maße, als dieser Angriff heftiger und rascher erfolgt, sieht man den positiven Strom des natürlichen Querschnittes schneller und stärker hervortreten.

Von alledem bietet nun, wie man sich erinnert, der künstliche Querschnitt, wenigstens bei der gangbaren Art der Prüfung, keine sichere Spur dar. Nie findet man den künstlichen Querschnitt auch nur annähernd unwirksam, geschweige positiv gegen den Längsschnitt. Stets wird er gleich bei der ersten Prüfung stark negativ gefunden, wenn auch nicht so stark als im nicht erkälteten Zustande. Bei dieser Stufe der Wirksamkeit, auf der der künstliche Querschnitt sofort angetroffen wird, hat es aber sein Bewenden. Sein Strom entwickelt sich nicht weiter. Höchstens daß es in sehr zahlreichen Versuchen ein paarmal vorkommt, daß der zweite Ausschlag den ersten um ein paar Grade übertrifft. Wer aber bürgt dafür, daß dies nicht, statt von einer Stromentwicklung nach Art der am natürlichen Querschnitt, herühre von irgendwelchem anderen Umstände, von einer zufälligen

Verminderung des Widerstandes bei der zweiten Prüfung, etwa durch Eindringen des Kochsalzes in die Eiweißshäutchen, durch Hinwegdrücken einer Luftblase zwischen Bausch und Eiweißshäutchen (S. oben Bd. I. S. 224), u. d. m.? Dazu kommt, dafs, wie wir erst jetzt zu ermessen im Stande sind, die Art der Prüfung des künstlichen Querschnittes ganz geeignet sein würde, eine fernere Stromentwicklung daran erkennen zu lassen, wenn solche an ihm, nach Art der Entwicklung am natürlichen Querschnitt, überhaupt noch stattzufinden vermöchte. Ohne durch einen sehnigen Ueberzug, gleich dem natürlichen Querschnitt, vor der unmittelbaren Berührung der Zuleitungsflüssigkeiten geschützt zu sein, kommt der künstliche Querschnitt gegen das Eiweißshäutchen zu liegen, dessen Berührung, wie man sich erinnert, wohl im Stande war, den Strom des natürlichen Querschnittes zu entwickeln (S. oben S. 53). Man könnte sagen, dafs der Grad der Entwicklung, auf dem sich der Strom des künstlichen Querschnittes, aus irgend welchen Gründen, alsdann schon befinde, denjenigen übertreffe, den das Hühnereiweiß herbeizuführen vermag (Vergl. oben S. 58). Allein auch wenn man den künstlichen Querschnitt unmittelbar wider den vom Eiweißshäutchen entblößten Bausch lehnt, entwickelt sich sein Strom nicht höher; so dafs sich dieser Strom also jedenfalls schon auf einer Stufe der Entwicklung jenseits der durch die Kochsalzlösung hervorgerufenen befunden haben mufs.

Unter diesen Umständen erscheint es unstreitig als das Natürlichste, sich vorzustellen, der Strom des künstlichen Querschnittes bedürfe gar keiner Entwicklung. Nur beirrt durch die Gewohnheit, uns die beiden Arten des Querschnittes überall in vollkommener Uebereinstimmung zu denken, hätten wir oben S. 36, nachdem wir die Entwicklung des Stromes des natürlichen Querschnittes erkannten, uns verleiten lassen zu dem Ausdruck, der Strom des künstlichen Querschnittes finde sich stets bereits ganz oder nahe ganz entwickelt vor. Dies heiße voraussetzen, dafs die Negativität des künstlichen Querschnittes gegen den Längsschnitt einer Entwicklung überhaupt bedürfe, und dafs sie, im unversehrten Muskel, so wenig vorhanden sei, als die des natürlichen Querschnittes vor dem Angriff durch eine ätzende Flüssigkeit. Für diese Voraussetzung aber liege kein wirklicher Grund vor; und wenn nicht das Gegentheil erwiesen werde, so sei aus dem gegenwärtigen Thatbestand vielmehr zu folgern, dafs die Negativität des künstlichen Querschnittes innerhalb des unversehrten Muskels bereits gerade so vorhanden sei, wie wir sie bei der Prüfung auf den Bäuschen vorfinden.

Die Folge wird lehren, dafs diese Vorstellungsweise in der That die richtige ist. Allein um zu dieser Ueberzeugung zu gelangen, sind

noch mehrfache Hindernisse aus dem Wege zu räumen. Es ist zuvörderst nicht zu verkennen, daß eben die vollkommene Uebereinstimmung, die wir zwischen dem Verhalten beider Arten des Querschnittes stets gefunden haben, uns die Verpflichtung auferlegt, zu versuchen, ob sich der hier hervorgetretene Widerspruch nicht noch irgendwie in's Gleiche bringen lasse. Und bei einigem Nachdenken findet man bald einen Weg, auf dem dies dem Anschein nach wohl gelingen könnte.

Es liegt nämlich die Vermuthung nahe, daß die Negativität des künstlichen Querschnittes zwar im unversehrten Muskel ihrer Entwicklungsstufe nach der des natürlichen Querschnittes wirklich stets genau entspreche. Beim Auflegen auf die Bäusche aber erscheine der Strom deshalb stets bereits so hoch entwickelt, weil durch den bloßen Vorgang der Prüfung oder gar der Herstellung des künstlichen Querschnittes die Bedingungen zur Entwicklung gegeben seien, so daß der Strom sich im Nu entfalte, so schnell, als wenn der natürliche Querschnitt mit Höllensteinlösung, Essigsäure, Ammoniak oder Kreosot benetzt wird. Diese Vermuthung müssen wir nun vor Allem bestrebt sein, durch passende Versuche, wenn es angeht, zu bestätigen oder zu widerlegen.

(ii) Die Prüfung des künstlichen Querschnittes auf seinen Strom trägt nichts Merkliches bei zur Entwicklung desselben.

Was zunächst die Prüfung des künstlichen Querschnittes auf seinen Strom betrifft, so ist Folgendes zu erwägen. Wir haben oben bemerkt, daß die Bedingungen, unter denen wir diese Prüfung vornehmen, nach den den Erscheinungen am natürlichen Querschnitt entlehnten Begriffen, der Entwicklung durchaus günstige sind. Wir haben daraus, daß der künstliche Querschnitt dennoch keine Entwicklung erkennen lasse, geschlossen, daß er keine Fähigkeit dazu besitze. Aber man kann diesen Erfolg noch aus einem anderen, gerade dem entgegengesetzten Gesichtspunkte beurtheilen. Man kann sich nämlich denken, daß die hohe Stufe der Entwicklung, auf der der Strom des künstlichen Querschnittes angetroffen wird, eben daher rührt, daß er, ohne durch einen sehnigen Ueberzug geschützt zu sein, unmittelbar mit dem Eiweißhäutchen in Berührung kommt. Hühnereiweiß, wenn es keine Schicht Sehngewebe erst zu durchdringen braucht, mag ja so schnell und stark entwickeln, wie sonst nur Höllensteinlösung oder Kreosot.

Allein der Versuch erweist sich dieser Annahme nicht günstig. Wäre sie richtig, so müßte sich doch in der Größe des ersten Ausschlages, den man vom künstlichen Querschnitt erhält, ein Unterschied erkennen lassen, je nach der entwickelnden Kraft der angewendeten

Zuleitungsflüssigkeit, und wenn die Flüssigkeit nur sehr langsam und schwach entwickelte, so müßte sich eine Spur nachträglicher Entwicklung, sei's bei der zweiten, dritten... Prüfung, sei's bei Anwendung einer stärker entwickelnden Zuleitungsflüssigkeit kundgeben.

Nichts von alledem ist der Fall. Der erste Ausschlag ist nicht stärker, wenn man die Bäsche mit doppelten Hilfsbäuschen versieht, von denen die der zweiten Ordnung (Vergl. oben S. 13) mit Salpetersäure oder sonst einer stark entwickelnden, leitenden Flüssigkeit getränkt sind, und auf diese den parelektronomischen Muskel, einen Adductor magnus oder Semimembranosus Cuv., mit natürlichem Längs- und künstlichem Querschnitt ohne Eiweißhäutchen bringt. Der Ausschlag ist, des vermehrten Widerstandes halber, zwar schwächer, wenn man die gewöhnlichen Zuleitungsbäusche, statt mit Eiweißhäutchen, mit einem mehrdoppelten Ueberzuge von Fließpapier versieht, das mit Froschblut oder destillirtem Wasser, also mit Flüssigkeiten getränkt ist, die vom natürlichen Querschnitt aus beziehlich gar nicht oder nur sehr langsam und schwach entwickeln (Vergl. oben S. 60. 63. 64). Allein man erhält keinen stärkeren Ausschlag, wenn man entweder beim destillirten Wasser die Prüfung nach einiger Zeit wiederholt, oder wenn man den Ueberzug auf Seiten des Querschnittes noch über den auf Seiten des Längsschnittes deckt und den Querschnitt den entsprechenden Bausch unmittelbar berühren läßt, wobei, wie man sieht, der Widerstand des Kreises unverändert bleibt, der Querschnitt aber dem Angriff durch die Kochsalzlösung bloßgegeben wird. Bei immer länger fortgesetzter Prüfung nimmt zwar die Wirkung an Stärke zu, augenscheinlich aber nur weil sich dem destillirten Wasser oder dem Blute der Ueberzüge Kochsalzlösung aus den Bäuschen beimischt.

Man kann noch auf eine andere Art untersuchen, ob der Strom des künstlichen Querschnittes, unabhängig von den gewöhnlich zu seiner Prüfung angewendeten Hilfsmitteln, und bereits vor dieser Prüfung, die Entwicklungsstufe besitze, auf der er gefunden zu werden pflegt. Auf diese Art wird man geführt, indem man sucht, auf den künstlichen Querschnitt die vortheilhafte Gestalt der Prüfung zu übertragen, die wir oben S. 51 für den natürlichen Querschnitt entdeckten, und ihr im Verfolg der Untersuchung bereits so viel zu danken hatten. Wir fanden, daß der Strom des parelektronomischen Gastroknemius sich nicht entwickle, wenn er, statt vom Längs- und Querschnitt unmittelbar, von den sehnigen Enden abgeleitet werde; und nun erst konnten wir in aller Sicherheit den Einfluß ermitteln, den gewisse Umstände auf die Entwicklung äußern, ohne Gefahr zu laufen, durch die Prüfung selber den Stand der Entwicklung zu verändern.

Um dasselbe am künstlichen Querschnitt zu erreichen, genügt es, den parelektronomischen Muskel mit zwei nicht symmetrischen Punkten des natürlichen Längsschnittes aufzulegen. Da man es alsdann mit den schwachen Strömen des Längsschnittes zu thun hat, so wendet man mit Vortheil den Multiplicator für den Nervenstrom an (S. oben Abth. I. S. 495).

Man erhält stets bereits einen Ausschlag von $70 - 90^\circ$ in der Richtung von dem dem elektromotorisch mittleren Querschnitte näheren Punkte des Längsschnittes zu dem dem künstlichen Querschnitte näheren Punkte durch den Multiplicatordraht. Also ohne dafs der Querschnitt mit einer entwickelnden Flüssigkeit in Berührung gekommen wäre, findet man ihn doch nie unwirksam gegen den Längsschnitt, geschweige positiv. Es handelt sich aber darum, auszumachen, ob sich seine Negativität gleich der des natürlichen Querschnittes im parelektronomischen Zustande noch durch Anätzen steigern lasse.

Die Prüfung darf nicht etwa so vorgenommen werden, dafs man den Muskel von den Bäuschen entfernt, um seinen künstlichen Querschnitt mit irgend einer entwickelnden Flüssigkeit in Berührung zu bringen. Denn man würde auf keine Weise sicher sein, dafs man ihm, beim Wiederauflegen auf die Bäusche, die genau gleiche Lage ertheilt habe. Es mufs vielmehr, während der Muskel unverrückt aufliegt und die Nadel in beständiger Ablenkung hält, die entwickelnde Flüssigkeit auf den Querschnitt gebracht, und ihre Wirkung aus der dann entstehenden Nadelbewegung erschlossen werden. Wie man leicht erkennt, ist dies dasselbe Verfahren, dessen wir uns oben S. 55 bedient haben, um zu ermitteln, ob eine Flüssigkeit entwickelnd wirke oder nicht. Hier bedienen wir uns umgekehrt einer Flüssigkeit von bekanntem Entwicklungsvermögen, um zu erfahren, ob der künstliche Querschnitt entwickelungsfähig sei oder nicht.

Damit die entwickelnde Flüssigkeit nicht dem Muskel entlang fließe und die Eiweißhäutchen verunreinige, mufs der damit zu benetzende Querschnitt von dem entsprechenden Bausch abgehoben und das Ende des Muskels mit Hülfe eines Stückchens Thermometerrohrs (S. oben Bd. I. S. 500) oder gefirnifsten Korkes so gestützt werden, dafs der Querschnitt in wagerechter Stellung frei nach oben sieht. Die entwickelnde Flüssigkeit mufs begreiflich möglichst wirksam sein. Es ist ferner zweckmäfsig, wenn sie nicht mit zu grofser Kraft sich am Muskel auszubreiten strebt, und wenn sie überdiets ihren Verbreitungsbezirk durch irgend eine recht augenfällige Veränderung der Muskelsubstanz kenntlich macht. Ich wählte zuerst die gesättigte salpetersaure Silberlösung; sie entspricht dem Zweck sehr gut, insofern sie insbe-

sondere jeden Punkt des Muskels, den sie berührt hat, mit einem weissen Brandschorf bedeckt zurückläßt.

Benetzt man den künstlichen Querschnitt eines mit verschiedenen Punkten des Längsschnittes aufliegenden Semimembranosus oder Adductor magnus Cuv. mit der gesättigten Höllensteinlösung, indem man sich hütet, dabei nicht die Gränze von Längs- und Querschnitt zu überschreiten, so sieht man allerdings häufig einen positiven Ausschlag erfolgen. Allein er beläuft sich stets nur auf wenige Grade, während der erste Ausschlag beim Auflegen des Muskels die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom, wie gesagt, nicht selten bis an die Hemmung führt.

Ueberschreitet man, beim Benetzen des künstlichen Längsschnittes, ungehöriger Weise die Grenze zwischen Längs- und Querschnitt, so bleibt manchmal die Nadel in Ruhe, oft sieht man sie, statt im positiven Sinne, im negativen Sinn ausschlagen. Diese negative Wirkung, die also die positive bald aufwiegt, bald sogar überwiegt, beruht zweifellos darauf, daß alsdann die Höllensteinlösung eine Nebenschließung für den Strom in Bezug auf den Multiplicatorkreis abgibt.

Benetzt man den künstlichen Querschnitt allein zu wiederholten Malen mit der Lösung, so erfolgt gleichwohl kein negativer Ausschlag. Am Gastrocnemius war, wie man sich erinnert, das Verhalten ein anderes. Hier brachte das Benetzen allein des natürlichen Querschnittes bei bereits entwickeltem Strome einen negativen Ausschlag zuwege (S. oben S. 57. 58). Wir haben dies zu erklären versucht durch die schräge Lage des natürlichen Querschnittes in Bezug auf die Faserichtung. Wir dachten uns, daß demgemäß eine den Querschnitt überziehende gute Leitung sich gleichsam angelegt finde an Längs- und Querschnitt der Längsreihen der elektromotorischen Molekeln, die in dem schrägen Querschnitt der einzelnen Bündel einander stufenförmig überragen. Ich versuchte daher, ob sich von schräg angelegten künstlichen Querschnitten aus, beim wiederholten Benetzen ihrer allein mit Höllensteinlösung, würde ein negativer Ausschlag erzielen lassen; und wirklich traf dies in einigen Fällen zu.

Ueber die Deutung dieser negativen Ausschläge kann also nicht wohl ein Zweifel sein. Was den positiven Ausschlag betrifft, den man beim Benetzen des Querschnittes allein erhält, so könnte man ebenso meinen, dieser Ausschlag sei unfehlbar zu betrachten als ein Anzeichen einer freilich in äußerst engen Grenzen vor sich gehenden Stromentwicklung, welche, bei der gewöhnlichen Art der Prüfung, der Beobachtung entzogen bleibe. Es wäre auf diese Art also erwiesen, daß wirklich der künstliche Querschnitt stets noch einigermaßen entwicke-

lungsfähig auf die Bäusche gelange, und dafs folglich seine Negativität im unversehrten Muskel der Zurichtung nicht vollständig vorbestehe, sondern gleich der des natürlichen Querschnittes allerdings auch einer Entwicklung bedürfe. Bei näherer Betrachtung findet sich indess, dafs sich für jene positive Wirkung bei ihrer ausnehmenden Kleinheit noch zwei andere Deutungen angeben lassen, von denen die eine zwar leicht beseitigt werden kann, die andere aber nicht aus dem Wege zu räumen ist, so dafs der Beweis für den auch nur theilweisen Ursprung der positiven Wirkung aus einer Stromentwicklung in Wahrheit weder geführt ist, noch überhaupt geführt werden kann.

Zuerst nämlich kann man Folgendes sagen. Oben Abth. I. S. 525 ist gezeigt worden, dafs, wenn ein peripolarer Erreger mit symmetrischen Punkten des Längsschnittes aufliegt, und man fügt ihm an dem einen Querschnitt eine unwirksam leitende Verlängerung hinzu, eine Wirkung im Kreise sich kundgiebt im Sinne des Querschnittes, an dem das Hinzufügen geschah (Vergl. Taf. IV. Fig. 134). Es ist klar, dafs dieselbe Wirkung nicht ausbleiben würde, wenn der Erreger, statt mit symmetrischen, mit asymmetrischen Punkten des Längsschnittes aufläge. Es ist ferner klar, dafs an Stelle des mit Eiweifs getränkten Fadens in Fig. 134 auch nur ein Tröpfchen einer gutleitenden Flüssigkeit hätte an dem Querschnitt angebracht werden können, indem die gute Leitungsfähigkeit der Flüssigkeit die gröfsere Ausdehnung des Eiweifsfadens ersetzte. Alsdann aber, sieht man, fallen die Bedingungen des Versuches mit denjenigen des uns jetzt vorliegenden merklich zusammen. Die positive Wirkung, die wir in diesem beobachtet haben, rührt somit möglicherweise von nichts her, als davon, dafs wir, in dem Tropfen Höllesteinlösung, an dem Querschnitt des Muskels eine Endableitung angebracht haben, entsprechend der Endlücke in den oben Bd. I. S. 649 ff. beschriebenen Versuchen an schematischen Kupferzinkvorrichtungen (Vergl. Fig. 67. Taf. VI. ebendas.).

Diese Vermuthung ist leicht durch den Versuch zu prüfen. Ist sie richtig, so mufs nämlich die positive Wirkung ausbleiben, wenn wir die Höllesteinlösung durch eine nichtleitende entwickelnde Flüssigkeit, das Kreosot, ersetzen. Ist hingegen die positive Wirkung von der angegebenen Ursache ganz oder zum Theil unabhängig, so darf sie, auch mit dem Kreosot statt der Höllesteinlösung, zu erscheinen fortfahren.

Der Erfolg lehrt aber, dafs auch das Kreosot noch eine deutliche positive Wirkung giebt, wenn auch nicht so stark, als die Höllesteinlösung. Von der negativen Wirkung beim Ueberschreiten der Grenze zwischen Längs- und Querschnitt ist beim Kreosot nichts mehr zu

spüren, wodurch also unsere Deutung dieser Erscheinung sich von Neuem bestätigt findet.

Benetzt man den natürlichen Querschnitt parelektronomischer Gastromemien, die mit sehnigen Enden aufliegen, in der oben S. 55 angegebenen Art das eine Mal mit Höllensteinlösung, das andere Mal mit Kreosot, so erhält man im ersteren Falle meist einen stärkeren Ausschlag als im letzteren. Es könnte somit den Anschein haben, als sei die vergleichsweise Stärke der positiven Wirkungen, die beide Flüssigkeiten in unserem jetzigen Versuche vom künstlichen Querschnitt aus hervorbringen, ein Beweis dafür, daß diese Wirkungen auf Stromentwicklung beruhen.

Allein es ist nun zweitens Folgendes zu bedenken. Indem wir den künstlichen Querschnitt einem heftigen chemischen Angriff preisgeben, vernichten wir offenbar die elektromotorische Kraft einer mehr oder weniger mächtigen Schicht von Muskelsubstanz, welche diesen Querschnitt ausmacht. Wir verkürzen also gewissermaßen, durch Anätzen des Querschnittes, die Entfernung zwischen dem Querschnitt und dem zunächst gelegenen Ableitungspunkte am Längsschnitt. Die Folge davon muß abermals eine positive Wirkung sein, um so stärker, je rascher die Zerstörung der Grenzschicht vor sich ging, und je tiefer die ätzende Flüssigkeit eindrang, d. h. je mächtiger die aufser Wirksamkeit gesetzte Schicht in derselben Zeit ausfällt; und um so stärker ferner, je besser die ätzende Flüssigkeit leitete, insofern durch ihren Widerstand auch der Widerstand der unwirksam zurückbleibenden Schicht bestimmt wird, welche nunmehr, in Bezug auf den wirksam zurückbleibenden Theil des Muskels, eine nach Maßgabe ihrer Leitungsfähigkeit stromverstärkende Endableitung in der eben erinnerten Art vorstellt.

Man sieht daher, daß man auch auf diese Weise, ohne zu einer hier vor sich gehenden Stromentwicklung seine Zuflucht zu nehmen, die positive Wirkung beim Benetzen des künstlichen Querschnittes mit Kreosot und ihre geringere Stärke im Vergleich zu der durch die Höllensteinlösung wenigstens ungezwungen erklären kann. Man möchte nun vielleicht glauben, es lasse sich zwischen dieser Deutung der positiven Wirkung und derjenigen durch eine Stromentwicklung dadurch entscheiden, daß man den Versuch an einem nicht erkältem Muskel anstellte, indem nach unseren bisherigen Vorstellungen am nicht erkältem Muskel ja überhaupt keine Stromentwicklung stattfindet. Wenn also die positive Wirkung sich dennoch daran kundgebe, so könne diese Wirkung in der That nichts mit der Entwicklung zu schaffen haben. Dieser Versuchsplan beruht jedoch auf einer falschen Voraussetzung. Die

Folge wird nämlich lehren, daß bei den verfeinerten Hilfsmitteln zur Erkennung des parelektronomischen Zustandes, über die wir jetzt gebieten, alle Muskeln zu jeder Zeit, auch wenn sie keiner Temperaturerniedrigung ausgesetzt waren, einen gewissen Grad des parelektronomischen Zustandes erkennen lassen.¹ Unter diesen Umständen hat es nichts zu bedeuten, daß, wie es sich im Versuche zeigt, die positive Wirkung sich an nicht erkälteten Muskeln wirklich gerade so gut wahrnehmen läßt als an erkälteten. Man könnte aber nun vielleicht noch hoffen, durch die verschiedene Größe der positiven Wirkung, entsprechend den verschiedenen Stufen des parelektronomischen Zustandes, auf denen sich erkältete und nicht erkältete Muskeln befinden, die Natur jener Wirkung, als von der Stromentwicklung herrührend, festzustellen. Allein an eine Vergleichung der Art ist in der That gar nicht zu denken, da die Größe der positiven Wirkung von einer Menge anderer Umstände in nicht zu beherrschender Weise bestimmt wird.

Ich bevorzuge übrigens, daß sich uns in der Folge² für die hier in Rede stehende positive Wirkung noch eine andere Deutung darbieten wird, welche abermals die Vorstellung ausschließt, als sei diese positive Wirkung das Anzeichen einer Entwicklungsfähigkeit, die der künstliche Querschnitt aus dem Inneren des Muskels mit zur Prüfung bringt.

Aus alle dem ergibt sich, daß sich eine Entwicklungsfähigkeit des künstlichen Querschnittes nicht mit Bestimmtheit nachweisen läßt; daß aber, selbst wenn jene positive Wirkung erwiesenermaßen auf nichts beruhte als auf Stromentwicklung, was nicht der Fall ist, die Entwicklungsfähigkeit, die der künstliche Querschnitt zur Prüfung mitbringt, nur eine äußerst geringe sein würde; daß folglich die hohe Stufe der Entwicklung, auf der wir den Strom des künstlichen Querschnittes stets schon fanden, wenigstens nicht von der Art und Weise herrührte, wie wir die Prüfung dieses Stromes vornahmen.

Legt man einen Nerven, gleich den Muskeln in den vorigen Versuchen, mit asymmetrischen Punkten des natürlichen Längsschnittes auf (20—30° Ausschlag am Multiplicator für den Nervenstrom) und betupft man den künstlichen Querschnitt, der auf einem Glimmerblättchen in gewohnter Weise ruht, mit Kreosot, so erfolgt ein positiver Ausschlag von etwa 2°. Ersetzt man das Kreosot durch Höllensteinlösung, so ist der Ausschlag negativ wegen Nebenschließung, da es begreiflich nicht gelingt, den Querschnitt allein zu benetzen, und nicht die Grenze zwischen Längs- und Querschnitt mehr oder weniger zu überschreiten

¹ S. unten, No. 11.

² S. unten, No. 10 (iv).

(S. oben S. 78). Schwerlich spielt dabei die negative Schwankung wegen der chemischen Erregung des Nerven eine irgend in Betracht kommende Rolle (Vergl. oben Abth. I. S. 520).

Wenn wir mit Sicherheit wüßten, daß die positive Wirkung in diesen Versuchen auf Entwicklung zu deuten sei, so würde ihr Erfolg sehr wichtig sein, da er die Beantwortung der Frage enthalten würde, die oben S. 38 aus Mangel eines natürlichen Querschnittes an den Nerven unerledigt blieb, ob nämlich die Nerven den parelektronomischen Zustand mit den Muskeln theilen. Wie die Sachen stehen, ist jedoch der in Rede stehende Erfolg an den Nerven eben so bedeutungslos, weil eben so vieldeutig, als der entsprechende Erfolg an den Muskeln, und jene Frage somit bis auf weiteres noch als unerledigt zu betrachten.

(m) Die Herstellung des künstlichen Querschnittes trägt nichts bei zur Entwicklung seiner Negativität.

Der erste Theil der Vermuthung, durch die wir versuchten, den Widerspruch zwischen dem Verhalten beider Arten des Querschnittes im parelektronomischen Zustande zu erklären, ist nunmehr als gefallen zu betrachten. Der künstliche Querschnitt kommt zur Prüfung auf die Bäusche zweifellos bereits nahe, wenn nicht völlig, so negativ, als er sich bei der Prüfung selber erweist. Die Bedingungen, unter denen wir die Prüfung des Stromes vornehmen, tragen nichts bei zur Entwicklung seines Stromes. Soll also die Negativität des künstlichen Querschnittes überhaupt einer Entwicklung bedürftig sein; soll sie, statt bereits im unversehrten Muskel stets vorhanden zu sein, vielmehr unter allen Umständen gleichen Schritt halten mit der des natürlichen Querschnittes: so bleibt nichts anderes übrig als es muß die Entwicklung des Stromes des künstlichen Querschnittes in dem kurzen Zeitraume von seiner Herstellung bis zu seiner Prüfung vor sich gehen, und es muß in der Herstellung selber des künstlichen Querschnittes die Ursache dieser reißend schnellen Entwicklung zu finden sein.

Die einzige Art der Entwicklung, die wir bisher mit Sicherheit kennen gelernt haben, besteht in dem Anätzen des Querschnittes durch irgend welche chemisch wirksame Flüssigkeit, gleichviel ob leitender oder nicht leitender Art. Wir wissen ferner, daß die fortgesetzte Berührung positiver Metalle den Strom zu entwickeln vermag, sei's durch Elektrolyse des Querschnittes unmittelbar, sei's durch den Angriff seitens der Zersetzungsstoffe, die das Erzeugniß derselben Elektrolyse sind. Etwas diesen Bedingungen Aehnliches müssen wir also jetzt suchen in der Herstellung des künstlichen Querschnittes zu finden, wenn wir uns nicht in völlig grundlose Muthmaßungen hinausbegeben wollen.

Man könnte nun zuerst meinen, möglicherweise liege in der Herstellung des künstlichen Querschnittes mittelst eines stählernen Schneidewerkzeuges der Grund der raschen Stromentwicklung. Zwar hätten wir, beim natürlichen Querschnitt, auch die positivsten der gebräuchlichen Metalle viel langsamer wirkend gefunden, so daß es mehrerer Stunden bedurfte zu einer Entwicklung, wie sie hier in dem Bruchtheil einer Secunde stattfinden müßte, während dessen die Klinge den Querschnitt berührt. Aber man könne ja nicht wissen, wie hoch der verzögernde Einfluß des sehnigen Ueberzuges über den natürlichen Querschnitt anzuschlagen sei.

Es ist leicht, diese Vermuthung dadurch zu widerlegen, daß man den künstlichen Querschnitt, statt mit einer stählernen Klinge, mittelst eines nicht metallischen Schneidewerkzeuges herstellt. Zuerst zerbifs ich einfach den Muskel; dabei wurde er aber zu sehr gequetscht. Dann verfertigten mir die Herren BÖTTICHER und HALSKE ein Messer aus Obsidian, diesem alterthümlichen Ersatzmittel des Eisens.¹ Endlich fielen mir Messer aus Büffelhorn in die Hände, die zum Schälen der Früchte, zum Vorlegen der Butter und als Papiermesser dienen und dem Zweck vortrefflich entsprechen. Es gab sich aber kein merklicher Unterschied kund zwischen dem elektromotorischen Verhalten der mit solchen nicht metallischen Schneidewerkzeugen dargestellten Querschnitte und derjenigen, die wie gewöhnlich mit stählernen Klingen zugerichtet sind.

Gewifs trug schon die eben widerlegte Vermuthung das Gepräge der Unwahrscheinlichkeit in hohem Grade an sich, und eine Hypothese, die, um ihr Dasein zu fristen, zu solchen Vermuthungen ihre Zuflucht nehmen muß, ist wohl schon als abgethan zu betrachten. Aber gehen wir weiter. Lassen wir uns nicht verdrießen, auch noch der Frage zuvorzukommen, die jetzt hier allein übrig bleibt, ob vielleicht der künstliche Querschnitt eine Flüssigkeit von sich gebe, welche, gleich den von uns auf den natürlichen Querschnitt aufgetragenen Flüssigkeiten, den Strom zu entwickeln vermöge.

Die Frage erscheint von vorn herein sinnlos. Denn wenn der künstliche Querschnitt eine solche Flüssigkeit von sich gäbe, müßte diese Flüssigkeit doch im Inneren des Muskels enthalten sein. Alsdann ist aber nicht einzusehen, weshalb sie nicht im unversehrten Muskel bereits ihre entwickelnde Wirkung äußern sollte, so daß es weder der Herstellung des künstlichen Querschnittes bedürfte, um ihn negativ zu machen, noch

¹ Vergl. v. HUMBOLDT, Voyage aux Régions équinoxiales du nouveau Continent etc. t. I. Paris 1816. p. 348.* — SILLIMAN, The American Journal of Science and Arts. vol. XVI. July 1829. p. 161;* — FROBIEP'S Notizen u. s. w. No. 554. (Bd. XXVI. No. 4.) November 1829. S. 52.*

auch der natürliche Querschnitt je positiv oder unwirksam erscheinen könnte. Indessen (vielleicht durch die Art der Polemik, die bisher nicht selten gegen meine Ergebnisse geführt worden ist) längst gewohnt, auch scheinbar sinnlose Meinungen thatsächlich zu widerlegen, um die mir als richtig vorschwebende um so sicherer zu begründen, unterliefs ich nicht, auch hier noch das Aeufserste zu versuchen.

Ich ging dabei von folgender Voraussetzung aus. Wenn die vollständige Entwicklung des Stromes des künstlichen Querschnittes noch vor seiner Prüfung und sofort nach seiner Herstellung wirklich herrührt von einer ätzenden Flüssigkeit, die der künstliche Querschnitt von sich giebt, so muß diese Flüssigkeit auch im Stande sein, den Strom des natürlichen Querschnittes zu entwickeln. Ich lehnte also einen parelektronischen Gastroknemius mit seinem natürlichen Querschnitt wider den Querschnitt eines frischen Oberschenkelstumpfes. Ich erwartete nicht anders, als daß ich ihn nach mehreren Stunden auf derselben Stufe der Entwicklung, also, wegen des unausbleiblichen Sinkens der Kräfte nach dem Tode, mit etwas geringerer Kraft wirksam finden würde; wie dies der Fall ist, wenn man den natürlichen Querschnitt des parelektronischen Muskels auf den natürlichen Oberflächen anderer Muskeln ruhen läßt (S. oben S. 69).

Wie groß war meine Ueberraschung, als ich, statt dessen, den Strom des parelektronischen Gastroknemius in zahlreichen Versuchen stets hoch entwickelt antraf. Nach einer halben Stunde gab ein Muskel, der ursprünglich etwa $+10^{\circ}$ zeigte, $+70^{\circ}$ Ausschlag. Beim Anlegen des natürlichen Querschnittes an den künstlichen Längsschnitt findet keine Entwicklung statt, die mit der vorigen irgend in Vergleich zu bringen wäre.

Unmöglich konnte, nach den Erfahrungen der vorhergehenden Nummer, die Entwicklung durch Anlegen des natürlichen Querschnittes an den künstlichen daher rühren, daß sich, wie es wohl in allen Versuchen der Fall war, der natürliche Querschnitt von dem Strome des querdurchschnittenen Muskels mehr oder weniger stark durchkreist fand. Es schien also in der That jetzt nichts anderes mehr übrig als anzunehmen, daß der künstliche Querschnitt eine entwickelnde Flüssigkeit von sich gebe. Der Vorstellung, als bedürfe der künstliche Querschnitt einer Entwicklung seiner Negativität, als hielte diese im parelektronischen Zustande gleichen Schritt mit der des natürlichen Querschnittes, dieser Vorstellung wäre nun also wirklich einmal freies Spiel gegeben, insofern in jener Flüssigkeit nunmehr eine Ursache vorläge, weshalb der künstliche Querschnitt sogleich nach der Herstellung negativ erscheint.

Allein jetzt treten die Bedenken in Kraft, die für diesen Fall bereits vorhin angedeutet wurden. Wenn der Muskel eine Flüssigkeit enthielte, die, am künstlichen Querschnitt ergossen, durch den sehnigen Ueberzug des natürlichen Querschnittes eines zweiten Muskels hindurch den Strom dieses Muskels zu entwickeln vermöchte, wie in aller Welt, ich wiederhole es, soll man es begreifen, daß diese Flüssigkeit nicht bereits entwickelnd auftritt in dem damit getränkten Muskel selber, wo sie, um auf den natürlichen Querschnitt zu wirken, nicht einmal erst durch den sehnigen Ueberzug zu dringen braucht? Dazu kommt noch, daß alle Flüssigkeiten, die wir bisher als entwickelnd kennen gelernt haben, die Muskelsubstanz angreifen, und zwar um so stärker, je stärker sie entwickeln. Wir sind also umgekehrt zu dem Schluß berechtigt, daß eine stark entwickelnde Flüssigkeit von sonst unbekannter Natur gleichfalls stark ätzender Beschaffenheit sein werde. Also wir sollen uns den Muskel ohne Schaden, vielmehr von Natur, getränkt vorstellen mit einer Flüssigkeit, welche die Muskelsubstanz lebhaft angreift!

Es entstand daher die Frage, ob sich die Gegenwart einer entwickelnden Flüssigkeit am künstlichen Querschnitt nicht noch anders auffassen lasse, als in der angegebenen Art, die auf solche Abwege führt. Und dazu bietet sich ein leichtes Mittel dar, nämlich anzunehmen, daß jene Flüssigkeit nicht im Inneren des Muskels vorbestehe, sondern sich erst am künstlichen Querschnitt in Folge seiner Herstellung und im Lauf der Zeit bilde. Nichts war leichter, als durch den Versuch hierüber in's Klare zu kommen.

Von zwei parelektronomischen Gastroknemien lehnte ich den minder parelektronomischen *A*, der also ursprünglich den größeren positiven Ausschlag gab, mit seinem natürlichen Querschnitt gegen einen ganz frischen künstlichen Querschnitt, den anderen *B* gegen einen solchen, der schon seit längerer Zeit hergestellt war. Als ich nach etwa einer Viertelstunde beide Muskeln abermals prüfte, fand ich den Strom von *A* nur wenig in der Entwicklung vorgeschritten. Hingegen der von *B* war nach dieser kurzen Zeit bereits so hoch entwickelt, wie nur sonst nach längster Frist der Strom eines Muskels, dessen natürlicher Querschnitt einem frischen künstlichen angelegt ist. Es hatte demnach selbstredend der ursprünglich schwächere Strom von *B* den von *A* weit hinter sich gelassen in der Entwicklung.

Ein alter künstlicher Querschnitt entwickelt also sehr viel stärker als ein frischer, und es kann somit kein Zweifel sein, daß die entwickelnde Flüssigkeit am künstlichen Querschnitt sich erst im Lauf der Zeit bilde. Die Ermittlung, was dies für eine Flüssigkeit sei, würde uns zu weit vom Ziel unserer jetzigen Untersuchung ablenken.

Diese Untersuchung wird an einer späteren Stelle ihren Platz finden.¹ Hier genüge die Bemerkung, daß die allmähliche Bildung einer Flüssigkeit von ätzender, mithin entwickelnder Beschaffenheit am künstlichen Querschnitt der Muskeln sich in der That mit Leichtigkeit noch auf einem anderen Wege ergibt als dem, welcher uns jetzt dazu geführt hat, eine solche Bildung anzunehmen. Die allmähliche Bildung der ätzenden Flüssigkeit ist aber der Punkt, auf den es uns hier zunächst allein ankommt. Sobald sie feststeht, kann die Flüssigkeit, welche sie auch sei, unmöglich etwas zu schaffen haben mit der augenblicklich nach der Herstellung des künstlichen Querschnittes nachweisbaren Negativität desselben, und somit ist auch die letzte Zuflucht vereitelt für die Annahme, daß diese Negativität im Inneren des parelektronomischen Muskels nicht stets in gleicher Weise vorbestehe, daß sie vielmehr unter allen Umständen gleichen Schritt halte mit der Negativität des natürlichen Querschnittes. Es sei denn, daß man sich schlechthin denken wolle, daß der mechanische Eingriff, der mit der Herstellung des Muskels verbunden ist, in derselben Weise den räthselhaften Entwicklungsvorgang mit sich führt, wie der chemische Angriff des natürlichen Querschnittes dies vermag.

Wir geben es unter diesen Umständen lieber auf, das gleiche Benehmen beider Arten des Querschnittes auch im parelektronomischen Zustande aufrecht erhalten zu sehen. Ein weiterer Grund dafür wird sich, wenn es nöthig sein sollte, noch im Verfolg unserer Untersuchung ergeben. Es wird sich nämlich zeigen, wie bei der Annahme, von der wir nun ausgehen, daß die Negativität des künstlichen Querschnittes im unversehrten Muskel vorbestehe und sein Strom keiner Entwicklung bedürfe, nicht nur fast alle bisher beobachteten Erscheinungen des parelektronomischen Zustandes sich mit der größten Einfachheit und Leichtigkeit erklären lassen, sondern sogar die Möglichkeit gegeben ist, noch andere Erscheinungen desselben Zustandes mit Sicherheit im Voraus zu verkündigen. Bei der anderen Annahme dagegen ist eine jede Erklärung der Erscheinungen, wie man sehen wird, nicht nur vor der Hand unmöglich, sondern die zu erklärenden angeblichen Vorgänge fallen auch gänzlich außerhalb des Gebietes aller Analogie. Freilich müßten wir uns in diesen Uebelstand unbedenklich ergeben, wenn die Ansicht, als deren Folge er erscheint, sonst irgendwie zu beweisen wäre. Dies ist jedoch, wie sich jetzt gezeigt hat, so wenig der Fall, daß vielmehr die Möglichkeit dieser Ansicht nicht einmal dargethan ist. Unter diesen Umständen darf es allerdings als ein Grund mehr wider die in Rede

¹ S. unten, §. v.

stehende Ansicht und für die entgegengesetzte angesehen werden, welche das Vorbestehen der Negativität des künstlichen Querschnittes im umverkehrten Muskel annimmt, wenn letztere, weit entfernt Schwierigkeiten zu bereiten, den Weg zur Lösung der vorliegenden Probleme vielmehr ganz von selbst führt. Diesen Weg wollen wir jetzt zu betreten versuchen.

10. Physikalische Theorie des parelektronomischen Zustandes der Muskeln und der Stromentwicklung in demselben.

(i) Theorie der Stromesumkehr der aus peripolaren Gruppen dipolar elektromotorischer Molekeln zusammengesetzten Erreger.

Es ist zunächst unbedenklich klar, und wir haben dies schon im Vorigen häufig stillschweigend vorausgesetzt, daß das Wesen des parelektronomischen Zustandes der Muskeln nicht zu suchen ist in der Schwächung oder dem gänzlichen Unterdrücktsein der elektromotorischen Kräfte der Muskelmolekeln, wie es beim ersten Anblick den Anschein haben konnte. Der künstliche Querschnitt hat seine Wirksamkeit nicht eingebüßt; der natürliche zeigt sich gleichfalls, nur im umgekehrten Sinne, wirksam, wenn die Erkältung hinreichend tief und lang war; endlich von dem einzigen Mittel, welches wir bisher als stromentwickelnd kennen gelernt haben, dem Anätzen des natürlichen Querschnittes durch beliebige, sogar nichtleitende Flüssigkeiten, ist in keiner Art abzusehen, wie dadurch elektromotorische Kräfte, welche früher fehlten, rege gemacht werden sollten.

Dies kann der gesuchte Schlüssel nicht sein. Es liegt vielmehr auf der Hand, die Kräfte, welche bei der Stromentwicklung zu entstehen scheinen, werden in der That nur frei: sie waren bereits im Muskel vorhanden, nur durch andere, entgegengesetzt gerichtete Kräfte ganz oder zum Theil aufgewogen, ja unter Umständen, auf den höheren Stufen des parelektronomischen Zustandes, sogar überwogen.

Zustände der Nerven und Muskeln, in denen sie unwirksam oder im umgekehrten Sinne von dem gewöhnlichen thätig waren, haben wir schon früher kennen gelernt. Die zarteren unter den thierischen Erregern verfielen von selber in diese Zustände, in Folge der Bedingungen des Versuches; aber selbst die rüstigsten gelang es uns, mit Hülfe gewisser Mißhandlungen, darin zu versetzen. Vergl. oben Abth. I. S. 550 ff. Hier haben wir bereits versucht, den Mechanismus des Ueberganges der Muskeln und Nerven aus ihrem gewöhnlichen Zustande durch einen Punkt der Unwirksamkeit hindurch in den Zustand zu erläutern, wo sie, nach demselben Gesetze zwar, aber in entgegengesetztem Sinne wirksam sind.

Zu diesem Behufe forderten wir zunächst die Zusammensetzung der peripolar elektromotorischen Molekeln aus dipolaren Elementen. Für die Nerven war uns diese Vorstellungsweise bereits eine geläufige, da wir, mit ihrer Hülfe, uns im Stande gesehen hatten, von den Erscheinungen des elektrotonischen Zustandes so befriedigende Rechenschaft abzugeben (S. oben Abth. I. S. 320 ff.). Was die Muskeln betrifft, so schien einestheils die Uebertragung der nämlichen Vorstellungsweise auch auf sie schon durch die Analogie gerechtfertigt. Anderentheils lag eine vorläufige Bestätigung dieser Ansicht in dem Umstande, daß dann auch die Erscheinungen der Stromesumkehr bei den Muskeln sich ebenso leicht erklären ließen als bei den Nerven. Endlich aber wurde auch noch darauf hingewiesen, daß spätere Thatsachen sich mit Bestimmtheit in diesem Sinne aussprechen würden (Vergl. oben Bd. I. S. 683. Bd. II. Abth. I. S. 156. 331. 557).

Ist einmal die Natur der peripolaren Molekeln, als zusammengesetzt aus dipolaren Elementen zugegeben, so braucht man, zeigten wir sodann, um die Stromesumkehr zu erklären, nur anzunehmen, entweder daß alle dipolare Molekeln mit ihren Axen einen Winkel von 180° beschreiben, oder daß die beiden dipolaren Molekeln, die eine peripolare Gruppe bilden, sich ohne Winkelbewegung ihrer Axen auseinander begeben, und mit den Nachbarmolekeln sich zu einer neuen peripolaren Gruppe von entgegengesetztem Vorzeichen zusammenfügen. Bei dieser zweiten Art der Stromesumkehr wird an beiden Querschnitten eine einfache Schicht dipolarer Molekeln frei, von der man sich noch zu denken hat, daß sie auf irgend eine Weise aufser Wirksamkeit tritt.

Noch eine dritte Hypothese bot sich uns dar zur Erklärung der Stromesumkehr der thierischen Erreger. Sie bestand in der Annahme, daß der ganze Vorgang beruhe auf dem Unwirksamwerden der den Querschnitt begrenzenden äußersten Schicht dipolarer Molekeln. Alsdann fände sich der Muskel am Querschnitt begrenzt von einer Schicht dipolarer Molekeln, welche positive Pole nach Außen kehrten, während er im Uebrigen noch die positiv peripolare Anordnung besitzen würde. Die Folge müßte sein, daß der Muskel negativ wirkte.

Diese Hypothese wird jetzt hier für uns von großer Wichtigkeit und es ist daher angemessen, sie etwas näher zu zergliedern.

Zu diesem Zweck ist zuerst zu erwägen, daß es für die elektromotorische Wirkung des Muskels bei regelmäßiger positiv peripolarer Anordnung seiner dipolaren Molekeln ganz gleichgültig ist, ob man sich in seinem Inneren die positiven Pole der dipolaren Molekeln, die zu zweien eine positiv peripolare Gruppe zusammensetzen, aneinanderstossend denkt, oder sie sich durch unwirksamen Leiter getrennt vorstellt. In

Fig. 107. A. Taf. III. Bd. II. sind die dipolaren Molekeln jeder Gruppe nur deshalb mit ihren positiven Polen aneinanderstossend gezeichnet, damit man sich erinnere, dafs in Wirklichkeit allerdings eine engere Beziehung zwischen ihnen stattfindet, als zwischen den einander negative Pole zukehrenden Molekeln je zweier benachbarter Gruppen. Diese engere Beziehung spricht sich darin aus, dafs ein mechanisches Trennungsmittel stets nur zwischen zwei Gruppen, nicht zwischen die beiden Molekeln einer Gruppe trifft, daher der künstliche Querschnitt stets negativ erscheint (Vergl. oben Abth. I. S. 324). Hat man aber nur die elektrische Wirkung des als untrennbares Ganze aufgefafsten Systemes im Auge, so ist es, wie gesagt, gleichgültig, ob man sich die Molekeln paarweise zu Gruppen vereint, oder sämmtlich von einander durch gleiche Zwischenräume getrennt vorstelle.

Im letzten Falle nun sieht man, kann man sich die Anordnung der Molekeln im positiv peripolaren Muskel auf zweierlei Art vergegenwärtigen. Man kann entweder sagen, der Muskel besteht aus lauter positiv peripolaren Gruppen, indem man vom einen Ende zum anderen fortschreitend, je zwei Molekeln, die einander positive Pole zuwenden, als positiv peripolare Gruppen auffafst. Dies ist die natürlichere Betrachtungsweise, der wir uns bisher stets bedient haben, weil die besondere Beziehung der Molekeln zu einander, die dabei vorausgesetzt wird, in Wirklichkeit stattzufinden scheint. Man kann aber, elektrisch gesprochen, mit ganz demselben Rechte sagen, der Muskel besteht aus lauter negativ peripolaren Gruppen, an jedem seiner Endquerschnitte findet sich jedoch eine einfache Schicht dipolarer Molekeln, welche negative Pole nach Aufsen kehren.

Diese Anschauungsweise wollen wir jetzt für einen Augenblick benutzen. Offenbar können wir, auf sie fufsend, folgendermassen weiter schliessen. Man denke sich jene beiden Grenzschichten dipolarer Molekeln hinweg. Es bleibt, nach unserer Voraussetzung, ein vollständiges System negativ peripolarer Gruppen zurück, welches negativ wirken mufs. Aber indem wir auf dies System dieselben Schlufsfolgen anwenden, die wir so eben auf das positiv peripolare angewendet, gelangen wir zu der Einsicht, dafs wir uns statt des negativ peripolaren Systems auch ein positiv peripolares denken können, an jedem Endquerschnitte versehen mit einer Grenzschicht dipolarer Molekeln, welche aber diesmal positive Pole nach Aufsen kehren.

Es ist somit klar, was bewiesen werden sollte; nämlich dafs die Wirkungsrichtung des Muskels schon allein dadurch vom Positiven in's Negative verkehrt werden kann, dafs an jedem Endquerschnitt die äufserste Schicht dipolarer Molekeln unwirksam wird, so dafs der

Querschnitt überzogen zurückbleibt mit einer einfachen Schicht dipolarer Molekeln, die positive Pole nach Außen kehren.

Natürlich hat es keine Schwierigkeit, auf demselben Wege auch die mannigfaltigen Zwischenstufen zwischen der positiven und negativen Grenzwirkung und dem Zustande der Unwirksamkeit, wie auch diesen Zustand selber abzuleiten. Dazu bedarf es nur der Voraussetzung, daß die äußerste Schicht dipolarer Molekeln, die negative Pole nach Außen gekehrt hält, nicht am ganzen Querschnitt vernichtet ist, sondern nur in einer gewissen Ausdehnung desselben. Ist ungefähr die Hälfte des Querschnittes von der Veränderung betroffen, so muß der Muskel unwirksam erscheinen. Ist ein größerer Bruchtheil seiner Ausdehnung davon ergriffen, so muß er bereits negativ wirken. Ist endlich nur ein kleinerer Bruchtheil als die Hälfte dergestalt verändert, so muß der Muskel noch positiv wirksam sein, aber scheinbar mit geringerer Kraft. Es ist dabei gleichgültig, ob man sich denkt, daß der natürliche Querschnitt jedes einzelnen Primitivmuskelbündels diese Unterschiede darbietet, oder ob man sie dem Gesamtquerschnitt des Muskels zuschreibt, so zwar, daß sie den natürlichen Querschnitt ganzer Gruppen von Primitivmuskelbündeln betreffen.

Es versteht sich übrigens von selbst, daß nicht gerade eine Vernichtung der elektromotorischen Kräfte der äußersten Schicht dipolarer Molekeln nothwendig ist, um den Muskel negativ wirksam zu machen. Es wird ausreichen, daß die Molekeln der Schicht mit ihren Axen solche Lagen im Raume einnehmen, daß ihre Gesamtwirkung gleich Null werde; daß also z. B. diese Axen alle möglichen Lagen im Raume einnehmen, oder sich sämmtlich in eine der Fläche des Querschnittes gleichlaufende Fläche begeben, oder endlich ihre gleichnamigen Enden in gleicher Anzahl in's Freie und nach dem Muskel zu kehren. In allen diesen Fällen wird der Muskel negativ wirken, oder er wird sich, wenn die Veränderungen nur einen Bruchtheil der Ausdehnung des Querschnittes betroffen haben, auf einer Zwischenstufe zwischen der negativen und der positiven Grenzwirkung befinden, welche durch die Größe jenes Bruchtheiles bestimmt wird.

Endlich anstatt sich zu denken, daß die äußerste Schicht dipolarer Molekeln am Querschnitte dergestalt ganz oder zum Theil unwirksam wird, kann man sich, mit gleichem Erfolg in elektromotorischer Beziehung, natürlich auch vorstellen, daß am Querschnitt eine einfache Schicht dipolarer Molekeln hinzukomme, welche positive Pole nach Außen kehren. Auch von dieser Veränderung des Querschnittes kann man sich denken, daß sie sich über seine ganze Ausdehnung, oder nur über einen Bruchtheil derselben erstreckt. Je größer der Bruchtheil ist, um so mehr

nähert sich der Muskel der negativen Grenz Wirkung. Auf dem übrigen Querschnitt braucht die Schicht nicht zu fehlen, nur müssen ihre Molekeln daselbst so angeordnet sein, daß die Gesamtwirkung nach Außen Null ist, wie dies so eben erörtert worden ist.

Ich brauche kaum zu sagen, daß, wenn hier stets von einer einfachen Schicht dipolarer Molekeln die Rede war, dies nicht deshalb geschah, weil nur eine solche die in Rede stehenden Wirkungen hervorzubringen im Stande ist, sondern im Gegentheil deshalb, weil bereits eine solche dazu hinreicht, und dies somit die einfachste Annahme ist, die hier irgend gemacht werden kann. Man kann sich aber, elektromotorisch mit wesentlich demselben Erfolge, die negativ wirkende Grenzschicht auch nicht einfach, sondern aus mehreren dipolaren Molekeln übereinander bestehend, vorstellen. Alsdann wird jedoch der negative Strom stärker ausfallen, als der gesetzmäßige positive. Oder man kann sich auch an die Stelle der einfachen Schicht positive Pole nach Außen kehrender dipolarer Molekeln eine einfache oder mehrfache Schicht von negativ peripolaren Gruppen dipolarer Molekeln denken. In dem Fall der einfachen Schicht wird der Muskel schwächer, in dem der mehrfachen Schicht bei einer gewissen Dicke derselben zuletzt fast eben so stark negativ wirken, als der regelmäßig angeordnete Muskel positiv.

(u) Versuche zur Bestätigung der vorigen Theorie.

Bei der Wichtigkeit, welche diese Sätze erwähntermassen hier für uns zu gewinnen bestimmt sind, wollen wir es nicht bei der bloßen theoretischen Erörterung derselben bewenden lassen, wie einleuchtend auch das Dargelegte erscheinen möge. Wir wollen vielmehr die Ergebnisse der Betrachtung noch dadurch zu befestigen suchen, daß wir sie in Wirklichkeit an einer schematischen Kupferzinkvorrichtung nachweisen, wie wir dies im dritten Kapitel zu thun gelernt haben.

Das oben Bd. I. Taf. VI. Fig. 74. 75 abgebildete, ebendas. S. 672 ff. beschriebene Schema kann hiezu nicht angewendet werden. Eine Zerlegung seiner peripolaren Molekeln in dipolare läßt nämlich erstens dies Schema nicht zu. Hingegen kann man allerdings die positiv peripolaren Molekeln daran leicht in negativ peripolare Molekeln verwandeln, indem man sie um 90° um ihre Cylinderaxe dreht.¹ Trotzdem läßt sich für's

¹ Positiv peripolare Molekeln zwar, wie sie Bd. I. Taf. VI. Fig. 72, Bd. II. Taf. III. Fig. 107 A. dargestellt sind, lassen sich nicht in negativ peripolare verwandeln dadurch, daß man ihre von Pol zu Pol gehende Axe gegen die des Muskels um einen rechten Winkel neigt, was der Viertelumdrehung der Molekeln unseres Schema's um ihre Cylinderaxe entsprechen würde (Vergl. oben Bd. I. S. 673). Vielmehr ist, um an den wirklichen Molekeln eine solche Verwandlung zu bewirken,

zweite die Vorrichtung hier doch nicht einmal anwenden, um zu zeigen, wie die Wirksamkeit des Muskels sich allmählig in's Negative verkehren muß, wenn am Querschnitt eine immer dickere Lage negativ peripolarer Molekeln angebracht wird. Denn die negative Grenzwirkung, die sich am Schema dadurch erreichen läßt, ist der Zustand der Unwirksamkeit. Dies beruht darauf, daß bei jener Anordnung der Querschnitt daran völlig dieselbe Beschaffenheit erlangt, als der Längsschnitt, während unsere obigen Betrachtungen voraussetzten, daß durch die Verwandlung der den Querschnitt begrenzenden positiv peripolaren Gruppen in negativ peripolare, die elektrische Beschaffenheit des Querschnittes um eben so viel, nur im anderen Sinne, von der des Längsschnittes abweichend gemacht werde, als sie vor der Verwandlung davon abwich. Ein Mehreres über diesen Punkt s. am Schlusse dieser Nummer unter (iv).

Jener Zustand der Unwirksamkeit übrigens, als negative Grenzwirkung bei Umwandlung der positiv peripolaren Molekeln am Querschnitt in negativ peripolare, läßt sich leicht beobachten, und zwar tritt er schon bei nur einer Lage negativ peripolarer Molekeln ein, weil der Unterschied der Entfernung der beiden äußersten Molekelschichten von der Ableitungsplatte im Schema ein vergleichsweise viel beträchtlicherer ist, als wir im Muskel voraussetzen. Es versteht sich indess, daß man eine vollständige Abwesenheit jeder Wirkung, wenigstens bei ungeschwächter Kraft des Erregers, nie zu sehen bekommt. Die Unwirksamkeit des Schema's giebt sich vielmehr zu erkennen darin, daß man bald schwache positive, bald eben so schwache negative Ausschläge erhält. Je nach der eigenthümlichen Kraft der negativ peripolaren Grenzschi-
 cht und der darunter gelegenen positiv peripolaren Schicht, wie sie durch den verschiedenen Zustand der metallischen Oberflächen im Augenblick des Eintauchens bedingt wird, hat bald die eine und bald die andere Wirkungsrichtung die Oberhand. Giebt man aber, in der äußersten Molekelschicht, nur der zweiten, vierten, sechsten Molekel die negative Stellung, indem man der ersten, dritten, fünften die positive läßt, oder umgekehrt, so wirkt die Vorrichtung nach wie vor positiv peripolar, und so stark, als ob die abwechselnd positiv und negativ wirkenden Molekeln gar nicht vorhanden wären. Dieser letzte Erfolg kann demnach, insofern es einer solchen überhaupt bedarf, als Bestätigung des Grundsatzes gelten, daß die Grenzschi-
 cht der Molekeln nicht

eine innere Lageverwechslung ihrer elektropositiven und negativen Bestandtheile erforderlich. Diese Abweichung unseres Schema's von der Wirklichkeit beruht, wie man leicht bemerkt, darauf, daß es nur auf eine Elektrizitätsbewegung nach zwei Ausmessungen eingerichtet ist.

als wirksam in Betracht kommt, wenn die Molekeln darin solche Stellungen haben, daß die Gesamtwirkung gleich Null ist.

Um die obigen Betrachtungen durch Versuche gehörig erläutern zu können, liefs ich eine Vorrichtung, in der Art der eben erwähnten, anfertigen, an der aber die Molekeln, statt peripolare, einfach dipolare Beschaffenheit haben. Abermals liefs ich (Vergl. oben Bd. I. S. 672) Röhren aus Kupferblech von 11^{mm} Durchmesser im Metall ziehen, diesmal aber dem Mantel derselben entlang nur einen Zinkstreifen von solcher Breite auflöthen, daß der Umfang der Röhren dadurch in zwei gleich breite Streifen von Zink und Kupfer getheilt war. Die Röhren wurden, senkrecht auf ihre Axe, in lauter 12^{mm}.5 lange Stücke zerschnitten, das Zink amalgamirt, das Kupfer inwendig gefirnist und die Elemente, diesmal nur 60 an der Zahl, mit ihren kreisförmigen Rändern in sechs Reihen, welche etwa 1^{mm} Abstand zwischen sich liefsen, auf ein Brettchen von 126^{mm} Länge und 82^{mm} Breite folgendermassen aufgekittet. Ihre elektromotorischen Axen, d. h. die die Mittellinie des Zink- und des Kupferstreifens verbindenden Durchmesser, liefsen sämmtlich einander und den langen Seiten des Brettchens parallel. Sämmtliche Molekeln einer Reihe kehrten einem und demselben Ende der Vorrichtung abwechselnd Zink und Kupfer zu. Die den Querschnitt an der kurzen Seite des Brettchens begrenzenden Molekeln wendeten Kupfer in's Freie. Endlich berührten sich sämmtliche einander zugewendete Zinkseiten je zweier der Länge nach benachbarter Molekeln, die eine positiv peripolare Gruppe vorstellten, während ein Zwischenraum von etwa 1^{mm} die einander zugewendeten Kupferseiten je zweier der Länge nach benachbarter Molekeln trennte, welche zwei verschiedenen positiv peripolaren Gruppen angehörten. In jeder Reihe befanden sich also fünf vollständige, aus dipolaren Molekeln zusammengesetzte positiv peripolare Gruppen. Man hat sich diese Vorrichtung aus dem Schema Fig. 107 A. Taf. III. dieses Bandes auf die nämliche Art entstanden zu denken, wie die in Fig. 74. 75. Taf. VI. Bd. I. abgebildete, oben Bd. I. S. 672. 673 beschriebene ältere Vorrichtung aus dem Schema Fig. 71. Taf. VI. Bd. I. (S. oben Bd. I. a. a. O.) In Fig. 143 A. findet sich ein Stück der neuen Vorrichtung im Grundrifs von unten gesehen in eben der Weise dargestellt, wie dies, für die ältere Vorrichtung, in der eben angeführten Fig. 75. Taf. VI. des ersten Bandes geschehen ist.

Die elektromotorische Prüfung der neuen Vorrichtung wurde in dem nämlichen Troge und mit den nämlichen Ableitungsplatten vorgenommen, als die der älteren Vorrichtung. Es zeigte sich zunächst, woran wohl von vorn herein kein Zweifel war, daß sich die neue Vorrichtung der älteren, und somit den Muskeln und Nerven, elektromotorisch in allen

Stücken gleich verhielt. Zwischen Längs- und Querschnitt herrschten starke Ströme in der Richtung vom ersteren zum letzteren in dem Bogen; zwischen asymmetrisch gelegenen Punkten des Längsschnittes allein Ströme in der Richtung von dem der Mitte des Längsschnittes näheren Punkte zu dem der Mitte des Querschnittes näheren. Bei diesem Versuche war die Länge des Troges durch eine auf die hohe Kante gestellte, an seinen Boden und seine Wände angekittete Querleiste bis auf nur etwas mehr als 126^{mm} verkürzt, um die Verhältnisse den am Muskel obwaltenden ähnlicher zu machen, d. h. um zu bewirken, daß bei Abwesenheit des Bogens kein Gesamtstrom am Längsschnitt herrsche (Vergl. oben Bd. I. S. 640 ff. 659. 674). Die Ströme wuchsen an Stärke, wie die ableitenden Platten, bei beständigem Abstände von einander, von der Mitte des Längsschnittes nach dem Querschnitt hin verschoben wurden. Ueber das Gesetz dieses Wachstums liefs sich hier so wenig wie an der älteren Vorrichtung etwas Sicheres ausmachen (S. oben Bd. I. S. 675). Das Gesetz der Veränderung der Stromstärke mit der Spannweite des ableitenden Bogens fand sich hier wie dort bewährt (S. ebendas.).

Nunmehr schritt ich zu den eigentlich hier beabsichtigten Versuchen, welche zum Zweck haben die thatsächliche Begründung dessen, was oben von dem Einfluß des Zustandes der den Querschnitt begrenzenden Molekelschicht auf die elektromotorischen Leistungen des Muskels gesagt worden ist.

Zu diesem Behuf war folgende Einrichtung getroffen. An jedem Ende des Brettchens der neuen Vorrichtung konnte mittelst Zapfen (S. Fig. 143B) eine Leiste von gleicher Dicke mit dem Brettchen, gleicher Länge mit seiner Breite, und von 13^{mm} Breite angesetzt werden. Auf diese Leisten waren sechs dipolare Molekeln von gleicher Beschaffenheit mit denen der Vorrichtung dergestalt aufge kittet, daß, wenn die Leisten an das Brettchen angesetzt waren, die elektromotorischen Axen (S. oben) der Molekeln in der Verlängerung der Axen der sechs Molekelreihen des Brettchens lagen. Dabei kehrten die Molekeln auf den Leisten ihre positiven Pole in's Freie, ihre negativen Pole aber den negativen Polen der Grenzschicht des Brettchens zu. Zwischen den negativen Polen der Molekeln auf den Leisten und denen der Molekeln der Grenzschicht auf dem Brettchen blieb ein Zwischenraum von etwa 1^{mm}, wie zwischen den negativen Polen je zweier der Länge nach benachbarten peripolaren Gruppen der Vorrichtung. Vergl. die Figur. Man sieht, die positive Pole in's Freie kehrenden Molekelreihen auf den Leisten verwandeln, wenn man von dem Unterschiede der Abstände zwischen den positiven und zwischen den negativen Polen je zweier der Länge nach benach-

barter dipolaren Molekeln absieht (Vergl. oben S. 89), die früher positiv peripolare Anordnung in die negativ peripolare.

In der That, taucht man nun die Vorrichtung in den Trog vor den an seiner langen und seiner kurzen Seite aufgestellten Ableitungsplatten ein, so erhält man einen Strom zwar von merklich gleicher Stärke wie vorhin, aber von entgegengesetzter Richtung. Ganz wie wir es erwartet haben, und wie es auch nicht anders sein kann, verhält sich der an sich neutrale Längsschnitt nunmehr statt positiv gegen den negativen, negativ gegen den positiven Querschnitt. Sobald man die Leisten mit ihrer gesetzwidrig angeordneten Molekelreihe wieder entfernt, tritt auch das alte Verhalten zwischen Längs- und Querschnitt wieder ein. Ja man kann auch nur an einem Ende des Brettchens die zugehörige Leiste anbringen, das andere davon freilassen, so daß nur ein Querschnitt mit der gesetzwidrig angeordneten Schicht bekleidet erscheint. Alsdann verhält sich der Längsschnitt positiv gegen den von der Schicht freien, negativ gegen den damit überzogenen Querschnitt, so daß der Strom im Multiplicator entgegengesetzte Bahnen einschlägt, je nachdem man der an der kurzen Seite des Troges befindlichen Ableitungsplatte den einen oder den anderen Querschnitt zukehrt. Bei dieser Anordnung ist aber begreiflich der stärkste zu erhaltende Strom keinesweges der zwischen dem neutralen Längsschnitt und dem negativen oder positiven Querschnitt, sondern der zwischen den beiden ungleichartigen Querschnitten selber, zwischen denen sonst, bei regelmäßiger positiv oder negativ peripolarer Anordnung, gar kein Strom herrscht, und übertrifft dieser Strom an Stärke den sonst stärksten bei regelmäßiger Anordnung theoretisch um das Doppelte.

Jetzt würde es sich darum handeln, auf diese Weise auch noch die Mittelstufen der elektromotorischen Wirksamkeit des Muskels zwischen der positiven und der negativen Grenz Wirkung nachzuahmen, d. h. diejenige Beschaffenheit des Muskels, bei der er entweder ganz unwirksam erscheint, oder nur schwach positiv oder negativ wirksam ist. Das Mittel dazu würde, unseren obigen Erläuterungen gemäß, einfach darin bestehen, den ursprünglich negativen Querschnitt des Muskels nur zum Theil mit dipolaren, positive Pole nach Aufsen kehrenden Molekeln zu bekleiden. Dies ist leicht gemacht. Man braucht dazu aus der Molekelreihe auf den Leisten nur so viel Elemente fortzubrechen, als der jedesmalige Zweck des Versuches erheischt.

Das Ergebniss dieser Prüfung ist aber kein ganz befriedigendes, insofern es nicht gelingt, die theoretische Voraussicht im Versuch reinlich darzustellen. Man stößt auf nicht zu bewältigende Störungen von Seiten verschiedener Umstände. Nichtsdestoweniger ist der Erfolg der

Art, daß an der Richtigkeit der in Rede stehenden Grundsätze kein Zweifel obwalten kann.

Wenn man nach und nach die Zahl der gesetzwidrig gestellten Elemente auf den Leisten vermindert, müßte man, so verlangt es die Theorie, den negativen Strom abnehmen sehen, bei nur noch drei Molekeln auf jeder Leiste müßte er verschwinden, bei immer weiter vermindert Anzahl mit verändertem Zeichen wiederkehren und dabei wiederum an Stärke wachsen, bis er endlich, mit Abbruch der letzten Molekel, den positiven Grenzwert erreicht, entsprechend dem negativen, von dem er ausgegangen war.

In Wirklichkeit nun wird dieser Verlauf nie beobachtet. Nur ein Zug davon bleibt regelmäßig zurück. Er besteht darin, daß mit jeder Molekel, die man von der Leiste abbricht, die Vorrichtung in der That an negativer Wirksamkeit einbüßt, an positiver gewinnt.

Allein erstens gelingt es nie, die Vorrichtung wirklich stromlos zu sehen, es bleibt immer eine mehr oder weniger starke Wirkung im einen oder anderen Sinne zurück.

Für's zweite findet sich dies, in Abwesenheit eines wahrhaften Nullpunktes, dafür eintretende Minimum der Wirksamkeit im einen oder dem anderen Sinne verschoben, so zwar daß bald bereits mit dem Abbrechen nur einer, oder wenigstens zweier Molekeln die Vorrichtung positiv wirkt, bald das Gegenteil eintritt; d. h. sie wirkt noch schwach negativ, auch wenn die Leisten nur noch zwei oder gar nur eine gesetzwidrig angeordnete Molekel tragen. Nicht selten zeigt, von den beiden Enden der Vorrichtung, das eine das erste, das andere das zweite beschriebene Verhalten.

Dies ist aber noch nicht Alles. Es kommt nämlich auch vor, daß man, wenn die Leisten nur noch mit wenig Elementen besetzt sind, doppelsinnige Ausschläge erhält. Z. B. bei drei Molekeln sind die Ausschläge beim Eintauchen der Vorrichtung noch entschieden negativ, aber die Ausschläge der Ladungen beim Entfernen des Elektromotors sind bereits entweder auffallend klein, oder gar verkehrt, d. h. sie haben im Multiplicatorkreis die Richtung des negativen Stromes der Vorrichtung. Bricht man dann noch eine oder zwei Molekeln fort, so erhält man beim Eintauchen zwar noch einen kleinen negativen Ausschlag, allein auf dem Fusse gefolgt von einem weit größeren positiven Rückschwung, so daß man sieht, der Strom hat sich wenige Augenblicke nach dem Eintauchen umgekehrt, was überdies durch die verkehrten Ladungen bestätigt wird.

Von einem Theile dieser Unregelmäßigkeiten hält es nicht schwer, sich Rechenschaft zu geben. Eine Verschiebung des Nullpunktes der

Wirksamkeit der Vorrichtung in dem Sinne, daß die Vorrichtung noch negativ wirkt, wenn gleich von den Leisten bereits die Hälfte oder mehr als die Hälfte der gesetzwidrig angeordneten Elemente entfernt ist, hätten wir im Grunde voraussehen können. Denn die Verhältnisse unserer Vorrichtung sind von denen, die wir bei unserer theoretischen Erörterung vorausgesetzt haben, insofern verschieden, als in der ersteren der Unterschied der Entfernung der beiden äußersten Molekelreihen von den Ableitungsplatten ein vergleichsweise viel beträchtlicherer ist, als wir annehmen, daß er im Muskel sei. Es kann also, an der Vorrichtung, die Wirkung der Molekelreihe auf der Leiste die Wirkung der Grenzschicht noch aufwiegen, ja überwiegen, auch wenn die Anzahl der Molekeln in der ersteren eine kleinere geworden ist als die Hälfte. Demgemäß müßte auch die negative Wirkung der Vorrichtung bei Gegenwart der Leisten die positive bei Abwesenheit der Leisten überreffen.

Es scheint jedoch, als ob der Einfluß dieses Umstandes nur verschwindend sei gegen den der zufälligen Ungleichheiten in der ursprünglichen Kraft und Polarisationsfähigkeit der Kupferzinklelemente. Denn bald übertrifft, bei vollzähliger Molekelreihe auf den Leisten, die negative Wirkung in der That die positive nach Entfernung der Leisten, bald ist das Umgekehrte der Fall, und so ist denn auch erwähnenswerthen häufig der Nullpunkt der Wirksamkeit in dem entgegengesetzten Sinne von dem verschoben, den man nach der ebenangestellten Betrachtung, betreffend die größere Nähe der gesetzwidrig angeordneten Molekeln, erwarten sollte. Daß aber der Grund dieser Abweichung wirklich der oben angegebene sei, erhellt aus Folgendem. Es mögen die den Längsschnitt vorstellenden langen Seiten der rechteckigen Vorrichtung L , L_1 , die den Querschnitt vorstellenden kurzen Seiten Q , Q_1 heißen. Leitet man den Strom abwechselnd von L , Q , von L , Q_1 , von L_1 , Q und von L_1 , Q_1 ab, bei sonst möglichst unveränderter Stellung der Vorrichtung und der Ableitungsplatten im Troge, so müßte die Stärke des Stromes stets die nämliche sein. Keinesweges ist jedoch dies der Fall. Sondern man findet, zwischen den Stromstärken bei den vier Ableitungsarten, die auffallendsten Unterschiede vor, welche also durchaus von nichts herrühren können als von der verschiedenen Kraft der Kupferzinklelemente und ihrer verschiedenen Neigung, Ladungen anzunehmen. In Uebereinstimmung damit zeigt es sich, daß, wenn z. B. zwei gesetzwidrig gestellte Molekeln auf der Leiste am Querschnitt Q die Oberhand behaupten über die darunter gelegene Grenzschicht, am Querschnitt Q_1 hingegen das Umgekehrte beobachtet wird, alsdann auch meistens der Querschnitt Q_1 gegen einen bestimmten Längsschnitt L

oder L_1 stärker negativ gefunden wird als der Querschnitt Q gegen denselben Längsschnitt.

Was die doppelsinnigen Wirkungen betrifft, so bin ich außer Stande, etwas Genügendes zu ihrer Erklärung beizubringen. Augenscheinlich können sie auf nichts anderem beruhen, als darauf daß die Wirkung der gesetzwidrig gestellten Molekeln schneller sinkt, als die der darunter gelegenen Grenzschicht. Sie sind um so räthselhafter, als sie nicht in gleicher Weise beobachtet werden, wenn man die Leisten mit ihren Zink nach Aufsen kehrenden Molekeln entfernt, und aus den Kupfer nach Aufsen kehrenden Grenzschichten eine Molekel nach der anderen entfernt.

Indessen zeigt dieser Umstand nur um so klarer, wie es sich hier um irgend eine Verwickelung von Seiten der Ladungen handle, welche mit den zu erweisenden Grundsätzen nichts zu schaffen hat, und die wir somit unbesorgt auf sich beruhen lassen können. Sie rührt von denselben zufälligen Eigenschaften unserer Vorrichtungen her, die uns schon früher bei so manchen Gelegenheiten störend in den Weg getreten sind (S. oben Bd. I. S. 600 ff.). Diese Eigenschaften sind die der unbeständigen Ketten überhaupt. Die daraus entspringenden Störungen müßten wegfallen, wenn es gelänge, schematische Vorrichtungen nach dem Vorbilde der thierischen Erreger hervorzubringen, an welchen die elektromotorischen Molekeln, statt durch Ketten von unbeständiger, durch solche von beständiger Kraft nachgeahmt wären. Ich halte dies für wohl ausführbar, wenn man an die Stelle der selbstthätigen Elemente, wie wir sie bisher angewendet haben, Elektrodenpaare beständiger Ketten setzte, und die Flüssigkeit im Troge im Verhältniß zur Natur der Elektroden dabei so wählte, daß keine Ladung der Elektroden möglich wäre. Auch die Ableitungsplatten könnten alsdann von Ladungen freigehalten werden, indem man sie aus demselben Metalle nähme, als die Elektroden. Die Ausführung einer solchen Vorrichtung behalte ich mir auf eine spätere Zeit vor.

Für jetzt betrachten wir die oben dargelegten Ansichten über die Umkehrungserscheinungen der thierisch - elektrischen Ströme und die Zwischenstufen dieser Erscheinungen für gleich bewiesen in der Theorie und Erfahrung, und werden nun, mit ihrer Hülfe, dazu schreiten, das Wesen des parelektronomischen Zustandes mit einigem Verständniß zu durchdringen.

(iii) Anwendung der obigen Grundsätze auf die Theorie des par-
elektronomischen Zustandes der Muskeln.

Die eben ausführlich erörterte dritte Hypothese, wodurch es gelingt, sich Rechenschaft zu geben von dem Unwirksamwerden oder der Umkehr der Strömungsrichtung der peripolaren Erreger, wiesen wir oben Abth. I. S. 556 von der Hand aus dem Grunde, daß sie erstlich nicht stimmte mit der Wirkungsart der Ursachen, die die Stromesumkehr herbeiführten und mehr die ganze Masse der thierischen Erreger als den Querschnitt allein zu treffen geeignet schienen; für's zweite, weil wir auch im Stande waren, den Beweis zu führen, daß wirklich eine Lageänderung der Molekeln durch die ganze Masse des Muskels oder Nerven die Stromesumkehr begleiten müsse. Denn wo man an einem Nerven, einem Muskel, der in Folge der oben ebendas. beschriebenen Behandlungsarten negativ wirkt, einen Querschnitt anlegt, man findet ihn positiv, während er sonst negativ gefunden wird. Es müssen also, durch die ganze Masse des Muskels oder Nerven, die dipolaren Molekeln in Gestalt negativ peripolarer Gruppen zu einander in solche Beziehung gerathen sein, daß ein durch den Muskel oder Nerven geführter Schnitt nicht mehr wie sonst stets zwischen die einander zugekehrten negativen Pole, sondern nur noch zwischen die positiven Pole je zweier dipolaren Molekeln fallen könne.

Hier nun ist die Sachlage eine ganz verschiedene. Wir finden den natürlichen Querschnitt unwirksam oder gar positiv gegen den Längsschnitt, dagegen den künstlichen Querschnitt stets, wie gewöhnlich, negativ. Es ist also diesmal keine solche Lageänderung der Molekeln durch die ganze Masse des Muskels vor sich gegangen, sie sind noch zu positiv peripolaren Gruppen zusammengefügt und schon daraus kann geschlossen werden, daß der natürliche Querschnitt im par-
elektronomischen Zustande nothwendig der Sitz von elektromotorischen Kräften sein müsse, die denen des übrigen Muskels entgegenwirken, ihnen die Wage halten, ja sie zu überwiegen vermögen. Wir sehen außerdem den natürlichen Querschnitt in diesen Versuchen eine ganz besondere Rolle spielen, zwar nicht insofern als die Ursache, welche den par-
elektronomischen Zustand herbeiführt, hier mehr wie dort geeignet schiene, den natürlichen Querschnitt vorzugsweise zu berühren, wohl aber insofern als das einzige uns mit Sicherheit bekannt gewordene Mittel, die Negativität des natürlichen Querschnittes zu entwickeln, darin besteht, ihn mit ätzenden Flüssigkeiten anzugreifen.

Es tritt demnach hier, im Gegensatz zu den Erscheinungen der freiwilligen Stromesumkehr und der nach Mißhandlungen, die Noth-

wendigkeit ein, jene dritte Hypothese in Anwendung zu ziehen. Wir stellen uns vor, daß im Inneren des Muskels überall die positiv peripolare Anordnung herrscht, so daß jeder künstliche Querschnitt nur negative Pole positiv peripolarer Gruppen dipolar elektromotorischer Molekeln darbietet. Der natürliche Querschnitt des Muskels dagegen ist bekleidet mit einer beliebig dünnen, immerhin einfachen Schicht dipolarer Molekeln oder auch einer mehrfachen Schicht peripolarer Gruppen, die positive Pole nach Außen wenden. Je nachdem diese Schicht den natürlichen Querschnitt stetig überzieht, oder stellenweise die darunter gelegenen negativen Pole der ersten Schicht positiv peripolarer Gruppen freiläßt, ist der Muskel mehr oder weniger stark negativ wirksam, oder unwirksam, oder mehr oder weniger stark positiv wirksam. In einem dieser drei Zustände finden wir den Muskel vor. Was wird nöthig sein, um ihn sogleich mit aller Kraft seiner elektromotorischen Molekeln positiv wirksam erscheinen zu lassen? Nichts weiter, wie in die Augen springt, als seinen natürlichen Querschnitt auf irgend eine Art von jener Schicht zu befreien, welche ihn weniger negativ, neutral oder gar positiv gegen den Längsschnitt erscheinen läßt, und dadurch der negativen Wirksamkeit der darunter gelegenen Schicht positiv peripolarer Gruppen freie Bahn zu machen.

Es wird gleichgültig sein, auf welche Art die Schicht beseitigt wird. Es kann dies z. B. einfach auf mechanischem Wege geschehen. Das also wäre nun endlich die wahre Bedeutung des Umstandes, daß der künstliche Querschnitt stets bereits wirksam gefunden wird. Es läßt sich jedoch dem Versuche noch eine lehrreichere Form ertheilen. Spannt man nämlich einen parelektronomischen Gastroknemius, dem man sein oberes und unteres Knochenstück gelassen hat, in der bekannten Weise in der kleinen Streckvorrichtung aus (S. oben Abth. I. S. 67), und legt die Bäusche an die Knochenstücke an, so erhält man natürlich dieselben Wirkungen, als ob der Muskel mit sehnigen Enden aufgelegt wäre, nämlich je nach der Stufe des parelektronomischen Zustandes, auf der der Muskel verharrt, einen mehr oder weniger starken negativen, gar keinen oder einen schwachen positiven Ausschlag und die entsprechenden beständigen Ablenkungen. Sobald man aber, während der beständigen Ablenkung der Nadel, mit einem Scalpell die Ausbreitung der Achillessehne zum Theil fortschneidet, so daß ein schräger künstlicher Querschnitt entsteht, erfolgt ein starker positiver Ausschlag. Man kann auch, um den Verdacht auf eine elektromotorische Wirkung von Seiten der Klinge zu entfernen, die sehnige Ausbreitung, so gut es eben gehn will, mittelst einer Glasscherbe abschaben. Der Erfolg bleibt derselbe, obschon der Ausschlag aus leicht ersichtlichen Gründen nicht

die nämliche Heftigkeit zeigt. Schält man mittelst einer kleinen COOPER'schen Scheere die Ausbreitung vor dem Auflegen auf allen Punkten ab, was sehr leicht von Statten geht, so wirft der Gastroknemius die Nadel sofort an die Hemmung.

Hier also, würde man sich zu denken haben, tritt der positive Strom deshalb sofort mit aller Kraft hervor, weil die den natürlichen Querschnitt zum Theil bekleidende Schicht positiv nach Außen wirkender Molekeln mitsammt dem sehnigen Ueberzuge plötzlich entfernt wird. Es ist völlig der nämliche Vorgang, als der an dem Molecularschema, wenn man eine der Leisten entfernt, die die gesetzwidrig angeordneten Molekelreihen tragen. Ist dies aber richtig, so muß man sichtlich das Nämliche leisten können, indem man die Schicht zwar nicht entfernt, aber doch ihrer elektromotorischen Wirksamkeit beraubt.

Die Muskelsubstanz ihrer elektromotorischen Wirksamkeit zu berauben, dazu haben wir verschiedene Mittel in Händen. Eines dieser Mittel besteht z. B. darin, die Muskelsubstanz mit Stoffen in Berührung zu bringen, welche dieselbe chemisch angreifen (S. oben Abth. I. S. 183). Das also wäre nunmehr das Geheimniß jenes räthselhaften Stromentwickelungsvorganges immer nach dem nämlichen Gesetze, immer in der nämlichen Richtung, unter dem Einflusse der chemisch und physikalisch verschiedenst gearteten Flüssigkeiten, mit denen der natürliche Querschnitt benetzt wurde. Die einzige gemeinsame Eigenschaft, die jene Flüssigkeiten erkennen ließen, war die, daß sie Aetzmittel seien; und eben als Aetzmittel waren sie hier wirksam. Sie dienten gewissermaßen, auf chemischem Wege künstliche Querschnitte herzustellen. Sie zerstörten die gesetzwidrige Wirksamkeit der den natürlichen Querschnitt bekleidenden Schicht, wodurch die gesetzliche Thätigkeit des Muskels gelähmt, ja überwältigt erschien; der positive Strom konnte nunmehr an's Licht treten.

Daraus erklären sich denn zunächst verschiedene Umstände, die uns in der Wirksamkeit der entwickelnden Flüssigkeiten aufgefallen sind. Von den Flüssigkeiten wirken die einen rascher, die anderen langsamer, um den ihnen zukommenden positiven Grenzwert der Stromstärke herbeizuführen (S. oben S. 58). Säuren und Alkalien wirken im Allgemeinen schneller als die Salzlösungen und die mit Wasser schwer mischbaren Flüssigkeiten nicht leitender Natur, Kreosot, Schwefelaether, Essigäther, Terpenhinoel. Augenscheinlich beruht dies auf den bekannten Gesetzen der Diffusion tropfbarer Flüssigkeiten durch thierische Gewebe. Der obere Grenzwert aber, der bei jeder Flüssigkeit erreicht wird, bei der einen größer, bei der anderen kleiner ausfällt (S. oben ebendas.), beruht unstreitig darauf, daß zwar die ätzenden Flüssigkei-

ten sämmtlich die elektromotorische Kraft der Muskelsubstanz schnell ausnehmend verringern, einen größeren oder geringeren Theil derselben aber doch kürzere oder längere Zeit hindurch noch bestehen lassen.

Jetzt erst sind wir im Stande zu ermessen, was wir oben S. 59 noch nicht zu beurtheilen wußten, was den Strom vollständig entwickeln helfe. Als vollständig entwickelt würde der Strom nur dann zu betrachten sein, wenn die elektromotorischen Kräfte der parelektronischen Schicht gänzlich vernichtet wären, und zugleich die aufser Thätigkeit gesetzte Schicht auch isolirend gemacht wäre, um sie ihrer Wirkung als Nebenschließung zu berauben. Alsdann würde der Strom die größte der eigenthümlichen Kraft des Muskels entsprechende Stärke erreicht haben, dieselbe, die er bei der mechanischen Entfernung der parelektronischen Schicht erhalten hätte. Erst von einer Flüssigkeit, welche diesen Forderungen entspräche, würde man mit Recht sagen können, daß sie den Strom vollständig entwickle.

Die geringe Spur von Entwicklung die bisweilen wahrgenommen wird, wenn der Muskel ruhig sich selber an der Luft überlassen bleibt (S. oben S. 51), ist wohl dem Umstande zuzuschreiben, daß der äußere Umfang des Muskels, wozu auch der natürliche Querschnitt gehört, durch die Trockniß eine verderbliche Wirkung erfährt, vor der das Innere des Muskels geschützt ist. In Folge dieser Wirkung büßt der natürliche Querschnitt etwas von seiner Kraft ein, und der positive Strom des unversehrten Muskelinneren gewinnt etwas an Uebergewicht. Die Schwächung, die der Strom durch den oberflächlichen Angriff des Längsschnittes erleidet, kommt gegen dieses gewonnene Uebergewicht hier eben so wenig in Betracht, als wenn der ganze Muskel oder die ganze Gliedmaße in eine ätzende Flüssigkeit getaucht wird, wie es anfangs in unsern Versuchen der Fall war.

Die spurweise Entwicklung die sich oft einstellt, wenn man versucht die entwickelnde Flüssigkeit oder Metallfläche nur den Längsschnitt berühren zu lassen (S. oben S. 53. 54. 66), kann aufser auf dem eben erwähnten Umstand auch noch beruhen auf der Schwierigkeit, die äußerlich so verwischte Grenze zwischen Längsschnitt und natürlichem Querschnitt in Wirklichkeit einzuhalten. Zwar ist es richtig, daß man überdies dabei an den der Faserrichtung nicht parallelen Grenzen des Verbreitungsbezirks der ätzenden Flüssigkeit künstliche Querschnitte chemisch anlegt bis zu der Tiefe bis zu welcher die Flüssigkeit in den Muskel eindringt. Von diesen künstlichen Querschnitten könnte man versucht sein, den spurweise hervortretenden Strom abhängig zu machen. Allein es möchte doch schwer zu verstehen sein, weshalb die Richtung dieses Stromes stets die positive sei, oder weshalb stets von den

beiden künstlichen Querschnitten eines und desselben Primitivmuskelbündels, die man chemisch hergestellt hat, der obere, aufsteigend wirksame, allein zur Geltung kommen sollte.

Leicht zu erklären ist jetzt auch der Umstand, der beim ersten Anblick so höchst räthselhaft erscheinen mußte, daß der Ausschlag, den man von einem parelektronomischen Muskel erhält, wenn man den Muskel zugleich vor Entwicklung seines Stromes schützt, allmählig im Sinken begriffen erscheint, während man doch sogleich noch sehr viel heftigere Wirkungen hervorlocken kann, sobald man den Muskel entwickelnden Einflüssen preisgibt (S. oben S. 44). Denn in jenem ersten Ausschlage giebt sich allein der Unterschied der Kräfte kund, mit denen der Muskel positiv und mit denen er negativ zu wirken bestrebt ist. Sinken im Lauf des Versuches diese Kräfte in gleichem Mafse, so ist es klar muß auch ihr Unterschied in demselben Mafse sinken. Dies verhindert aber nicht, daß wenn nun die am natürlichen Querschnitt hausenden Kräfte, mit denen der Muskel negativ zu wirken trachtete, auf die eine oder die andere Weise aufser Wirksamkeit gesetzt werden, die Wirkung der allein übrig bleibenden positiven Kräfte sehr viel größer ausfalle, als vorher die Wirkung des Unterschiedes zwischen ihnen und den negativen Kräften, wenn auch nicht mehr so groß, als wenn man gleich zu Anfang des Versuches, ehe noch das Sinken des Unterschiedes beobachtet worden war, den positiven Kräften durch Vernichtung der negativen Kräfte freie Bahn gemacht hätte.

Daß der stärkste positive Ausschlag, den man von parelektronomischen Gliedmaßen nach der Entwicklung ihres Stromes erhält, an absoluter Größe zuweilen unter dem ersten negativen Ausschlag bleibt, den sie gegeben haben (S. oben S. 38), läßt sich von unserer Theorie aus auf verschiedene Art erklären. Erstlich kann diese Erscheinung einfach darauf beruhen, daß mittlerweile die elektromotorische Kraft des ganzen Muskels gesunken ist. Für's zweite habe ich diese Erscheinung beobachtet zur Zeit, wo ich allein durch die zufällige Benetzung des Präparates mit der Kochsalzlösung der Zuleitungsgefäße die Entwicklung blindlings herbeiführte. Der positive Strom würde vielleicht den negativen übertroffen haben, wenn ich sofort nach dem ersten Auflegen entweder den künstlichen Querschnitt mechanisch hergestellt oder den natürlichen Querschnitt mit einer stärker entwickelnden Flüssigkeit benetzt hätte. In der That ist mir, seitdem ich im Besitz dieser vollkommneren Verfahrensarten bin, jener Fall nicht wieder zu Gesicht gekommen. Endlich drittens ist es mit unserer Theorie durchaus nicht unverträglich, daß wirklich der negative Strom des natürlichen Querschnittes den positiven sogar des mechanisch dargestell-

ten künstlichen Querschnittes an Stärke übertreffe. Es ist dazu keinesweges nöthig, daß die gesetzwidrig angeordneten Molekeln am natürlichen Querschnitt die im Inneren des Muskels an elektromotorischer Kraft übertreffen, eine Annahme, die wir natürlich nicht gern machen würden. Vielmehr genügt es zu jenem Zweck, daß sich am Querschnitt nicht eine einfache, sondern eine mehrfache Schicht dipolarer Molekeln von gleicher Kraft mit denen im Muskel befinde, die aber sämmtlich positive Pole nach Außen kehren.

So ist demnach unsere Theorie im Stande, von allen bisher beobachteten Erscheinungen des parelektronomischen Zustandes Rechenschaft zu geben. Aber versprochenermassen leistet diese Theorie noch mehr, es lassen sich aus ihr auch neue noch nicht beobachtete Erscheinungen im Voraus mit Sicherheit ableiten.

Außer der chemischen Anätzung sind wir noch im Besitz eines anderen, schnell und nach Bedürfnis örtlich wirkenden Mittels, der elektromotorischen Thätigkeit der Muskelmolekeln ein Ende zu machen. Dies Mittel ist die Temperaturerhöhung (S. oben Abth. I. S. 178). Ist also unsere Theorie richtig, so muß es gelingen, durch eine oberflächliche Verbrennung oder Verbrühung des natürlichen Querschnittes den positiven Strom des Muskels gerade so gut zu entwickeln, als durch das Anätzen mittelst einer chemisch wirksamen Flüssigkeit.

Wirklich ist dies der Fall. Man spanne den parelektronomischen Gastroknemius, wie oben S. 100, in der kleinen Streckvorrichtung aus. Im geeigneten Augenblick, wenn die Nadel zur Ruhe gekommen ist, bringe man eine heiße Messerklinge, oder um dem Verdacht vorzubeugen, der aus der metallischen Berührung entspringen könnte, eine heiße Porzellanscherbe an die Ausbreitung der Achillessehne an. Man thut am besten, die Scherbe vorher glühend zu machen, und sie so lange an einem anderen Muskel auf ihre Wirkung zu prüfen, bis man findet, daß der sehnige Ueberzug über den natürlichen Querschnitt sich nicht mehr unter ihr bräunt und rissig wird. Denn alsdann würde künstlicher Querschnitt zu Tage gelegt, und man könnte sagen, der Versuch falle zurück in den, wo wir den künstlichen Querschnitt durch Abschälen des sehnigen Ueberzuges mechanisch entblösten. Die Sehne muß eben nur unter der heißen Scherbe etwas einschrumpfen und ihren Perlglanz verlieren. Stets fliegt die Nadel sofort an die positive Hemmung.

Man kann auch, statt ihn mit der heißen Scherbe zu berühren, einen Tropfen heißen Oeles mit einem Glasstab auf den natürlichen Querschnitt bringen. Natürlich muß man den Glasstab dabei in und mit dem Oele erhitzen, damit das Oel heiß auf den künstlichen Quer-

schnitt gelange. Olivenöl von 200° C. gab an stromlosen Muskeln einen positiven Ausschlag von etwa 15°; Oel von 270° C. aber trieb die Nadel im ersten Ausschlag auf 70°.

Endlich kann man noch einfacher verfahren, indem man den Muskel nur einen Augenblick lang in heißes Wasser taucht. Die Streckvorrichtung ist alsdann nicht nöthig, da der Muskel nicht unverrückt zwischen den Bäuschen bleiben soll. Freilich wird dabei, mit dem Querschnitt, auch der Längsschnitt oberflächlich verbrüht. Der dadurch bedingte Kraftverlust kommt aber nicht in Betracht neben der Entwicklung des Stromes, und man hat dafür den Vortheil, einigermaßen die Grenze der Temperatur bestimmen zu können, welche erreicht sein muß, damit eine namhafte Wirkung stattfindet.

Taucht man einen parelektronomischen Gastroknemius, der, zwischen seinen sehnigen Enden geprüft, die Nadel fast auf Null liefs, oder gar negativ ablenkte, nur einen Augenblick lang in siedendes Wasser, so bleibt er dauernd verkürzt, weil die verbrühte Schicht an der Oberfläche in zusammengezogenem Zustande erstarrt. Sein Inneres aber bleibt unverletzt, und der Muskel demgemäfs zuckungsfähig. Prüft man ihn abermals auf seinen Strom zwischen sehnigen Enden, so wirft er die Nadel an die positive Hemmung, obschon, wenn man die Ausbreitung der Achillessehne abschält, noch immer eine Verstärkung des Stromes erfolgt. Anschlagen an die Hemmung in Folge des heißen Wasserbades tritt auch noch ein, wenn die Temperatur des Bades 75—80° C. beträgt. Hier aber findet in der Wirkung der erhöhten Temperatur, der man den natürlichen Querschnitt aussetzt, insofern ein auffallender Sprung statt, als ebensolanges Verweilen des Muskels in Wasser von 65—70° den Strom nur zu einem sehr kleinen Theil entwickelt, also z. B. von einem Muskel, der stromlos erschien, einen Ausschlag von nur 30° hervorlockt. Fährt man aber nur einmal mit demselben Muskel in Wasser von 75—80°, so wirft er die Nadel an die Hemmung.

Da der Muskel, in jedem einzelnen Versuche, vor dem Eintauchen stets die nämliche Temperatur besafs (etwa + 10° C.), so kann dieser Sprung auf nichts anderem beruhen als auf der Nothwendigkeit eines gewissen Temperaturgrades zur raschen Vernichtung der gesetzwidrig angeordneten elektromotorischen Kräfte am natürlichen Querschnitt, und es ist unmöglich dabei nicht zu bemerken das auffallende Zusammenreffen der Grenztemperatur, in Folge deren noch der Muskel die Nadel an die Hemmung wirft, mit derjenigen bei welcher das Eiweiß gerinnt. Die Folge wird übrigens lehren, dafs hier nicht zu denken ist an eine spezifische Wirkung der Temperaturerhöhung auf Aufhebung des durch Temperaturerniedrigung herbeigeführten parelektronomischen Zustandes.

Ist unsere Theorie richtig so ist ferner klar, geht der Entwicklungszustand des Stromes des einen Querschnittes den anderen Querschnitt nichts an. Bisher haben wir uns die Muskeln immer so vorgestellt, als seien die elektromotorischen Molekeln überall in ihrem Inneren nach gleichem Gesetz und folglich an ihren Endquerschnitten symmetrisch zur Mitte angeordnet. Im paralektronomischen Zustande ist offenbar dafür keine Nothwendigkeit mehr vorhanden. Ursprünglich zwar sind gewiss auch dann die elektromotorischen Molekeln symmetrisch angeordnet. Aber nichts kann uns verhindern, falls, wie gesagt, unsere Theorie sich ferner bewährt, den einen Querschnitt positiv oder neutral zu lassen, statt negativ, wie er sein sollte, dem anderen Querschnitt hingegen auf die eine oder die andere Art, mechanisch, chemisch, kautisch seine gesetzliche Negativität zu ertheilen. Alsdann werden also die beiden Querschnitte, anstatt sich gleichartig zu verhalten, miteinander ungleichartig sein, ja, falls der unentwickelt gebliebene sich positiv gegen den Längsschnitt verhält, ungleichartiger als jeder von ihnen mit dem Längsschnitt, gerade wie wir dies an unserer schematischen Vorrichtung oben S. 95 beobachtet haben, wenn nur der eine Querschnitt derselben mit einer gesetzwidrig angeordneten Molekelreihe versehen war.

Auch diese Folgerung nun ist es leicht durch den Versuch zu bewahrheiten. Um jenes Verhalten der Muskeln zu beobachten, kann man sich nicht wohl des Gastroknemius bedienen, an dessen oberem Ende der natürliche Querschnitt innerhalb des Muskelfleisches vergraben ist. Es giebt aber am Oberschenkel des Frosches drei Muskeln, die sich trefflich dazu eignen. Es sind dies der Biceps und die beiden leicht trennbaren Köpfe der Semitendinosus Cuv. (S. oben Bd. I. S. 497). Alle drei lassen sich mit sehnigen Enden dergestalt auflegen, daß an beiden Enden der natürliche Querschnitt sämmtlicher oder wenigstens der meisten Primitivmuskelbündel in der nämlichen Art frei von der Berührung mit den Bäuschen bleibt, wie die Ausbreitung der Achillessehne am Gastroknemius, der großen Strecksehne des Unterschenkels am Triceps Cuv. Diese Muskeln sind nämlich langgestreckten Cylindern mit parallelen sehr schräg angelegten Grundflächen zu vergleichen. Die Grundflächen sind die natürlichen Querschnitte. An dem von der Mitte des Muskels abgewandten Ende der großen Axe der Ellipse, welche die Grundflächen darstellen, sind die Sehnen befestigt, deren Ausbreitung die Grundflächen überzieht und die Enden der Primitivmuskelbündel an sich aufnimmt. Da beide Enden der Muskeln ziemlich symmetrisch gebaut sind, müßten sie, bei gleichem Entwicklungszustande ihres Stromes, sich einander im Grunde das Gleichgewicht halten. Indessen wiegt immer das eine oder das andere Ende mehr oder weniger vor.

Bepinselt man die untere Sehnenausbreitung eines jener Muskeln, während er im parelektronomischen Zustand aufliegt, mit einer entwickelnden Flüssigkeit, salpetersaurer Silberoxydlösung oder Kreosot, so entsteht ein Ausschlag in aufsteigender Richtung. Lässt man die Nadel zur Ruhe kommen und bepinselt sogleich oder beliebig lange Zeit darauf die obere Sehnenausbreitung mit der entwickelnden Flüssigkeit, so erfolgt ein Ausschlag in der entgegengesetzten, der absteigenden Richtung. Anstatt den ersten Querschnitt auf chemischem Wege negativ zu machen, kann man auch den Muskel quer durchschneiden. Auch dabei bleibt der andere Querschnitt ruhig in seinem Zustande unentwickelter Negativität und der Muskel befindet sich somit völlig in der Verfassung wie oben S. 95 unser Muskelschema, wenn es nur an dem einen Querschnitt eine Leiste mit gesetzwidrig gestellten Molekeln trug.

Nach alledem wird wohl nicht leicht Jemand noch bezweifeln wollen, dass wir wirklich mit unserer Theorie das Rechte getroffen haben. Nun wird man, mit Hinblick auf das Dasein einer gesetzwidrig angeordneten Schicht elektromotorischer Muskelmolekeln am natürlichen Querschnitt, den Namen gerechtfertigt finden, mit dem ich den in Rede stehenden Zustand der Muskeln belegt habe (Vergl. oben S. 38. 39).

Jetzt ist man im Stande den Vorbehalt zu würdigen, mit dem oben S. 38, als wir das positive Verhalten des natürlichen Querschnittes stark erkälteter Muskeln erkannt hatten, gesagt wurde, es befänden sich diese Muskeln im negativ peripolaren Zustande. Dieser Vorbehalt bezog sich, wie man sieht, auf die Lagerungsweise der Molekeln im Inneren des Muskels. In beiden Zuständen, dem hoch ausgebildeten parelektronomischen sowohl als dem negativ peripolaren, verhält sich der natürliche Querschnitt positiv, statt, wie er sollte, negativ gegen den Längsschnitt. Aber im negativ peripolaren Zustande thut dies auch jeder künstliche Querschnitt, im parelektronomischen Zustande thut es der natürliche Querschnitt allein.

Man sieht ferner, dass der Vorgang der Stromentwicklung im parelektronomischen Zustande nicht, wie es auf den ersten Blick den Anschein haben konnte, eine neue Bewegungserscheinung des Muskelstromes darstellt (Vergl. oben Bd. I. S. 581. Bd. II. Abth. I. S. 127. 142. 155). In der That geht dabei im Muskel so wenig eine Veränderung seiner elektrischen Kräfte vor sich, als wenn man den Muskelstrom in einem Kreise durch eine andere elektromotorische Kraft aufgewogen hätte, und nun diese wiederum schneller oder langsamer entfernte. Da es sich aber hier um keine Bewegungserscheinung handelt, so verliert der oben S. 38 bemerkte Umstand sein Auffallendes, dass auch der nicht mehr zuckungsfähige Muskel innerhalb gewisser Grenzen noch der Sitz einer Stromentwicklung werden könne.

Man sieht endlich, daß es in Wahrheit gar keinen Sinn hatte und daher ganz vergeblich war, in den Nerven nach den Spuren eines parelektronomischen Zustandes und einer Stromentwicklung wie in den Muskeln zu suchen (S. oben S. 38. 82). Denn der Sitz dieses Zustandes und des Vorganges, auf dem die Stromentwicklung beruht, ist einzig und allein der natürliche Querschnitt. Es gebriecht aber den Nerven an einem solchen, der zur Untersuchung geeignet wäre.

Die gesetzwidrig angeordnete Molekelschicht am natürlichen Querschnitt, welche positive Pole nach Außen kehrt, wollen wir fortan schlechthin als parelektronomische bezeichnen.

Es wird wohl nicht Einer das Verlangen tragen, daß diese Schicht mit dem Messer mechanisch isolirt, und dadurch ihr Dasein unmittelbarer, als bisher, nachgewiesen werde. Indessen läßt sich doch ein Versuch anstellen, der fast dasselbe leistet. Es gelingt nämlich leicht, mit Hülfe einer kleinen COOPER'schen Scheere, von Innen her das Muskelfleisch des Gastroknemius dergestalt von der Ausbreitung der Achillessehne abzutragen, daß diese Ausbreitung nur noch gleichsam mit den Stoppeln der als Halme gedachten, darin eingepflanzten Muskelbündel bedeckt zurückbleibt. Hier hat man nun, nach unserer Theorie, die parelektronomische Schicht, von Außen mit der Sehnenhaut, von Innen nur noch mit einer dünnen Schicht nicht dazugehöriger Muskelsubstanz überzogen. Bringt man den so zugerichteten sehnigen Ueberzug eines parelektronomischen Gastroknemius zwischen die mit Eiweißhäutchen bekleideten Bäusche, so daß der eine Bausch die innere, der andere die äußere Fläche des Ueberzuges berührt, so erfolgt ein heftiger Strom im Multiplicatorkreise in der Richtung von außen nach innen, ganz wie unsere Theorie es verlangt. Der Ausschlag kann stärker werden selbst als der, den man von kräftigen mit künstlichem Querschnitt aufgelegten Oberschenkelmuskeln erhält, nicht allein wegen der Positivität des natürlichen Querschnittes im Fall der Gastroknemius negativ wirksam war (Vergl. oben S. 95. 106), sondern auch bei nur stromloser Beschaffenheit desselben, also neutralem natürlichen Querschnitt, wegen des verhältnißmäßig so geringen Widerstandes des Kreises bei dieser Anordnung.

Uebrigens versteht es sich von selbst, daß die elektromotorische Wirkung eines dergestalt isolirten Ueberzuges sehr vergänglich ist. Denn die Negativität des künstlichen Querschnittes ist, wie wir von früherher wissen (S. oben Abth. I. S. 557), in raschem Sinken begriffen, hingegen die des natürlichen Querschnittes entwickelt sich durch das Hühner-eiweiß des Eiweißhäutchens (S. oben S. 53). Beide Querschnitte eilen demgemäß der Gleichartigkeit entgegen, und wie wir in der Folge

sehen werden, wird unter anderen Umständen dieser Punkt nicht allein erreicht, sondern sogar überschritten. Allein hier ist die Masse des Muskelfleisches im Vergleich zur Oberfläche, von deren sämtlichen Punkten verderbliche Einflüsse sie erreichen, so gering, daß ganz abgesehen von jenem Widerspiel elektromotorischer Kräfte, die Wirksamkeit der Anordnung bald völlig zu Grunde geht.

Ich habe diesen Versuch noch folgendermaßen weiter auszubeuten versucht. Ich brachte in den Multiplicatorkreis einen schräg durchschnittenen Semimembranosus Cuv., so daß auf der einen Seite Längsschnitt, auf der anderen Seite die scharfe Kante zwischen Längsschnitt und dem schrägen künstlichen Querschnitt berührte. Dieser Querschnitt hatte also im Kreise ungefähr die nämliche Anordnung, als der natürliche Querschnitt des Gastroknemius, und man erhält demgemäß einen starken Muskelstrom, der in den Muskel zu dem schräg abgeschnittenen Ende einkehrt. Wir haben diese Anordnung schon bei einer früheren Gelegenheit einmal benutzt (S. oben S. 78). Ich hoffte nun, daß, wenn ich den schrägen künstlichen Querschnitt mit dem auf die eben beschriebene Art dargestellten sehnigen Ueberzuge eines parelektronomischen Gastroknemius bekleidete, der Muskel dadurch gewissermaßen künstlich parelektronomisch gemacht sein würde. Es mußte also beim Auflegen des sehnigen Ueberzuges ein negativer Ausschlag erfolgen, beim Entfernen oder beim Benetzen desselben mit einer entwickelnden Flüssigkeit ein positiver Ausschlag. Ferner erwartete ich, daß, wenn ich den sehnigen Ueberzug dem schrägen künstlichen Querschnitt mit der Innenfläche nach außen, also verkehrt, anlegte, ein positiver Ausschlag erfolgen würde, beim Entfernen aber ein negativer. Bei dieser Anordnung mußten nämlich die Kräfte der parelektronomischen Schicht, statt sich von denen des Muskels abzuziehen, vielmehr dazu hinzufügen.

Indessen gelangte ich nicht zum Ziele. Ich beobachtete zwar mehrmals die erwarteten Wirkungen, aber fast ebensooft blieben sie aus oder hatten die entgegengesetzte Richtung. Nicht besser glückte der Versuch in einer anderen, wie ich meinte einfacheren Form, die ich ihm noch ertheilte. Sie bestand darin daß ich, wie oben S. 100, einen Gastroknemius im Multiplicatorkreise ausspannte, einen Lappen aus seinem sehnigen Ueberzuge ausschnitt, und die Wirkungen beobachtete, welche erfolgten, wenn ich den Lappen entweder möglichst genau in seine ursprüngliche Lage zurückbrachte, oder ihn umwendete, so daß seine Außenseite nach innen zu liegen kam. Es ergab sich aber dabei der große Uebelstand, daß der von dem Muskel im ausgedehnten Zustande getrennte Lappen seine Gestalt und Größe völlig veränderte, so daß er nicht mehr auf die Wunde paßte.

Es wäre ungerecht, aus dem Mißlingen dieser schwierigen Versuche einen Schluß ziehen zu wollen gegen unsere sonst so wohl bewährte Theorie des parelektromischen Zustandes. Es lassen sich für jenes Mißlingen andere Gründe genug angeben. Der sehnige Ueberzug rollt sich ein; er bildet zugleich Nebenschließung; seine Kraft ist zu ver­gänglich; der künstliche Querschnitt daran besitzt nicht denselben Grad der Negativität mit dem des Muskels, theils weil er unter der Zurichtung mehr oder weniger gelitten hat als jener, theils weil die Ebene des Querschnittes nicht an beiden denselben Winkel mit der Richtung der Fasern macht. Alles dies vereinigt sich, um, bald in dem einen, bald in dem anderen Sinne, dem theoretisch vorausgesehenen Erfolge in den Weg zu treten.

Ich habe natürlich nicht unterlassen, mit dem Mikroskop nachzu­sehen, ob das an die Sehnausbreitung stoßende Ende der Primitiv­muskelbündel, mit dessen Anblick ich wohl vertraut bin, im parelektro­nomischen Zustande eine Veränderung darbieten würde.

Man stellt diese Untersuchung am besten an, indem man sich zuerst auf die Abth. I. S. 97 beschriebene Art einen künstlichen Längsschnitt verschafft, der die sehnige Ausbreitung der Länge nach hälftet. Von dem an die sehnige Ausbreitung stoßenden Rande eines solchen Längs­schnittes ist es leicht, mittelst einer feinen COOPER'schen Scheere dünne Muskelscheiben abzuschneiden, die zwischen zwei künstlichen Längs­schnitten eingeschlossen und an einem Theil ihres Umfanges, wie eine Brodschnitte mit der Rinde, mit dem sehnigen Ueberzug versehen sind. KÖLLIKER hat bereits ein solches Präparat aus dem Gastroknemius des Menschen abgebildet.¹ Dafs die Querstreifen in seiner Zeichnung nicht senkrecht auf die Axe der Primitivbündel verlaufen, ist wohl nur ein Versehen des Holzschneiders. Auffallend aber ist mir, dafs KÖLLIKER die Muskelbündel abgerundet spitz und einander stufenförmig überragend an der sehnigen Ausbreitung enden läßt. An den Muskeln des Frosches sehe ich sie, wie ich dies oben S. 58 bereits beschrieben habe und nachträglich in Fig. 144 Taf. V. aus dem Triceps Cuv. bei 180maliger Vergrößerung darstelle, vielmehr in einer Flucht scharf abgeschnitten. Ich gestehe indessen gern, dafs es mir nicht gelungen ist, mir von dem Verhalten beim Menschen ein klares Bild zu verschaffen, wo also KÖL­LIKER im Recht sein mag.

Was nun die hier gestellte Frage betrifft, so hat es mir bisher noch nicht gelingen wollen, an den Enden der Primitivmuskelbündel eine Veränderung, z. B. ihrer Querstreifung, wahrzunehmen, die ich

¹ Mikroskopische Anatomie u. s. w. Leipzig 1850. Bd. II. S. 219. Fig. 63 A. *

hätte auf den parelektronomischen Zustand beziehen können. Jedenfalls könnte eine sich kundgebende Veränderung der Art nur eine gradweise sein, da, wie bereits erwähnt wurde (S. oben S. 81) und wie die nächste Folge darthun wird, die Muskeln sich stets und unter allen Umständen auf einer gewissen Stufe des parelektronomischen Zustandes befinden.

Auf diesem Wege wird sich eine nähere Kenntniß der parelektronomischen Schicht wohl nicht leicht erwerben lassen. Leider ist uns aber auch fast jeder andere Weg hiezu verschlossen. Es fehlt nicht nur noch an jeder thatsächlichen Grundlage, um zu entscheiden zwischen den verschiedenen Möglichkeiten, die oben S. 91 hinsichtlich ihres Baues erkannt wurden, sondern es ist auch nicht abzusehen, wie eine solche Grundlage je solle erworben werden. Ein nicht unwichtiger Wink würde sich allenfalls der Thatsache entnehmen lassen, die aber selbst nicht hinreichend feststeht, daß die negative Wirkung vor der Entwicklung die positive nach der Entwicklung an Gröfse übertreffen kann. Dies würde, wie schon oben S. 103 bemerkt wurde, dahin zu deuten sein, daß die parelektronomische Schicht in solchem Falle aus einem mehrfachen Ueberzuge dipolarer Molekeln besteht, die sämtlich positive Pole nach Ausen kehren. Ein anderer Wink würde aus der verschiedenen Zeit folgen, die zwei Muskeln, auf verschiedenen Stufen des parelektronomischen Zustandes, vielleicht brauchen, um durch dieselbe Flüssigkeit bis zum Grenzwerthe der Entwicklung gebracht zu werden, den diese Flüssigkeit herbeizuführen vermag. Fände man, daß der mehr parelektronomische Muskel hiezu mehr Zeit braucht als der minder parelektronomische, so würde man einigermaßen berechtigt sein zu dem Schlusse, daß die parelektronomische Schicht, je höher sie entwickelt ist, um so dicker wird. Denn nur auf eine gröfsere Tiefe, in welche die entwickelnde Flüssigkeit eindringen muß, liefse sich die Verzögerung des Eintretens der Grenzwirkung deuten.

Ich habe dies folgendermaßen in's Werk zu setzen versucht. Ich nahm zwei Gastroknemien, von denen der eine stark negativ, der andere noch ziemlich kräftig positiv wirkte. Diese Muskeln tauchte ich gleiche Zeiten hindurch in Kochsalzlösung, wusch sie und trocknete sie in übereinstimmender Weise, prüfte sie auf ihren Strom, wiederholte dieselbe Operation von Anfang an noch einmal und sah zu, ob vielleicht durch das zweite Soolbad der mehr parelektronomische Gastroknemius noch an positivem Strome gewonnen hätte, während der minder parelektronomische bereits durch das erste Soolbad seinen vollen Strom, soweit die Kochsalzlösung ihn zu entwickeln vermag, erhalten haben sollte. Einmal habe ich diesen Erfolg wirklich beobachtet. Aus

Gründen aber, die sich später ergeben werden, habe ich diesen Versuch, dessen Schwierigkeiten ohnedies sehr groß sind, noch nicht oft genug wiederholen können, um bereits ein bestimmtes Urtheil zu fällen.

(iv) *Schlussbemerkungen zur Theorie des parelektronomischen Zustandes der Muskeln.*

Schwerlich möchte es endlich jetzt noch nöthig sein, zurückzukommen auf die Widerlegung jener Ansicht vom parelektronomischen Zustande, die wir in der vorigen Nummer (9) bekämpften, und wonach auch in diesem Zustande die elektromotorische Beschaffenheit des künstlichen Querschnittes stets gleichen Schritt halten würde mit der des natürlichen. Indessen ist das Vorbestehen der Negativität des künstlichen Querschnittes im Muskel ein Punkt von zu großem Belang, um zu seiner Feststellung nicht auch das Ueberflüssige zu thun.

A. a. O. wurde gezeigt, daß weder bei der Prüfung, noch bei der Herstellung des künstlichen Querschnittes dieser erweisbar von irgend einem entwickelnden Einfluß betroffen werde, daß es folglich gar keinen Grund gebe zu der Annahme, daß er nicht bereits im unversehrten Muskelinneren seine volle Negativität besitze. Schliesslich wurde hingewiesen auf die Unmöglichkeit sich bei dieser Annahme eine irgend läßliche Vorstellung zurechtzulegen von den Erscheinungen des parelektronomischen Zustandes, im Gegensatze zu der Leichtigkeit und Einfachheit, womit dies von Statten ginge bei der entgegenstehenden Ansicht, welche die Negativität des künstlichen Querschnittes als im Muskelinneren vorgebildet annimmt. Ueber diese Einfachheit und Leichtigkeit zu urtheilen ist der Leser jetzt in Stand gesetzt. Es würde übrig bleiben, ihm ein Bild von jenen Schwierigkeiten zu entwerfen.

Setzen wir also für einen Augenblick eine stete Uebereinstimmung im elektromotorischen Verhalten des künstlichen und des natürlichen Querschnittes auch im parelektronomischen Zustande wieder voraus, wie wir dies oben S. 74. 75 bereits thaten. Da stark erkältete Muskeln negativ wirken, so ist es klar, daß man bei dieser Vorstellung so wenig als bei irgend einer anderen, die man noch erfinden wollte, eine Veränderung der elektromotorischen Kräfte der Molekeln im parelektronomischen Zustande, sondern nur eine verschiedene Anordnung derselben voraussetzen kann (Vergl. oben S. 87). Man ist also geradesweges gezwungen zu der Annahme, auf die sich, wie so eben (S. 107) erinnert wurde, der oben S. 38 ausgesprochene Vorbehalt bezog. An dem im parelektronomisch negativ wirksamen Muskel müßte sich die negativ peripolare Anordnung auf die ganze Masse des Muskels erstrecken. Am unwirksamen Muskel fände sich die positiv und die negativ peripolare

Anordnung in gleichem Mafse vertheilt vor, so dafs jeder künstliche Querschnitt gleichviel positive Pole negativ peripolarer, und negative Pole positiv peripolarer Gruppen enthielte, und so fort für die übrigen schwächer negativ oder bereits positiv wirksamen Zustände des Muskels.

Um nun den Entwicklungsvorgang des Stromes zu erklären, müfste man sich vorstellen, dafs eine jede Verletzung des natürlichen Querschnittes, sei sie mechanisch, chemisch oder kaustisch, die unregelmäßige Anordnung der elektromotorischen Muskelmolekeln in eine regelmäfsig wirkende zu verwandeln vermöge. Die Verletzung müfste also entweder durch die ganze Masse des Muskels hindurch die positiv peripolare Anordnung zuwege bringen, oder, da sich dies nicht wohl verträgt mit der von uns nachgewiesenen Unabhängigkeit der Entwicklungszustände beider Querschnitte von einander, es müfste die Verletzung die dipolaren Molekeln in ihrer Nachbarschaft zwingen, in ein- oder mehrfacher Schicht negative Pole nach Ausen zu kehren oder zu einer mehrfachen Schicht positiv peripolarer Gruppen sich zu vereinigen.

Man wird gestehen, dafs dies viel verlangt ist, und ich glaube, dafs es eben nur der Schilderung dieser Sachlage bedarf, um die Wage für die andere Theorie nochmals und ohne weitere Anrufung ausschlagen zu machen. Sollte es ja einen Punkt geben, woran sich die Vorstellung von der Nothwendigkeit einer Stromentwicklung auch am künstlichen Querschnitt noch klammern könnte, und über den man wünschen dürfte, noch klarere Auskunft zu erhalten, so wäre es vielleicht jener leichte positive Ausschlag, der sich kundgiebt, wenn querdurchschnittene Muskeln oder Nerven mit Punkten des Längsschnittes aufgelegt sind und der künstliche Querschnitt mit einer nichtleitenden starkentwickelnden Flüssigkeit benetzt wird. Oben S. 80. 81 waren wir hinsichtlich dieses Umstandes dabei stehen geblieben, dafs er möglicherweise herrühre von der Verkürzung des Abstandes zwischen dem Endquerschnitt und dem nächsten Ableitungspunkte am Längsschnitt, indem durch das Anätzen eine mehr oder minder dicke Schicht am Querschnitt aufser Thätigkeit gesetzt werde. Jetzt aber läfst sich vielleicht, und zwar wiederum auf Grund unserer Theorie des parelektronomischen Zustandes, eine weit bessere Erklärung nicht an die Stelle jener, sondern ihr zur Seite setzen.

Man erinnert sich von vielen früheren Gelegenheiten her der Wahrnehmung, dafs der Strom des künstlichen Querschnittes der Muskeln und Nerven in den ersten Augenblicken nach der Herstellung in raschem Sinken begriffen ist, und sich sofort wieder zur früheren Stärke erhebt, wenn der Querschnitt angefrischt wird (Vergl. oben Abth. I. S. 557).

Oben Bd. I. S. 714 hatten wir dies Wogen der Kraft des künstlichen Querschnittes vorläufig so erklärt, daß eine Schicht desselben durch Absterben schnell ihre elektromotorischen Eigenschaften einbüße, und nun die Wirksamkeit des thierischen Erregers erstlich als eingeschalteter Widerstand, zweitens aber dadurch beeinträchtigt, daß sie seine wirksame Ausdehnung verkürze. Oben Abth. I. S. 556. 557 hatten wir sodann die Erscheinung schon anders aufzufassen vermocht, in einer Art, welche der jetzt darzulegenden bereits ganz nahe verwandt ist. Wir deuteten nämlich an, daß die äußerste Schicht dipolarer Molekeln, welche, mit der darunter gelegenen in positiv peripolarer Verbindung begriffen, negative Pole nach Außen kehrt, vielleicht theilweise unwirksam werde in Folge der verderblichen Einflüsse der Herstellung und Prüfung des Querschnittes. Dies würde natürlich eine Schwächung des positiven Stromes nach sich ziehen, der durch Anfrischen des Querschnittes abgeholfen werden könnte.

Mit demselben Erfolge und mehr Wahrscheinlichkeit kann man sich die Schwächung des positiven Stromes jedoch bedingt vorstellen dadurch, daß in Folge der Mißhandlung der Muskel- oder Nervensubstanz, welche an den künstlichen Querschnitt stößt, die dipolaren Molekeln zum Theil die negativ peripolare Anordnung angenommen haben, wie wir dies an Nerven und Muskeln ja noch sonst vielfach beobachtet haben. Die Erklärung der Hebung des Stromes durch Anfrischen des künstlichen Querschnittes bleibt dabei die nämliche wie vorher.

Man sieht nun aber, daß der Vorgang, den wir hier voraussetzen, physikalisch ganz der nämliche ist, als der an einem parelektronischen Muskel, an dem der natürliche Querschnitt, der Sitz gesetzwidrig angeordneter Kräfte, auf mechanischem Wege entfernt wird. Der künstliche Querschnitt überzieht sich in Folge der Mißhandlung mit einer Art von parelektronischer Schicht, die seinen Strom durch ihr Widerspiel schwächt. Wir schälen sie ab, und auf Augenblicke, bis zur Neubildung der künstlichen parelektronischen Schicht, erlangt der Strom wieder seine frühere Stärke, entsprechend dem Grenzwert der positiven Wirksamkeit des Muskels oder Nerven.

Es ist aber klar, daß wir, wenn diese Lehre richtig ist, eine Hebung des Stromes auch werden bewirken können dadurch, daß wir den künstlichen Querschnitt anätzen, gerade wie wir den Strom des natürlichen Querschnittes zur Entwicklung brachten durch Benetzen des sehnigen Ueberzuges mit einem Aetzmittel. So ist also die positive Wirkung, die man beim Anätzen des künstlichen Querschnittes eines mit Punkten des Längsschnittes aufliegenden Muskels oder Nerven erhält, leicht und ungezwungen zu erklären. Die größere Wirksamkeit

der salpetersauren Silberoxydlösung in Vergleich zum Kreosot bei diesem Versuch (S. oben S. 80) stimmt völlig auch mit dieser Erklärung. Es ist demnach im Versuch wirklich eine Entwicklungsfähigkeit der Negativität des künstlichen Querschnittes vorhanden, aber nicht in dem Sinne als sei diese Negativität nicht im Inneren des Muskels vorgebildet; sondern die Entwicklungsfähigkeit selber dieser Negativität ist nicht darin vorgebildet, sie ist es, die erst der künstlichen Entwicklung in jenem Sinne bedarf.

Beiläufig gesagt, gelingt denn auch die Hebung des Stromes des künstlichen Querschnittes der Muskeln mit Hilfe der Verbrennung des Querschnittes durch eine heiße Scherbe oder einen Tropfen heißen Oeles, ebenso gut wie durch chemisches Anätzen oder mechanisches Anfrischen (Vergl. oben S. 104). Die Wirksamkeit aber sowohl des Anätzens als der Verbrennung steht auch hier immer der des mechanischen Anfrischens nach, gerade wie das Anätzen und Verbrennen des natürlichen Querschnittes den Strom nicht so hoch zu entwickeln vermag als die mechanische Darstellung eines künstlichen Querschnittes, wodurch überall der Grenzwert der positiven Wirksamkeit herbeigeführt wird.

An den Nerven habe ich diesen Versuch zwar auch angestellt, und mit dem nämlichen Erfolge, nämlich eines positiven Ausschlages im Augenblicke des Benetzens des künstlichen Querschnittes mit einem Tropfen heißen Oeles. Allein ich wage nicht, diesen Erfolg für gleichbedeutend auszugeben mit dem unter denselben Umständen am Muskel beobachteten. Denn der Nerv schrumpft im Augenblick der Berührung mit dem Oel so heftig zusammen, daß sein Querschnitt sich dabei bedeutend dem nächsten Ableitungspunkte am Längsschnitt nähert, was gleichfalls eine positive Wirkung nach sich ziehen muß. Bei Anwendung der heißen Scherbe vollends ist diese Wirkung so bedeutend, daß der Versuch unausführbar gemacht wird, indem der Nerv sich vom Bausch abhebt und außerdem noch an der Scherbe anklebt. Da aber die Entfernung des künstlichen Querschnittes von dem nächsten Ableitungspunkte bei diesem Versuch so gering wie möglich sein muß, so geht es nicht an, den Nerven, wie wir sonst zu thun pflegen (Vergl. Abth. I. S. 53. Taf. III. Fig. 110 A. Taf. IV. Fig. 129. 130), zwischen der von der Hitze betroffenen Stelle und dem Bausch auf einem Korksteg mittelst Insectennadeln festzustecken.

Somit hat sich also unsere Theorie der elektromotorischen Erscheinungen der Muskeln abermals siegreich bewährt auch gegenüber diesem neuen, beim ersten Anblick so unüberwindlich räthselhaften Complex von Erscheinungen, dem parelektronomischen Zustande und der Stromentwicklung darin. Es gehen aber hieraus, für jene Theorie

selber, nunmehr einige Folgerungen hervor, die wir nicht unbemerkt lassen dürfen.

Diese Folgerungen laufen auf nichts geringeres hinaus, als darauf, die Anordnung der elektrischen Kräfte im Muskel etwas näher zu bestimmen, als es bisher geschehen konnte. Sie knüpfen an die Unmöglichkeit an, in der wir uns oben S. 91. 92 befunden haben, die Erscheinungen des parelektronomischen Zustandes nachzuahmen mit Hülfe des im ersten Bande schliesslich festgestellten Muskelschema's nach der Molecularhypothese. Dies Unternehmen scheiterte daran, dass, bei Umkehr aller Zeichen in der den Querschnitt begrenzenden Schicht peripolarer Gruppen, der Querschnitt mit dem Längsschnitt gleichartig wurde. Es konnte folglich niemals, wie an den stark parelektronomischen Muskeln, eine negative Wirkung von dem Schema erzielt werden, sondern höchstens wurde die Vorrichtung unwirksam. Der Grund dieses Verhaltens ist der, dass der Längs- und Querschnitt an unserem Schema, bis auf die Verwechslung aller Zeichen, einerlei Bau darbieten. Der Längsschnitt kehrt eine überwiegende Zink-, der Querschnitt eine im gleichen Mafß überwiegende Kupferfläche in's Freie. Der erstere besitzt wirklich positive, der Querschnitt negative Spannung.

In den Muskeln kann die Anordnung, wie man jetzt erkennt, nicht dieselbe sein. Sie muß der Art sein, dass der Querschnitt, durch eine bloße Veränderung seiner Oberfläche, ebenso stark positiv erscheinen könne gegen den Längsschnitt, als er vorher negativ war. Soll folglich durch eine bloße Verwechslung der Zeichen, ohne sonstige Veränderung des Baues, der Querschnitt seine elektrische Beschaffenheit gegen den Längsschnitt umkehren können, so muß der Längsschnitt ganz neutral sein, und der elektrische Gegensatz zwischen Längs- und Querschnitt dadurch zu Stande kommen, dass der Querschnitt negative oder positive Spannung besitzt.

Wir sind folglich gezwungen, das Bild, welches wir uns im ersten Bande von der Anordnung der elektrischen Kräfte im Muskel gemacht hatten, etwas zu verändern. Das damals zu Stande gebrachte Muskelschema nach der Molecularhypothese ist nicht länger stichhaltig. Der S. 671. 672. 680 daselbst aufgestellte Grundsatz: dass die elektromotorischen Muskelemente sonst ganz beliebig beschaffen sein könnten, wofür sie nur zwei negative Polar- und eine positive Aequatorialzone besitzen, dieser Grundsatz muß eine Einschränkung erleiden. Die Elemente müssen vielmehr so gebaut sein, dass sie am Längsschnitt eine im Ganzen genommen neutrale, am Querschnitt hingegen eine mit beliebiger elektrischer Spannung ausgerüstete Begrenzung bei ihrer Zusammenfügung darstellen.

Die Folge wird, wie schon mehrmals angedeutet wurde, keinen Zweifel darüber lassen, daß die peripolaren elektromotorischen Muskelmolekeln, gleich denen der Nerven, in dipolare Molekeln zerfallbar sind (Vergl. oben S. 88). Versucht man nun aber dipolare Molekeln peripolar zusammenzufügen dergestalt, daß sie der eben hingestellten Bedingung Genüge leisten, so wird man unausweichlich geführt auf die Fig. 107 A. Taf. III. dieses Bandes abgebildete Lagerungsweise. Dieser Lagerungsweise haben wir oben Abth. I. S. 323, als es sich zuerst darum handelte, peripolare Gruppen aus dipolaren Molekeln aufzubauen, nur deshalb den Vorzug geschenkt, weil sie die einfachste ist, die sich ersinnen läßt. Sonst anerkannten wir daselbst noch die Möglichkeit unendlich vieler verschiedener Lagerungsweisen der dipolaren Molekeln im Nerven, die alle in gleicher Art dem Grundsatz der peripolaren Anordnung genügen, einen positiven Aequator und zwei negative Polarzonen darzubieten.

Jetzt zeigt es sich aber, daß jene Art und Weise der Lagerung nicht allein den Vorzug besitzt, die einfachste zu sein, wie aus dipolaren Molekeln peripolare Gruppen entstehen, sondern daß sich auch wenigstens für die Muskeln bestimmte Gründe angeben lassen, weshalb diese, und keine andere Lagerungsweise der Molekeln in Wirklichkeit stattfinden könne. Somit stellen wir also das oben S. 93 beschriebene, Fig. 143. Taf. V. abgebildete Muskelschema nunmehr als das einzig gültige hin, welches sich denn auch im Stande gezeigt hat, alle Erscheinungen des parelektronomischen Zustandes mit soviel Treue wiederzugeben, als die Natur der Dinge eben gestattet.

11. Von den Umständen, welche von Einfluss sind auf die Bildung und Rückbildung der parelektronomischen Schicht.

Ueber das Wesen des parelektronomischen Zustandes sind wir nunmehr in's Reine gekommen. Wir haben in Erfahrung gebracht, daß die Erscheinungen dieses Zustandes beruhen auf der Gegenwart einer Schicht gesetzwidrig angeordneter elektromotorischer Molekeln am natürlichen Querschnitt, welche, indem sie positive Pole in größerer oder geringerer Anzahl nach Außen kehren, den negativen Polen der darunter gelegenen positiv peripolaren Gruppen bald stärker, bald schwächer entgegenwirken. Durch Zerstörung dieser Schicht auf irgend welche Art sind wir im Stande, den gewohnten Gegensatz zwischen Längs- und Querschnitt rein hervortreten zu lassen.

Jetzt würde es an der Zeit sein, den Bedingungen etwas näher nachzuforschen, welche der Bildung und Rückbildung der parelektro-

nomischen Schicht vorstehen. Dies wird nämlich der Weg sein, der, wenn es uns gelingt darauf vorzudringen, uns über die physiologische Bedeutung des *parelektronomischen* Zustandes, wonach wir jetzt zu streben haben, am ehsten Aufschluß verschaffen muß. Ich habe indess in dieser Untersuchung erst sehr geringe Fortschritte gemacht, theils, weil ich noch nicht Zeit gefunden habe, mich zusammenhängend damit zu beschäftigen, theils wegen der unerwarteten Schwierigkeiten, auf die ich dabei gestossen bin. Abgesehen von einer wichtigen Grundthatsache, die ich sogleich darlegen werde, habe ich somit hier nur wenig mehr mitzutheilen als die Fragen selber, die zu beantworten sein würden, und die Erörterung der dabei anzuwendenden Methoden.

(i) Alle Muskeln aller Thiere befinden sich stets auf einer mehr oder weniger hohen Stufe des *parelektronomischen* Zustandes.

Die Vorstellung, die wir uns bis jetzt von dem *parelektronomischen* Zustande gemacht haben, ist die, daß es ein abnormer, durch die Kälte herbeigeführter Zustand der Muskeln sei. Diese Vorstellung ist falsch. Zwar nicht in sofern, als es auch andere Einflüsse giebt, welche jenen Zustand zur Folge haben; denn, wenn es wirklich dergleichen giebt, was uns nachzuweisen nicht gelingen wird, so stehen sie der Kälte an Wirksamkeit wenigstens unvergleichlich nach. Jene Vorstellung war aber falsch in sofern, als, wie ich jetzt zeigen werde, der *parelektronomische* Zustand gar kein besonderer, abnormer Zustand der Muskeln ist, vielmehr nur in der Steigerung eines Verhaltens besteht, welches allen Muskeln aller Thiere fortwährend zukommt. In der That, alle Muskeln aller Thiere befinden sich fortwährend auf einer mehr oder weniger hohen Stufe des *parelektronomischen* Zustandes, ohne daß irgend eine in die Sinne fallende Ursach auf sie eingewirkt hätte.

Was zuerst die Muskeln des Frosches betrifft, so hat man, auch ohne irgend künstlichere Versuchsweisen zu Hülfe zu nehmen, häufig Gelegenheit zu Beobachtungen, in denen sich dies ausspricht. Also z. B. die größere Stärke des vom künstlichen Querschnitt gewonnenen Muskelstromes im Vergleich zu dem vom natürlichen Querschnitt gewonnenen ist oft augenfällig. Auch kommt es vor, wenn man *Gastroknemien* nicht erkälteter Frösche, die bei mittlerer Temperatur gefangen und aufbewahrt sind, mit natürlichem Längs- und Querschnitt auf die Bäume bringt, daß sich die Nadel ungemein langsam vom Nullpunkt entfernt, aber dann schneller und schneller der Hemmung zueilt. Eine Beschleunigung der Bewegung der Nadel bis zu dem Punkte des zeitigen Gleichgewichtes zwischen Strom- und Erdkraft muß freilich auch bei beständigem, ja bei abnehmendem Strome stattfinden. Allein die hier

beschriebene Art der Beschleunigung erfolgt doch nach einem zu abweichenden Gesetze, um von einem geübten Auge mit jener natürlichen verwechselt zu werden. Ohnehin kommt sie niemals vor, wenn die Muskeln, statt mit natürlichem, mit künstlichem Querschnitt oder mit sehnigen Enden aufgelegt worden. Sie kann demnach ihren Grund kaum in etwas anderem haben, als in einem Anschwellen des Stromes in den ersten Augenblicken nach dem Auflegen, welches seinerseits von nichts herrührt, als von dem Angriff des natürlichen Querschnittes durch die Flüssigkeit der feuchten Multiplicatorenden, Eiweiß oder Kochsalzlösung. Endlich wenn man einmal die Empfindlichkeit des Multiplicators durch Anwendung nur der halben Länge und Vorlegen einer Nebenschließung hinlänglich mäfsigt, damit die Ausschläge nicht mehr in zu hohe Breiten der Theilung reichen, geschweige die Nadel an die Hemmung führen, so ist es ganz gewöhnlich, dafs man mit natürlichem Längs- und Querschnitt aufgelegte Gastroknemien bei der zweiten, dritten . . . Prüfung einen stärkeren Ausschlag geben sieht als bei der ersten, obschon die Frösche weder der Kälte noch sonst irgend welchem besonderen Einflufs ausgesetzt waren.

Wir sind aber, durch die Ergebnisse der vorigen Untersuchungen, in Stand gesetzt, diesen Beobachtungen eine viel sicherere Gestalt zu verleihen. Dazu ist nur nöthig, einen Muskel, der auf parelektronomischen Zustand geprüft werden soll, mit sehnigen Enden aufzulegen, die Nadel in beständiger Ablenkung zur Ruhe kommen zu lassen, und den natürlichen Querschnitt des Muskels alsdann mit einer nicht leitenden kräftig entwickelnden Flüssigkeit, am besten Kreosot, zu benetzen. Findet kein positiver Ausschlag statt, so war kein parelektronomischer Zustand vorhanden; im anderen Falle war dergleichen da (Vergl. oben S. 77).

Ich habe, seitdem ich im Besitz dieses Verfahrens bin, die Gastroknemien unzähliger Frösche unter den günstigsten Umständen in dieser Weise untersucht. Um ganz sicher zu sein, dafs die Frösche von dem Augenblick des Fanges an bis zu dem der Prüfung durchaus keinem besonderen Einflufs ausgesetzt gewesen seien, begab ich mich selber einmal im Sommer oberhalb der Stadt an die Spree, liefs die Frösche vor meinen Augen fangen, was durch Greifen mit den Händen geschah, trug sie von Stralow behutsam bis zum Stadthor und fuhr damit nach meiner Wohnung, wo ihre Gastroknemien im Mittel kaum zwei Stunden nach dem Fang den Kreis meines Multiplicators schlossen. Die Lufttemperatur im Schatten betrug zur Zeit des Fanges etwa 23° C., die der Spree 21°. Es konnte also hier von Erkältung nicht die Rede sein. Nichtsdestoweniger erhielt ich beim Benetzen des natürlichen Querschnittes

tes mit Kreosot, nachdem die Nadel zur Ruhe gekommen war, stets einen mehr oder minder heftigen positiven Ausschlag, zum unwidersprechlichen Beweise, daß parelektronomischer Zustand in größerem oder geringerem Mafse vorhanden war.

Man könnte sich nun mit Befremden der Angabe MATTEUCCI's erinnern, wonach der Froschstrom im Frühling und Sommer an kräftigen Fröschen den Muskelstrom an Stärke übertreffen, und erst die Kälte letzterem das Uebergewicht verschaffen soll (S. oben S. 30). Indessen eine nähere Betrachtung der Versuche, worauf diese Behauptung sich gründet, läßt sie als ebenso unzuverlässig erkennen, als die meisten anderen Aussagen ihres Urhebers.

Bereits im Jahr 1842 schneidet MATTEUCCI Froschbeine im Oberschenkel quer durch, und setzt daraus Säulen zusammen, indem er den Oberschenkelstumpf des einen Beines an die Fußwurzel des nächstfolgenden stoßen läßt. In solchen Säulen wirken sich, seiner damaligen Vorstellung nach, der allgemeine, hier absteigende Muskelstrom (courant musculaire) und der im Unterschenkel entspringende aufsteigende Froschstrom (courant propre) entgegen. Der Strom ist aufsteigend, folglich sei der Froschstrom stärker als der Muskelstrom.¹ CIMA bestätigt dies Ergebnifs und sagt, daß es abhängt »dal contatto più perfetto che esiste »tra il parenchima del muscolo e il tendine, che tra la superficie interna »scoperta del muscolo e i conduttori liquidi o solidi di cui ci serviamo »per istabilire il circuito.«² CIMA übersieht dabei, daß in einem Kreise, in dem elektromotorische Kräfte einander entgegenwirken, das Zeichen der Resultante unabhängig vom Widerstande ist, weil dieser sämtliche Componenten in gleichem Mafse schwächt (Vergl. oben Bd. I. S. 243. 244).

Obschon nun dergestalt MATTEUCCI und CIMA die größere Stärke des Froschstromes im Vergleich zum Muskelstrom unter gewissen Umständen behaupten, berichten sowohl CIMA als MATTEUCCI³ zugleich, daß der aufsteigende Strom von Unterschenkeln sehr an Stärke zunehme, wenn man den Gastroknemien die Ausbreitung der Achillessehne abschäle. MATTEUCCI legt diese Thatsache dahin aus, daß alsdann der Froschstrom und der allgemeine Muskelstrom sich in den Unterschenkeln summiren (S. oben Bd. I. S. 529). CIMA sieht wenigstens die Thorheit

¹ S. oben Bd. I. S. 529. 530. 531 (6). — *Traité etc.* p. 116. Pl. II. Fig. 22.* In der Figur sind sich die beiden Pfeile, die die Richtung des Stromes angeben, entgegen gerichtet. Dem Texte nach ist der abwärts gerichtete Pfeil umzukehren.

² *Saggio storico-critico ec.* Ivi, p. 509. 551.*

³ *Archives de l'Électricité.* 1842. t. II. p. 431. 440;* — *Annales de Chimie et de Physique.* Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 318. 324;* — *Traité etc.* p. 105. 108.*

dieser Vorstellungsweise ein. Er hält die Ströme, die man vor und nach dem Abschälen der Sehne erhält, für einerlei. Um aber die Verstärkung durch das Abschälen zu erklären, nimmt CIMA diesmal seine Zuflucht »alla più perfetta comunicazione che può stabilirsi tra i diversi elementi della pila, allorchè i muscoli suddetti sono privi della loro parte tendinosa.«¹ Es fällt ihm dabei nicht auf, daß er anderwärts (S. oben) gerade die entgegengesetzte Thatsache behauptet und sie mit Hülfe gerade der entgegengesetzten Annahme erklärt hat.

Bis zum Jahr 1845 hat MATTEUCCI auf seiner Aussage beharrt, daß der Froschstrom den Muskelstrom an Stärke übertreffe (S. oben S. 30). In seinen *Leçons sur les Phénomènes physiques des Corps vivants* (Paris 1847) aber heißt es p. 271° plötzlich: »Il est désormais hors de doute, d'après mes dernières expériences, qu'à nombre égal d'éléments, pris sur les mêmes grenouilles, le courant musculaire est plus énergique que le courant propre . . . Ce n'est qu'avec des grenouilles très-vivaces, en coupant la cuisse très-haut, et en ne laissant qu'une petite partie de la superficie de l'intérieur du muscle à découvrir, que l'on ne trouve aucun signe de courant différentiel, ou bien qu'il existe dans le sens du courant propre. Tel fut le fait dont je m'aperçus dans mes premières expériences, et que je m'explique maintenant d'une manière plus satisfaisante après mes derniers travaux, en réfléchissant qu'en laissant la cuisse presque entière, on a deux éléments, c'est-à-dire les muscles de la jambe et ceux de la cuisse qui donnent un courant dirigé dans le même sens, tandis que l'élément musculaire qui fournit celui en sens contraire est unique.«

Unter diesen Umständen versteht es sich von selbst, daß die frühere Behauptung MATTEUCCI's und CIMA's, als übertreffe der Froschstrom an Stärke den Muskelstrom, oder, in unsere Sprache übersetzt, der natürliche Querschnitt an Negativität den künstlichen Querschnitt, im Grunde keine Berücksichtigung mehr verdienen würde, und daß, wenn wir auf MATTEUCCI's und CIMA's Angaben hier überhaupt eingehen wollen, wir uns lediglich zu halten hätten an den Versuch, in welchem der Strom einer Säule aus Unterschenkeln dadurch verstärkt wurde, daß man die Ausbreitung der Achillessehne abschälte. Dieser Versuch ist sichtlich einerlei mit dem von uns oben S. 100 an einem einzelnen Gastroknemius angestellten, und es erklärt sich die wahrgenommene Verstärkung eben nur unter der Voraussetzung, daß die Muskeln sich auf einer mehr oder weniger hohen Stufe des parelektronomischen Zustandes befanden. Aber es hält sogar nicht schwer, MATTEUCCI und CIMA zu Hülfe zu kommen,

¹ Ivi, p. 471. 503.*

und sie aus dem Widerspruch zu befreien, den MATTEUCCI wohl fühlt, jedoch ihn nicht genügend aufzuklären vermag.

Legt man nämlich einen querdurchschnittenen Gastrocnemius einerseits mit dem künstlichen Querschnitt, andererseits mit der Ausbreitung der Achillessehne auf die mit Eiweißhäutchen bekleideten Bäusche auf, so erhält man stets zuerst einen Ausschlag in absteigender Richtung. Die Negativität des künstlichen Querschnittes überwiegt also die des natürlichen, was als der normale Zustand zu betrachten ist. Nach längerer oder kürzerer Zeit aber, je nachdem der Muskel mehr oder weniger *parelektronomisch* ist, sieht man die Nadel durch den Nullpunkt zurückkehren, der Strom wird aufsteigend, und der natürliche Querschnitt hat die Oberhand erhalten. Natürlich rührt dies nur zum Theil davon her, daß durch das Eiweiß des Eiweißhäutchens die Negativität des künstlichen Querschnittes erhöht worden ist; nicht etwa weil Eiweiß nur schwach entwickelt und weil der natürliche Querschnitt schräg, statt, wie der künstliche, senkrecht gegen die Richtung der Fasern angelegt ist, sondern wesentlich, weil die Entwicklung der Negativität des natürlichen Querschnittes durch die ätzenden Flüssigkeiten ja nur darauf beruht, daß ein künstlicher Querschnitt chemisch hergestellt wird, folglich die Negativität des künstlichen Querschnittes auch für die des natürlichen die nicht zu überschreitende Grenze abgiebt (Vergl. oben S. 100 ff.). Das Unterliegen des künstlichen Querschnittes unter den natürlichen rührt also vielmehr von der stets von selbst eintretenden Schwächung des ersteren her, die wir jetzt durch Bildung einer künstlichen *parelektronomischen* Schicht erklären (S. oben S. 114). Der tatsächliche Beweis liegt darin, daß sobald man den künstlichen Querschnitt anfrischt, er wieder auf einige Zeit die Oberhand gewinnt, um sie bald darauf wieder dem natürlichen Querschnitt zu überlassen. Die Wirksamkeit des mechanisch angelegten künstlichen Querschnittes in Berührung mit Hühnereiweiß sinkt also schneller als die des durch dasselbe Eiweiß angegriffenen natürlichen Querschnittes.

Wie sich dies Verhältniß stelle bei Entwicklung des Stromes des natürlichen Querschnittes mit anderen, z. B. den stark ätzenden Flüssigkeiten, bin ich noch nicht im Stande zu sagen. Man sieht aber, daß die hier dargelegten Thatsachen wohl geeignet sind, zu erklären, wie MATTEUCCI und CIMA haben können verleitet werden zu ihrer Behauptung, daß der Froschstrom den Muskelstrom an Stärke übertreffe. Während des Aufbaues der Säule aus Froschbeinen mit halbdurchschnittenen Oberschenkeln hatte der künstliche Querschnitt reichlich die Zeit, dem natürlichen an Wirksamkeit zu verlieren, daß der ihm entgegenwirkende natürliche Querschnitt ihn an Negativität übertraf; um so mehr, als es

diesem in Berührung mit künstlichem Querschnitte nicht an einer Ursache gebrach, die seinen Strom, wenn er etwa darniederlag, zu heben vermochte (S. oben S. 84).

Denselben Erfolg, als an den Froschmuskeln, habe ich an denen des Hechtes wahrgenommen, freilich minder rein in doppelter Beziehung, erstlich insofern, als ich nicht verbürgen kann, daß nicht die Thiere, bis sie in meine Hand gelangten, Einflüssen ausgesetzt gewesen seien, die den parelektronomischen Zustand herbeiführen können; für's zweite auch wegen der Schwierigkeit, an dem Muskelkörper der Fische zu diesen Versuchen geeignete, mit freien Sehnenspiegeln bekleidete natürliche Querschnitte darzustellen. Ich erreichte zuletzt meinen Zweck an gewissen Muskeln, die sich mit längeren, bandartigen Sehnen an die Hinterhauptsschuppe heften. Natürlich war am anderen Ende des Muskels die Blosslegung künstlichen Querschnittes nicht zu vermeiden; die Muskeln befanden sich also in der Verfassung wie oben S. 106 die quer durchschnittenen Köpfe des Semitendinosus oder der ebenso behandelte Biceps Cuv. vom Oberschenkel des Frosches. Der Strom des künstlichen Querschnittes hielt die Nadel in beständiger Ablenkung. Wurde nun der kleine Sehnenspiegel am anderen Ende des Muskels mit Kreosot bestrichen, so erfolgte stets ein größerer oder geringerer Ausschlag in seinem Sinne, zum Beweise, daß parelektronomischer Zustand vorhanden war.

Viel entscheidender aber, als durch die dargelegten Thatsachen, läßt sich durch Versuche an den Muskeln warmblütiger Thiere die Meinung widerlegen, in der wir bisher verharren, als sei der parelektronomische Zustand eine alleinige, besondere Wirkung der Kälte. Denn die Muskeln der warmblütigen Thiere sind sicherer, als es für die der kaltblütigen Thiere je auszumachen ist, einer beständig erhöhten Temperatur ausgesetzt gewesen. Ich bediente mich zu diesen Versuchen des Soleus des Kaninchens und des Gastrocnemius externus der Taube. Diese Muskeln haben ohngefähr den nämlichen Bau wie die oben S. 106 beschriebenen Muskeln aus dem Oberschenkel des Frosches. Nur daß der senkrechte Querschnitt des Cylinders mit schrägen Grundflächen, dem die Muskeln gleichen, diesmal keinen Kreis, sondern eine langgestreckte Ellipse vorstellt, deren großer Axe die schrägen Grundflächen parallel liegen, welche auch deshalb hier Ellipsen von geringerer Excentricität gleichen. Die Muskeln bieten also an beiden Enden ausgedehnte natürliche Querschnitte, mit Sehnenspiegeln überzogen, dar, deren wir uns zum Theil auch schon früher bedient haben, um die schwachen Ströme des Querschnittes am natürlichen Querschnitt nachzuweisen (Vergl. oben Bd. I. S. 509. Taf. IV. Fig. 39).

Legt man einen solchen Muskel so warm wie möglich mit sehnigen Enden auf, wobei die Nadel stets in Schwankungen geräth, läßt die Nadel zur Ruhe kommen, und bestreicht dann den einen oder den anderen Sehnenspiegel mit Kreosot, so findet ein Ausschlag statt in der Richtung von diesem Sehnenspiegel nach dem anderen Ende des Muskels. Bestreicht man dann auch noch den anderen Sehnenspiegel, so erfolgt der Ausschlag in der der ersten entgegengesetzten Richtung. Der Versuch ist also, in seinen Bedingungen wie in seinem Ergebniss, völlig einerlei mit dem oben S. 106 am Biceps und den beiden Köpfen des Semitendinosus Cuv. vom Oberschenkel des Frosches angestellten, und es kann demnach kein Zweifel darüber bleiben, daß auch die Muskeln der Säugethiere und Vögel fortwährend auf einer gewissen Stufe des *parelektronomischen* Zustandes gefunden werden.

Aus alledem geht mit Bestimmtheit hervor, daß, wenn wirklich einmal der Fall einer gänzlichen Abwesenheit der *parelektronomischen* Schicht am natürlichen Querschnitt vorkommen sollte, dieser Fall doch nur zu betrachten sein würde als ein ungewöhnlicher Grenzfall, in welchem ein sonst mehr oder weniger ausgeprägtes Verhalten verschwindend geworden wäre. Es ist klar, die Erkältung thut nichts zur Sache, als daß sie eine schon im gewöhnlichen Zustande vorhandene Eigenthümlichkeit in der Anordnung der elektromotorischen Kräfte am natürlichen Querschnitt steigert. Sie erzeugt diese Eigenthümlichkeit nicht, die wir somit vielmehr genöthigt sind, von jetzt ab als einen regelmäßigen Zug in das Bild der elektromotorischen Thätigkeit der ruhenden Muskeln aufzunehmen.

Daß uns dieser Zug bei unsern früheren Versuchen entgangen war, liegt an mehreren Umständen. Erstlich legten wir die Gastroknemien selten mit sehnigen Enden, meist mit natürlichem Längs- und Querschnitt auf, so daß ihr Strom durch das Eiweiß der Eiweißhäutchen sogleich höher entwickelt werden konnte. Für's zweite kamen wir selten in den Fall, die Wirkung des natürlichen und des künstlichen Querschnittes miteinander zu vergleichen. Oder wenn es geschah und der Strom des künstlichen Querschnittes sich als der stärkere erwies, so stand uns der Ausweg offen, den wir oben Bd. I. S. 504 auch wirklich ergriffen, daß nämlich die Neigung beider Querschnitte gegen den Längsschnitt eine verschiedene, günstiger beim künstlichen als beim natürlichen sei. Drittens endlich ist jener Zug für gewöhnlich in der That zu schwach ausgeprägt, um, bei Beobachtung des Stromes des natürlichen Querschnittes allein, und bei unterlassenem Vergleich mit dem Strome des künstlichen Querschnittes, die Aufmerksamkeit ernstlich und nachhaltig auf sich zu lenken inmitten der tausend sonstigen

Unregelmäßigkeiten, die man bei den thierisch-elektrischen Versuchen zu bekämpfen hat. Dazu mußte erst der höhere Grad des parelektromischen Zustandes in die Augen gefallen sein, wie er durch den Einfluß dauernder Erkältung herbeigeführt wird.

Ein wie großer Fortschritt aber in der neuen Vorstellung begründet sei, die wir uns fortan von der Anordnung der elektromotorischen Kräfte in den unversehrten Muskeln machen, brauche ich wohl nicht erst zu bemerken. Ohnehin wird man bald Gelegenheit haben, die Bedeutsamkeit dieses Fortschrittes daran zu ermessen, daß so manche Eigenthümlichkeit in der elektrischen Wirkungsweise der Muskeln und der thierischen Gliedmaßen, die uns so lange unerklärlich blieb, nun plötzlich leicht verständlich erscheint.

Von einem parelektromischen Zustande kann jetzt, wie man sieht, nicht füglich länger die Rede sein. Doch wollen wir fortfahren, mit diesem Namen, der Bequemlichkeit halber, den Zustand ausgesprochener Stromlosigkeit oder gar negativer Wirksamkeit der Muskeln, in Folge der veränderten Anordnung der elektromotorischen Kräfte am natürlichen Querschnitt, zu bezeichnen. Genau genommen, sieht man, dürften wir nur noch sprechen von einer parelektromischen Schicht, und an die Stelle der Frage, welche Bedingungen die Entstehung dieser Schicht zur Folge haben, ist jetzt die zu setzen, welche Bedingungen die stets in größerem oder geringerem Grade bereits vorhandene Schicht weiter auszubilden vermögen.

Leider ist der Stand dieser Frage dadurch aber noch in anderer Beziehung verändert. Aus dem Umstand nämlich, daß die parelektromische Schicht mehr oder weniger ausgebildet sich stets bereits an allen Muskeln vorfindet, gehen für die Beantwortung jener Frage eben die oben S. 118 bereits angekündigten Schwierigkeiten hervor.

(ii) Erörterung der Verfahrensarten, um kleine Veränderungen im Zustande der parelektromischen Schicht nachzuweisen.

Hätten wir gefunden, daß die Muskeln, ohne daß sie bestimmten Einflüssen ausgesetzt gewesen seien, keine Spur des vermeintlichen parelektromischen Zustandes verrathen, so wäre nichts leichter gewesen, als diesen Zustand, nach seiner Entstehung durch solche Einflüsse, an den Muskeln nachzuweisen. Wir hätten dazu nur nöthig gehabt, die Muskeln mit sehnigen Enden aufzulegen, die Nadel zur Ruhe kommen zu lassen und den natürlichen Querschnitt mit Kreosot zu benetzen. Das Eintreten oder Ausbleiben eines positiven Ausschlages hätte uns alsdann leicht benachrichtigt, ob der zu erforschende Einfluß beziehlich

im Stande sei oder nicht, die parelektronomische Schicht am natürlichen Querschnitt zu entwickeln.

Jetzt aber, wo wir wissen, daß bei dieser Versuchsweise unter allen Umständen ein positiver Ausschlag erfolgt, ist damit augenscheinlich nichts mehr anzufangen. Es wird nun zwar immer leicht sein, zu unterscheiden, ob die unversehrten Muskeln durch einen Einfluß, der sie betroffen hat, scheinbar unwirksam oder gar negativ wirksam werden, während sie mit künstlichem Querschnitt noch kräftig positiv wirken, und in diesem Falle wird über die Wirksamkeit des Einflusses zur Ausbildung der parelektronomischen Schicht kein Zweifel bleiben. Handelt es sich aber um das Erkennen schwächerer Einwirkungen, kleiner Veränderungen in dem Zustande der parelektronomischen Schicht, so nimmt der Versuch eine viel verwickeltere Gestalt an.

Die erste Schwierigkeit rührt daher, daß die positive Wirksamkeit der unversehrten Muskeln, auch wenn sie gar keinem besonderen Einfluß ausgesetzt waren, einem außerordentlichen Wechsel unterworfen ist. Man findet, auch in der günstigsten Jahreszeit, Gastroknemien, die mit sehnigen Enden aufgelegt nur 30° Ausschlag geben, neben solchen, die ohne Weiteres die Nadel an die Hemmung werfen. Ja die beiden Gastroknemien eines und desselben Frosches können dergestalt von einander unterschieden sein. Nun sind einestheils gar manche Einflüsse, deren Wirksamkeit auf die Ausbildung der parelektronomischen Schicht man wohl erforschen möchte, der Art, daß sie nicht auf einzelne Muskeln angewendet werden können. Andererseits wissen wir überhaupt noch nicht, ob an einzelnen Muskeln eine Veränderung der parelektronomischen Schicht noch vor sich gehen könne. Man kann folglich hier nicht etwa so verfahren, daß man erst den einzelnen Muskel auf den Zustand seines natürlichen Querschnittes prüft, ihn alsdann dem Einfluß unterwirft, und ihn abermals prüft um zu sehen, in wie weit der Zustand seines natürlichen Querschnittes sich geändert hat. Es bleibt vielmehr nichts übrig, als vorläufig die Anzahl von Gastroknemien zu bestimmen, bei der sich die Schwankungen der positiven Wirksamkeit dergestalt ausgleichen, daß die mittlere Wirkung dieselbe ist, und alle Versuche mit einer solchen Anzahl von Gastroknemien anzustellen. Hier also würde es wirklich einmal am Orte sein, sich ganzer Säulen aus Muskeln zu bedienen, wie MATTEUCCI es thürichterweise überall zu thun pflegt. Freilich unterwirft man sich dadurch zugleich allen den Nachtheilen, die oben Bd. I. S. 233 von uns an diesem Verfahren gerügt worden sind.

Das ist aber noch nicht Alles. Sondern für's zweite sind die Einflüsse, deren Wirkung hier zu erforschen sein würde, wohl ohne Aus-

nahme der Art, daß auch die elektromotorische Wirksamkeit der Muskeln überhaupt darunter leiden kann, wie dies denn auch bei der Kälte der Fall ist (S. oben S. 36). Es sei m der Unterschied der Spannungen, den der Muskel den Enden des Multiplicatorkreises ertheilen und dadurch positiv wirken würde, wenn die parelektronomische Schicht unwirksamer feuchter Leiter wäre; — p derjenige, den diese Schicht denselben Enden ertheilen und dadurch negativ wirken würde, wenn umgekehrt der ganze übrige Muskel unwirksamer feuchter Leiter wäre; $m - p$ folglich die Kraft, mit der der natürliche Querschnitt positiv wirksam ist. Es ist, ohne bestimmte Gründe, nicht anders anzunehmen, als daß, wenn irgend ein Einfluß den Muskel trifft, mit m auch p sich stets in gleichem Mafse verändern wird. Die Wirksamkeit des natürlichen Querschnittes kann folglich nicht nur dadurch vermindert erscheinen, daß p gewachsen ist, sondern auch dadurch, daß $m - p$ in Wirklichkeit mit einem gemeinsamen Factor $n < 1$ multiplicirt wurde (Vergl. oben S. 103), und es handelt sich darum, im Versuch auszumachen, ob das erstere, oder wenigstens beides zugleich, oder ob nur das letztere die Ursache der etwa beobachteten Wirkungsabnahme des Stromes des natürlichen Querschnittes gewesen sei.

Der Weg dazu würde sein, zu untersuchen, ob sich das Verhältniß der Wirkung des natürlichen Querschnittes z. B. des Gastrocnemius, zu der des künstlichen Querschnittes z. B. des Adductor magnus Cuv. nach dem Einflusse gleich geblieben sei, oder, da man es nicht vor dem Einflusse beobachten kann, ob es das nämliche sei in den Muskeln einer Gruppe von Thieren, die dem Einflusse ausgesetzt waren und in denen einer Gruppe von solchen, die dies nicht waren. In diesen würde jenes Verhältniß sein

$$\frac{m - p}{m},$$

in jenen

$$\frac{n(m - p')}{nm}.$$

Man eliminirt also auf diese Weise im Versuch den unbekanntten Coefficienten n , der die allgemeine Verminderung der Kraft des Muskels bezeichnet. Ist das bezeichnete Verhältniß durch den Einfluß kleiner geworden, so ist p gewachsen zu p' , die parelektronomische Schicht ist durch den Einfluß weiter ausgebildet worden. Man könnte auch statt dessen vergleichen die Werthe

$$\frac{nm}{m} \text{ und } \frac{n(m - p')}{m - p};$$

sie müssen gleich sein, wenn $p' = p$, hingegen muß der zweite Werth kleiner sein, wenn $p' > p$.

In dieser Einfachheit ist jedoch die Prüfung unausführbar. Denn als ungefähres Mafs der Gröfsen m , $m - p$, u. s. f., haben wir nichts, als die Ausschläge am Multiplicator. Je gröfser die Ausschläge sind, um so gröfseren Unterschieden der Stromstärke entsprechen gleiche Unterschiede der Ausschläge. Es werden also die Ausschläge a , b , c , d , die zu $n(m - p')$, $m - p$, nm und m gehören, schon ganz von selbst in dem Verhältnifs stehen, dafs

$$\frac{b}{d} > \frac{a}{c} \text{ oder dafs } \frac{a}{b} < \frac{c}{d},$$

ohne dafs ein solches Verhältnifs für die Stromstärken stattfinde, oder ohne dafs p zu p' gewachsen sei.

Indessen giebt es einen Kunstgriff, mit dessen Hülfe sich diesem Uebelstande begegnen läfst, und der hier um so mehr am Platze ist, als die dazu nöthige Anordnung des Versuches auch noch durch einen anderen Umstand geboten wird. Er besteht darin, bei der Beobachtung von m und nm die Empfindlichkeit des Multiplicators durch eine vorgelegte Nebenschließung zu mäfsigen, so dafs die Ausschläge a , b und c , d ihre Rollen vertauschen, insofern als a , b die gröfseren, c , d die kleineren werden. Die Mäfsigung der Empfindlichkeit des Multiplicators überhaupt ist, wie gesagt, nothwendig aus demselben Grunde, aus dem wir sie schon häufig angewendet haben, nämlich um zu verhindern, dafs die Ausschläge bei künstlichem Querschnitt die Nadel an die Hemmung oder auch nur in so hohe Breiten der Theilung führen, dafs dem Unterschiede der Stromstärken kein merklicher Unterschied der Ausschläge mehr entspricht. Allein indem man die Empfindlichkeit bei Beobachtung des Stromes des künstlichen Querschnittes so weit mäfsigt, als oben gesagt worden ist, bewirkt man zugleich, dafs, so lange p unverändert bleibt,

$$\frac{b}{d} < \frac{a}{c} \text{ oder } \frac{a}{b} > \frac{c}{d},$$

so dafs, wenn auch nur Gleichheit dieser Ungleichheiten, vollends, wenn das entgegengesetzte Verhalten beobachtet wird, mit Sicherheit geschlossen werden kann, dafs p zu p' gewachsen sei.

Auf dem Papiere also läfst sich, wie man sieht, diese Untersuchung glücklich zu Ende führen. Ich brauche aber wohl kaum zu sagen mit wie grofsen Schwierigkeiten sie bei ihrer Ausführung zu kämpfen hat.

Obenan steht dabei die grofse Unsicherheit in der Beobachtung der Wirkungsgröfse des künstlichen Querschnittes, welche so sehr abhängig ist von der seit der Zurichtung verflossenen Zeit (Vergl. oben S. 113). Diesen Uebelstand haben wir wohl oben Bd. I. S. 697. 698. 704. 709 an den Muskeln, Bd. II. Abth. I. S. 266 an den Nerven zu besiegen ge-

wufst, als es sich einfach darum handelte, die Wirkungsgrößen zweier künstlichen Querschnitte, sei's von verschiedener Ausdehnung, sei's Muskeln oder Nerven von verschiedener Länge angehörig, mit einander zu vergleichen. Aber die Kunstgriffe, deren wir uns damals bedienten, hören auf anwendbar zu sein, wenn sie gleichzeitig an zehn bis zwanzig Muskeln in's Werk gesetzt werden sollen.

Man könnte daran denken, den künstlichen Querschnitt, statt auf mechanischem, auf einem der neuen Wege herzustellen, die wir nunmehr kennen gelernt haben. An das Verbrennen des natürlichen Querschnittes (S. oben S. 104) wird man hier wohl nicht im Ernst erinnern wollen. Aber das Anätzen möchte eher mit Gleichmäßigkeit ausführbar scheinen. Indessen habe ich mich überzeugt, daß diese Versuchsweise ebensowenig zum Ziele führt.

Ich tauchte die Gastroknemien eines und desselben Frosches, nach völlig übereinstimmender Zurichtung beider, zusammen in Kochsalzlösung, liefs sie etwas über die Zeit darin verweilen, die zur positiven Grenzwirkung dieser Lösung nöthig ist (Vergl. oben S. 48. 59) und wusch sie ebenso zusammen in Wasser aus. Allein ich erhielt von solchen Gastroknemien bei Ableitung des Stromes von ihren sehnigen Enden niemals gleich starke Ausschläge. Es kamen Unterschiede vor wie 16° und 26° ; 31° und 43° u. s. f. Nicht besser gelang es mit Essigsäure. Auch kann dies nicht wohl anders sein. Man erwäge nur, von wieviel Zufälligkeiten es abhängt, bis zu welcher Tiefe die ätzende Flüssigkeit in den Muskel dringt, mit welcher Heftigkeit sie ihn angreift, endlich welche Leitungsfähigkeit sie der unwirksam gemachten Schicht mittheilt, die als Nebenschließung für den Muskelstrom in Bezug auf den Multiplicatorkreis zurückbleibt (Vergl. oben S. 57. 58. 78. 80).

Die Stärke des Stromes des künstlichen Querschnittes sinkt nach einer gewissen Zeit sehr viel langsamer, als in den ersten Augenblicken, wahrscheinlich um so langsamer, je länger nach der Zurichtung, so daß unter der Voraussetzung der Congruenz der Curven, welche jenes Sinken in der Zeit vorstellen, die Unterschiede zwischen den Stromstärken verschiedener kurz nach einander zugerichteter Muskeln zuletzt verschwindend werden können. Auch hierauf liefse sich die Hoffnung gründen, brauchbare Bestimmungen der vergleichweisen Wirkungsgröße zweier Muskelgruppen mit künstlichem Querschnitt zu erlangen.

Allein auch so gelangt man nicht zum Ziele, zum Beweise, daß eben, aus hundert zufälligen Ursachen, die Curven nicht der Voraussetzung gemäß congruent sind; und nun ist noch zu erwägen die endlose Weitläufigkeit jedes einzelnen Versuches bei diesem Verfahren, während jeder Versuch verloren ist, bei dem sich nicht zwischen den vier

Ausschlägen *a*, *b*, *c*, *d* das Verhältniß herstellt, welches oben als nothwendig erkannt wurde, damit der Versuch beweisend sei; und dies zwar in einem Gebiete, wo es zunächst noch an jedem Anhaltspunkt gebricht, um mit Sicherheit fruchtbare Versuchswege einzuschlagen.

Völlig dieselben Hindernisse treten übrigens, wie man sieht, der Lösung der anderen Aufgabe entgegen, eine Rückbildung der parelektronomischen Schicht nachzuweisen, und müssen auf die nämliche Art bekämpft werden. Unter diesen Umständen wird man es mir verzeihen, wenn ich, wie oben S. 118 bereits bevorwortet wurde, über die hier zu stellenden Fragen noch fast so gut wie keine Auskunft zu ertheilen vermag.

(III) Nähere Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf den Zustand der parelektronomischen Schicht.

Zuvörderst hätten wir uns näher zu erkundigen nach der Wirkungsweise niedriger Temperaturen zur Ausbildung der parelektronomischen Schicht, und unter anderen die oben S. 32 unbeantwortet gelassene Frage zu erledigen nach der Länge der Zeit, welche nothwendig ist, damit die Kälte ihre Wirkung äußere.

Um nun hier systematisch zu Werke zu gehen, müßten wir offenbar suchen, eine Tabelle mit doppeltem Eingang zu entwerfen, in deren einem Kopf sich die Temperaturen, in dem anderen die Zeiten, und in den entsprechenden Fächern die mittleren Wirkungsgrößen angegeben fänden, die man von Muskeln von Fröschen erhält, welche die gegebene Zeit in der gegebenen Temperatur zugebracht haben.

Man sieht, daß die erste Bedingung, um eine solche Tabelle auszufüllen, die sein würde, daß man sich im Besitze der Mittel befände, um sich beliebige Zeit lang eine beliebige Temperatur zu verschaffen. Viele Stunden lang beständige Temperaturen zu erhalten, ist, wie man weiß, unter allen Umständen eine mißliche Aufgabe, vornehmlich aber, wenn es sich, wie hier, um niedrige Temperaturen handelt. Man ist durchaus, im Winter wie im Sommer, auf Frostmischungen angewiesen, die im größten Maßstab ausgeführt werden müssen. Wie mühsam, zeitraubend und kostspielig solche Versuche vorzüglich im Sommer ausfallen, wo sie ohne einen Eiskeller gar nicht durchzuführen sind, bedarf nicht der Erwähnung; im Winter aber ist es wiederum fast unmöglich, daß die Frösche nicht bereits niedrigen Temperaturen ausgesetzt gewesen sind. Gesetzt aber auch, man befände sich bereits im Besitz aller dieser Versuchsmittel, so findet man sich nicht nur zunächst zurückgeworfen auf alle die Schwierigkeiten, von denen oben die Rede war, sondern es kommt aller Wahrscheinlichkeit nach noch eine fernere

Verwickelung von Seiten der Thiere selber hinzu. Abgesehen nämlich von den sonstigen Schwankungen in dem Zustande der parelektronomischen Schicht, wodurch eben jene Schwierigkeiten bedingt werden, scheint es auch noch, daß die Temperatur, der die Frösche vor dem Versuch ausgesetzt waren, einen Einfluß ausübt auf ihre Empfänglichkeit für den Einfluß der niedrigen Temperatur, der sie im Versuch ausgesetzt werden sollen.

Ich bekenne mich daher außer Stande, eine Tabelle, wie die verlangte, auch nur im kleinsten Bruchstück mitzutheilen. Freilich wären die darin verzeichneten Wirkungsgrößen in Ausschlägen meines Multiplikators ausgedrückt gewesen, und somit an sich ohne Werth; allein aus ihrer Vergleichung hätten sich doch unmittelbar müssen entnehmen lassen die Grundzüge des Gesetzes, wonach jene Wirkungsgrößen von Zeit und Temperatur abhängen. Wie die Sachen stehen, beschränkt sich, was ich hier darzulegen habe, leider auf folgendes.

Um Frösche mit Sicherheit in den Zustand zu versetzen, daß ihre Gastroknemien an meinem Multiplikator für den Muskelstrom unwirksam, oder nur noch schwach positiv wirksam erscheinen, muß man sie mindestens 24 Stunden der Temperatur des schmelzenden Eises aussetzen. Ist aber einmal dieser Zustand eingetreten, so geschieht weiter keine Veränderung mehr, die parelektronomische Schicht bildet sich nicht ferner aus, auch nach wochenlangem Aufenthalt in jener Temperatur tritt keine negative Wirksamkeit der Muskeln ein. Damit dies der Fall sei, müssen die Frösche einer Temperatur von mehreren Graden unter Null ausgesetzt gewesen sein. Es ist aber alsdann kein so langer Aufenthalt in der Kälte mehr nothwendig, wie bei der Temperatur des schmelzenden Eises; wenige Stunden, ja eine Stunde oder noch weniger, reichen aus, und es giebt für die Dauer des Aufenthaltes sogar eine bestimmte Grenze, die nicht überschritten werden darf, widrigenfalls man die Muskeln statt negativ wirksam, völlig und für immer, auch mit künstlichem Querschnitt, unwirksam aus der Kälte hervorgehen sieht, die sie nämlich alsdann getödtet hat.

So weit scheint die Sache klar, und man würde scheinbar ganz einfach daraus zu schliessen haben, daß nicht jede Temperaturerniedrigung, beliebige Zeit lang fortgesetzt, im Stande sei, eine beliebige Ausbildungsstufe der parelektronomischen Schicht hervorzurufen, sondern daß jeder solchen Temperaturerniedrigung nur eine bestimmte mittlere Grenzwirkung zustehe, welche um so höher liege und zugleich in um so kürzerer Zeit herbeigeführt werde, je niedriger die Temperatur. Diese Vorstellung von dem Gesetz der Einwirkung der Kälte auf die Ausbildung der parelektronomischen Schicht würde völlig damit stimmen,

dafs, wie wir nun wissen, die verschiedenen elektromotorischen Erscheinungsweisen der erkälteten Muskeln eben nur Abstufungen eines sonst gleichbedeutenden Verhaltens sind; und es würde der Nullpunkt der elektromotorischen Wirksamkeit zufälligerweise auch gerade die Grenz-wirkung sein, welche die auf unseren Thermometern mit Null bezeichnete Temperatur des schmelzenden Eises hervorbringt.

Doch wäre es möglich, dafs diese Vorstellung, aus allzubeschränkten Erfahrungen erschlossen, auch nicht die richtige wäre. Es scheint nämlich, dafs, um die Muskeln negativ wirksam zu machen, ganz besondere Umstände nöthig sind, die ich noch nicht habe ergründen können. Die natürlichen Bedingungen, unter denen mir der Zustand der negativen Wirksamkeit zuerst aufstiess, bestanden darin, dafs die Frösche eine Winternacht im Schnee des Gartens zugebracht hatten, während der das Minimumthermometer im Schnee auf -5 bis -8° C. sank (Vergl. oben S. 32). Ich suchte diese Bedingungen künstlich nachzuahmen, indem ich die Frösche in einem wasserdicht verschlossenen Glase in Frostmischungen brachte. Es zeigte sich sehr bald, dafs die Frösche damals im Schnee unmöglich lange hatten können dem Minimum der Temperatur ausgesetzt gewesen sein, welches das Thermometer anzeigte; denn stets fand ich ihre Muskeln völlig todt, wenn ich die Frösche mehrere Stunden in einer Temperatur unter -5° liefs. Ich veränderte nun in zahlreichen Versuchen nach Kräften die Dauer des Versuches und die Temperatur, aber ohne zu einer sicheren Vorschrift zu gelangen, um die Muskeln negativ wirksam zu machen. Am besten schien mir noch ein Aufenthalt von 40' in einer Temperatur von -7° zu wirken. Aber bald fand ich die Muskeln ganz todt, bald noch lebend, aber, statt negativ wirksam, unwirksam, und nur stets in seltenen Fällen negativ wirksam, dabei bald noch zuckungsfähig, bald zuckungs-unfähig (Vergl. oben S. 38). Oft war von den beiden Gastroknemien eines und desselben Frosches der eine unwirksam, der andere negativ wirksam (Vergl. oben S. 126). Die negativ wirksamen Muskeln bieten auch, wenn ich mich nicht irre, meist eine besondere Beschaffenheit dar; sie sind nämlich hochroth gefärbt und voll kleiner Blutergüsse, die ihnen ein gesprenkeltes Ansehen geben. Fast stets scheinen sie gefroren, doch sind sie es dabei in Wahrheit nicht immer, denn sie zucken häufig noch nach dem Aufthauen und wirken stark elektromotorisch. Alsdann befinden sie sich wahrscheinlich in dem räthselhaften oben S. 33 erwähnten Zustande, über den man wohl vor allen Dingen erst im Klaren sein müfste, ehe man hoffen könnte, sich der hier in Rede stehenden Erscheinungen völlig zu bemeistern.

Es sind nunmehr hier zwei Fälle möglich. Tragen wir die nega-

tiven Kräfte der parelektronomischen Schicht (S. oben S. 127) als Ordinaten auf die Temperatur als Abscisse auf, so kann die große Schwierigkeit, den Zustand der negativen Wirksamkeit im Versuch nach Willkür herbeizuführen, darauf beruhen, daß die Curve bis zu der Temperatur von etwa -5° sehr langsam, dann plötzlich sehr schnell aufsteigt, und daß gleich darauf wegen des Erfrierens der Muskeln die elektromotorische Wirksamkeit überhaupt ein Ende nimmt. Diese Annahme würde sich nicht aus dem Kreise der oben bezeichneten, einfachsten Vorstellung über das Gesetz entfernen, wonach die Ausbildung der parelektronomischen Schicht von der Temperatur abhängt. Der andere denkbare Fall ist der, daß, obschon auch der negativ wirksame Zustand der Muskeln auf einer höheren Ausbildung der parelektronomischen Schicht beruht und sich von dem der Unwirksamkeit nur gradweise unterscheidet, trotz dieser Continuität der Wirkungen doch keine gleiche Continuität der Ursachen stattfindet, sondern daß irgend ein unbekannter und zufälliger Umstand hinzutreten muß, damit die Muskeln die negativ wirksame Beschaffenheit annehmen. Spätere Untersuchungen werden zwischen diesen beiden Möglichkeiten zu entscheiden haben. Wie dem auch sei, die Schwierigkeit, auf die ich hier gestossen bin, die negativ wirksame Beschaffenheit nicht nach Willkür beliebig oft hervorrufen zu können, sondern sie stets nur als seltenes Geschenk aus der Hand des Zufalls entgegenzunehmen, ist Schuld daran, daß ich zahlreiche wichtige Fragen habe unerledigt lassen müssen, deren Beantwortung an die genaue Erforschung negativ wirksamer Muskeln gebunden war. (Vergl. oben S. 111. 112; und auf der folgenden Seite.)

Da die Wirkung der Kälte zur Ausbildung der parelektronomischen Schicht feststeht, so wird man sich ihrer bedienen können, um zu untersuchen, ob unter bestimmten Umständen eine Ausbildung der parelektronomischen Schicht stattfindet oder nicht. Der erste Punkt der Art, der zu erledigen sein würde, wäre die Frage, ob auch noch an einzelnen Muskeln, die man, dem Blutumlauf und dem Einfluß des Nervensystemes entzogen, in die Kälte bringt, eine weitere Ausbildung der parelektronomischen Schicht vor sich gehe. Denn es ist dem Leser wohl nicht entgangen, daß die parelektronomischen Muskeln, von denen bisher die Rede war, stets im lebenden Thiere selber die Wirkung der Kälte erfahren hatten.

Der Versuch kann auf doppelte Weise angestellt werden. Beide Methoden gehen darauf hinaus, den schwächenden Einfluß, den die Kälte auf die elektromotorische Kraft der Muskeln überhaupt ausübt, aus dem Ergebniss des Versuches zu verbannen. Die eine Methode besteht darin, die Muskeln so stark zu erkälten, daß, wären sie im leben-

den Thiere, man zu erwarten haben würde, sie negativ wirksam werden zu sehen. Gelänge es dann auch hier, diesen Erfolg zu beobachten, so würde dies den Beweis liefern, daß die parelektronomische Schicht sich noch an einzelnen Muskeln weiter auszubilden vermag. Denn es ist klar, daß durch keine Schwächung der elektromotorischen Kraft des Muskels im Allgemeinen eine Umkehr des Stromes des natürlichen Querschnittes zu Stande kommen kann. Die andere Methode bestimmt zuerst die Stromstärke des natürlichen Querschnittes des Gastroknemius und die des künstlichen Querschnittes, etwa des Adductor magnus, erkaltet dann den Gastroknemius nebst dem übrigen GALVANI'SCHEN Präparat 24 Stunden auf 0° und bestimmt abermals dieselben Stromstärken, die des künstlichen Querschnittes diesmal mit Hülfe des Adductor magnus des anderen Beines. Bei Bestimmung der Stromstärke des künstlichen Querschnittes muß die Empfindlichkeit des Multiplicators so weit geschwächt werden, daß die Ausschläge kleiner sind, als die durch den Strom des natürlichen Querschnittes erzeugten (S. oben S. 128). Fällt der Unterschied der Ausschläge durch den Strom des natürlichen Querschnittes vor und nach der Erkältung nicht kleiner oder größer aus als der Unterschied der Ausschläge durch den Strom des künstlichen Querschnittes, so ist auch hier der Beweis geführt, daß die parelektronomische Schicht sich noch an einem einzelnen Muskel höher zu entwickeln vermöge.

Ich habe bis zur Zeit, wo ich diese Untersuchung für den Druck abschließen mußte, leider nicht Zeit gehabt, das zweite Verfahren in's Werk zu setzen. Das erste hingegen habe ich häufig verwirklicht, jedoch niemals negative Ausschläge von den Gastroknemien erhalten, die ich die verschiedensten Zeiten hindurch den verschiedensten Temperaturen unter Null aussetzte. Stets fand ich entweder den Strom fast unverändert, oder die Muskeln gingen erfroren, und dann todtenstarr, zuckungsunfähig und stromlos aus der Kälte hervor (Vergl. oben Abth. I. S. 180. 181. Abth. II. S. 30). Nichtsdestoweniger möchte ich deshalb noch nicht die Möglichkeit läugnen, daß sich die parelektronomische Schicht an einzelnen Muskeln weiter ausbilde. Denn auch an lebenden Fröschen, wo doch zweifellos eine solche Ausbildung noch vor sich geht, gelingt es ja nur äußerst schwer, und unter bisher noch unerfahrbaren Bedingungen, die Muskeln durch Erkältung negativ wirksam zu machen. Ich muß mich also in Betreff der wichtigen, hier gestellten Frage vor der Hand bescheiden.

Dies ist aber zugleich der Grund, weshalb ich noch keine Versuche über die Ausbildung der parelektronomischen Schicht durch die Kälte an warmblütigen Thieren angestellt habe. Denn lebende warm-

blütige erwachsene Thiere kann man dadurch, dafs man sie dauernd einer niedrigen Temperatur aussetzt, nur wenig und nur oberflächlich erkälten. Um ihre Muskeln also hinreichend tiefen Temperaturen auszusetzen, mufs man die warmblütigen Thiere entweder erst tödten, oder man mufs sie erfrieren lassen. Ehe folglich die Frage entschieden ist, ob an den Muskeln, auch nachdem sie des Blutumlaufes und des Einflusses des Nervensystemes beraubt sind, noch eine Ausbildung der parelektronomischen Schicht möglich ist, kann nicht füglich die Untersuchung über den Einflufs der Kälte auf den Muskelstrom der warmblütigen Thiere ihren Anfang nehmen.

Was MATTEUCCI's und CIMA's Versuche darüber betrifft, die sich oben S. 28 ff. angeführt finden, so sind sie ganz ohne Bedeutung. Sie beziehen sich allein auf den Strom des künstlichen Querschnittes, den sogenannten »Muskelstrom« beider Schriftsteller. Bei MATTEUCCI ist nicht klug daraus zu werden, ob die schwächende Wirkung der Kälte auf diesen Strom stärker sein solle bei den warmblütigen, oder bei den kaltblütigen Thieren. Denn es findet sich abwechselnd das Eine und das Andere angegeben. CIMA entscheidet sich für das letztere. Allein er selber deutet bereits an, wie die Muskeln eines der Kälte ausgesetzten lebenden warmblütigen Thieres ja keinesweges die Temperatur des Mittels annehmen, wie also die scheinbar geringere Einwirkung der Kälte, statt von einer geringeren Empfänglichkeit der Muskeln dafür, einfach davon herrühren könne, dafs in der That die Muskeln einer geringeren Kälte ausgesetzt werden.

Folgendes ist ein interessanter Bezug, den die Untersuchung in der Folge hier zu nehmen haben wird. Der oben S. 32 geschilderte Zustand der Frösche, in den sie durch die dauernde Erkältung auf eine dem Gefrierpunkte nahe Temperatur versetzt werden, ist, wie man leicht erkennt, kein anderer als der des Winterschlafes. Man vergleiche die Schilderung des Winterschlafes der Frösche bei BARKOW.¹ Es ist daher wohl keine Frage, dafs man fortan die höhere Ausbildung der parelektronomischen Schicht als ein neues Attribut des Winterschlafes der kaltblütigen Thiere aufzuzählen haben wird. Wahrscheinlich aber werden die warmblütigen Winterschläfer dieselbe Erscheinung wahrnehmen lassen, da ja bei diesen bekanntermassen die Eigenwärme in so auferordentlich viel höherem Grade von der Temperatur des Mittels abhängt, als bei den übrigen warmblütigen Thieren.

Den Einflufs der Temperatur auf den Zustand der parelektrono-

¹ Der Winterschlaf nach seinen Erscheinungen im Thierreiche u. s. w. Berlin 1846. S. 125. *

mischen Schicht anlangend, bietet sich nun noch die wichtige Frage dar, ob Erhöhung der Temperatur Rückbildung der parelektronomischen Schicht zur Folge habe, wie Temperaturerniedrigung eine weitere Ausbildung dieser Schicht.

Beim ersten Anblick scheint es freilich, als wenn dem kaum anders sein könne. Im Winter gehen die Muskeln der Frösche durch den Zustand der Stromlosigkeit bei natürlichem Querschnitt hindurch, im Frühling und Sommer werden sie oft wieder mit natürlichem Querschnitt stark positiv wirksam gefunden. Auch berichtet CIMA, dafs, während ein paar kalte Tage dazu gehören, damit die Wirkung der Kälte auf den Strom sichtbar werde, ein warmer Tag häufig hinreiche, die Frösche in ihren gewöhnlichen Zustand zu versetzen (S. oben S. 30).

Sollte aber wirklich die Wärme an und für sich einen rückbildenden Einflufs auf die parelektronomische Schicht ausüben, so müfste ich auf alle Fälle CIMA's Zeitbestimmung umkehren, und im Gegentheil aussagen, dafs die weitere Ausbildung der Schicht durch die Kälte viel schneller von Statten gehe, als ihre Rückbildung durch die Wärme. Denn in der Gefangenschaft habe ich den Strom des natürlichen Querschnittes auch in der längsten Zeit und bei hoher Sommerwärme sich nie recht deutlich erholen sehen, während ein Aufenthalt von 24 Stunden in der Temperatur des schmelzenden Eises erwähntermafsen (S. oben S. 131) hinreicht, um die Muskeln der Frösche an meinem Multiplicator für den Muskelstrom nahe stromlos erscheinen zu machen.

Es ist mir aber überhaupt nicht gelungen, im Versuch nachzuweisen, dafs die Wärme an und für sich einen solchen Einflufs auf die parelektronomische Schicht äußere, wie MATTEUCCI und CIMA angeben. Wenn MATTEUCCI erzählt, dafs man einen erkälteten Frosch nur wieder in lauwarmes Wasser zu bringen brauche, um seine Muskeln in den gewöhnlichen Zustand zu versetzen (S. oben S. 27), so ist in der That nicht zu begreifen, wie er zu dieser Behauptung hat kommen können. Es ist wohl zu beklagen, dafs diese Behauptung einmal wieder völlig aus der Luft gegriffen ist. Denn durch ein so sicheres und so leicht anwendbares Mittel, wie nach MATTEUCCI die Erwärmung es darbieten würde, um den parelektronomischen Zustand verschwinden zu machen, würden viele Untersuchungen über diesen Zustand ebensowohl erleichtert werden, als sie in Wirklichkeit erschwert sind durch die Ungewifsheit, in der man sich stets darüber befindet, in welchem Mafse dieser Zustand bereits vorhanden ist (Vergl. oben S. 125. 126).

Ich habe Frösche, die im Winter in einer Temperatur nahe dem Schmelzpunkte gelebt hatten, 24 Stunden lang einer Temperatur von + 24 bis + 27° C. ausgesetzt. Ich fand ihre Muskeln gerade so par-

elektronomisch als die anderer Frösche, welche nicht erwärmt worden waren. Ein erkälteter Frosch wurde in ein Glas mit wenig Wasser gesetzt, und das Wasser im Lauf einer halben Stunde von etwa 12° auf 30° , in der folgenden halben Stunde auf 37° erwärmt. Der Frosch fiel auf den Rücken, seine Athemzüge waren unzählbar, seine Pupille erweitert. Die Muskeln aber zeigten sich parelektronomisch wie gewöhnlich. Ein anderer Frosch war durch die Kälte scheinodt geworden. In Wasser von 45° aufgethaut geriethen seine Muskeln über und über in flimmern-des Zucken. Auf ihren Strom geprüft erwiesen sie sich stark parelektronomisch.

Eben so wirkungslos fand ich das Erwärmen einzelner Muskeln. Dies geschah im Dampfbade, da das warme Wasser, bei längerem Eintauchen der Muskeln, Entwicklung des Stromes herbeigeführt haben würde (S. oben S. 60. 61). Auf dem Grund einer geräumigen Vorlage befand sich etwas Wasser, und wurde mittelst der BERZELIUS'schen Lampe beständig auf der verlangten Temperatur erhalten. Durch den Kork in der einen Tubulatur ragte ein Thermometer mit seiner Kugel in den Dampfraum über dem Wasser hinein. Durch den Kork in der anderen senkrecht gestellten Tubulatur ging ein Draht, dessen unteres Ende zu einem Haken umgebogen war. An den Haken wurde der zu erwärmende Gastroknemius, nachdem sein Strom geprüft worden war, mittelst einer um die Achillessehne gelegten Fadenschlinge so aufgehängt, daß er dicht neben der Thermometerkugel schwebte, sein Kopf aber die Oberfläche des Wassers nicht erreichte. In dieser Weise erwärmte ich die Muskeln drei Stunden auf 30° , eine Stunde auf 35° , $40'$ auf 40° , ohne den geringsten Erfolg. Steigert man, bei gleichen Temperaturen, die Dauer des Dampfbades oder bei gleichen Dauern seine Temperatur, so gehen die Lebenseigenschaften der Muskeln sehr bald zu Grunde (Vergl. oben Abth. I. S. 178). Taucht man aber den Muskel nur wenige Augenblicke in heiße Wasserdämpfe, so bleibt die verderbliche Wirkung an der Oberfläche, nur die parelektronomische Schicht wird davon betroffen, nebst einer dünnen gleichgültigen Schicht am natürlichen Längsschnitt (S. oben S. 105), und die Folge ist Entwicklung des Stromes. Der Versuch fällt zurück in den bereits oben ebendas. beschriebenen, wo wir die Muskeln einen Augenblick lang in heißes Wasser tauchten.

Man sieht aber jetzt, wie bereits ebendas. erwähnt wurde, daß nicht daran zu denken ist, die sich hier kundgebende Entwicklung des Stromes von einer specifischen Einwirkung abzuleiten, welche die Wärme, im Gegensatz zur Kälte, auf die Rückbildung der parelektronomischen Schicht ausüben würde. Vielmehr bleibt es ganz zweifelhaft,

ob die Wärme an und für sich eine solche Wirkung überall ausübe. Ausgemacht scheint vor der Hand, durch die Thatsache sowohl der jährlichen Oscillation als der im Sommer bei kalter Witterung eintretenden vorübergehenden Senkungen des Stromes des natürlichen Querschnittes, nur dies Eine, daß die Wärme für die Rückbildung der Schicht eine unerläßliche Bedingung abgiebt. Damit aber die Rückbildung wirklich stattfinde, müssen sichtlich noch andere Bedingungen hinzutreten, die in der Gefangenschaft der Frösche für gewöhnlich nicht erfüllt sind. Als solche kann man sich füglich nur zwei denken, die eine hier in Betracht kommende Wirkung zu äußern vermögen, der Gebrauch der Muskeln nämlich und die Ernährung. Ich bin nicht im Stande, etwas Bestimmtes beizubringen über den Antheil, den jeder dieser Factoren an dem Vorgange der Rückbildung haben mag. Indessen wird eine baldige Folge lehren, daß heftige und andauernde Zuckungen einzelner Muskeln an dem Zustande der Schicht an diesen Muskeln nichts ändern, ja daß die Schicht überhaupt an dem Molecularvorgang der Zusammenziehung keinen Antheil hat.¹ Es würde also schließlich sich als das wahrscheinlichste bei der jetzigen Sachlage ergeben, daß es die normale Ernährung der Frösche bei der normalen Temperatur ist, welche die Rückbildung der Schicht vermittelt. Augenscheinlich aber muß es außerdem noch einen anderen Umstand geben, der mitbestimmend auf den Zustand des natürlichen Querschnittes einwirkt, und zwar der Art, daß er geeignet sei, von den beiden gleichnamigen Muskeln desselben Frosches den einen mehr, den anderen weniger zu treffen. Welcher Umstand dies sei, liegt, auch nur zu muthmaßen, für jetzt noch völlig außerhalb des Bereiches meiner Einsichten.

(iv) Prüfung des Einflusses einiger anderen Umstände auf den Einfluß der parelektronomischen Schicht.

Wie dem auch sei, es konnte nunmehr hier folgendermaßen weiter geschlossen werden. Zur Rückbildung der Schicht gehören unter andern Wärme und Ernährung; zu ihrer weiteren Ausbildung genügt, wie wir bereits wissen, Entziehung der Wärme allein. Vielleicht genügt aber auch dazu, bei unveränderter Temperatur des Mittels, Entziehung der Nahrung allein. In der That müßte ich mich sehr irren, oder ich habe die parelektronomische Schicht an Muskeln von Fröschen, die im Sommer lange Zeit bei mir in der Gefangenschaft gehungert hatten, sich weiter ausbilden sehen, ohne daß sie der Kälte ausgesetzt worden waren. Vielleicht lassen sich alsdann die höheren Stufen des parelek-

¹ S. unten, No. 12 (I. II).

tronomischen Zustandes durch beliebige Einflüsse hervorrufen, welche geeignet sind, den Ernährungsvorgang in den Muskeln zu beeinträchtigen. Darauf würde alsdann weiter fortzubauen sein, um zu einer Vorstellung von der physiologischen Bedeutung der parelektronomischen Schicht in ihren verschiedenen Zuständen zu gelangen.

Hier würde der Ort sein, um einiger Versuche CIMA's und MATTEUCCI's zu gedenken. CIMA nahm fünf rüstigen Fröschen Herz und Lungen aus und liefs sie so zwei Stunden lang leben. Dann untersuchte er den Strom einer Säule aus den zehn Unterschenkeln und einer anderen aus den zehn querdurchschnittenen Oberschenkeln dieser Frösche. Die erstere Säule, an der also der natürliche Querschnitt thätig war, gab kaum 3° Ausschlag, die andere, mit künstlichem Querschnitt wirksame, 10°. Nach einer Viertelstunde versagte die erste jedes Anzeichen von Strom, die zweite gab 9° Ausschlag. In einem anderen Versuch betrug der sogenannte Froschstrom 7°, der Muskelstrom 9°. Nach MATTEUCCI übertriffe aber sonst bei diesen Anordnungen der Froschstrom den Muskelstrom an Stärke und Dauer. Man müsse also schliessen, dafs, gleich der Kälte, die Abwesenheit der Athmung und des Kreislaufes in höherem Mafse schwächend auf den Froschstrom (den Strom des natürlichen Querschnittes) als auf den Muskelstrom (den Strom des künstlichen Querschnittes) einwirke.¹ Im folgenden Jahre berichtete MATTEUCCI dasselbe, wie von der Kälte, so auch von dem Erstickungstode und dem durch Verblutung (S. oben Abth. I. S. 176. Abth. II. S. 30).

Von den schädlichen Einflüssen, die hier angewendet wurden, läfst sich offenbar annehmen, dafs sie den Ernährungsvorgang in den Muskeln beeinträchtigen. Wir könnten folglich das Ergebnifs der Versuche CIMA's und MATTEUCCI's als vorläufige Bestätigung unserer obigen Muthmassung ansehen. Denn dies Ergebnifs, in unsere Sprache übersetzt, würde heifsen, dafs die parelektronomische Schicht durch die schädlichen Einflüsse weiter ausgebildet worden sei.

Indessen hat MATTEUCCI, wie man sich erinnert (S. oben S. 121), seine Behauptung, dafs der Froschstrom den Muskelstrom bei diesen Anordnungen an Stärke übertreffe, später dergestalt eingeschränkt, dafs diese Einschränkung einer Zurücknahme gleich kommt. Dadurch hat er aber offenbar zugleich der jetzt in Rede stehenden Behauptung den Boden unter den Füfsen fortgezogen, wonach der Froschstrom stärker als der Muskelstrom die Wirkung jener schädlichen Einflüsse erfahren solle. Unter diesen Umständen ist auf seine und CIMA's frühere Versuche nichts mehr zu geben. Das Uebergewicht des Stromes des

¹ Saggio storico-critico ec. p. 473. §. 39. p. 508. 509. §. 25. 26.*

künstlichen Querschnittes über den des natürlichen kann in diesen Versuchen ebensogut beruht haben auf der Gegenwart der gewöhnlichen parelektronomischen Schicht, vielleicht durch Temperaturerniedrigung zufällig etwas höher entwickelt, als auf dem Einflusse der Verblutung oder der unterdrückten Athmung.

Auf folgende Weise habe ich die Untersuchung in Angriff genommen, ob wirklich durch jede Beeinträchtigung des Ernährungsvorganges in den Muskeln die parelektronomische Schicht höher entwickelt werde. Ich besafs einen großen Vorrath von Fröschen, die seit ihrem Fange, der an Einem Tage stattgefunden hatte, unter gleichen Bedingungen gelebt hatten. Sechs von diesen Fröschen schnitt ich ihre zwölf Gastroknemien aus, bildete aus den sechs rechten und aus den sechs linken zwei Säulen, und verglich die elektromotorischen Kräfte dieser Säulen, indem ich sie erst zusammen, als zwölfgliederige Säule, in einer Richtung wirken, hernach sich einander entgegenwirken liefs. Leider befand sich an diesen Fröschen die parelektronomische Schicht bereits auf einem hohen Grade der Ausbildung, so dafs ich, bei dem ungeheuren Widerstande der zwölf Muskeln, mich genöthigt sah, den Multiplikator für den Nervenstrom anzuwenden. Dessen Nadel wurde durch die gemeinsame Wirkung der beiden Säulen noch eben gegen die Hemmung geführt. Dagegen wenn beide Säulen einander entgegenwirkten, entstand ein Ausschlag von nur 4—6°. Diesen Versuch wiederholte ich noch dreimal an drei anderen Halbdutzenden von Fröschen. So gewann ich die Ueberzeugung, dafs die Zahl von sechs Muskeln bereits so ziemlich ausreicht, um die Unterschiede sich ausgleichen zu machen, die zwischen dem Entwicklungszustande der parelektronomischen Schicht an den beiden Gastroknemien eines und desselben Frosches zu bestehen pflegen (S. oben S. 126). Nun nahm ich abermals zwölf Frösche derselben Sippschaft, zerschnitt sechs davon den rechten Ischiadicus in der Kniekehle, und unterband den sechs übrigen die Gefäfsstämme ebendasselbst. Dies ist, um den Ernährungsvorgang im Muskel zu beeinträchtigen, ohne Zweifel der Weg, der am sichersten und gleichmäfsigsten zum Ziele führt. Der Lymphraum des Unterschenkels blieb dabei uneröffnet, um den natürlichen Querschnitt vor dem Eindringen entwickelnder Flüssigkeit zu schützen. Die Hautwunde wurde durch eine Naht geschlossen. In diesem Zustande bewahrte ich die Frösche dreimal vierundzwanzig Stunden in der gewöhnlichen Weise (auf dem nassen, oben Bd. I. S. 458 beschriebenen Wege) auf. Mit den Gastroknemien dieser Frösche verfuhr ich nun wie vorhin mit denen der unverletzten. Es gab sich aber gar kein Unterschied zwischen ihrem Verhalten und dem jener zu erkennen. Die Säule aus den Gastroknemien mit durch-

schnittenen Nerven oder unterbundenen Gefäßen im Verein mit der aus den Gastroknemien der gesunden Seite warf die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom noch eben an die Hemmung, bei Entgegensetzung der Säulen entstand ein Ausschlag von 4—6°, und zwar hatte sogar die Säule aus den Gastroknemien mit durchschnittenen Nerven oder unterbundenen Gefäßen das kleine Uebergewicht. Eine weitere Ausbildung der parelektronomischen Schicht hatte unter diesen Umständen also ganz gewiß nicht stattgefunden. Eher wäre sogar das Ergebnis zu deuten gewesen auf eine Rückbildung der Schicht, insofern zu vermuthen steht, daß der Strom des künstlichen Querschnittes unter dem Einflusse der Nervendurchschneidung und der Gefäßunterbindung eine Schwächung erleidet. Doch habe ich eine solche Schwächung nach dieser Frist noch nicht nachzuweisen vermocht. Wenn sie vorhanden ist, fällt sie jedenfalls innerhalb der hier allerdings sehr weiten Grenzen der Beobachtungsfehler (S. oben S. 128. 129).

Somit scheint es also, als ob, hinsichtlich der physiologischen Bedeutung der parelektronomischen Schicht, auf diesem Wege kein Aufschluß zu erlangen wäre. Die Vermuthung, daß die Ausbildung der parelektronomischen Schicht die Folge einer jeden Beeinträchtigung des Ernährungsvorganges des Muskels sein werde, hat sich nicht bestätigt gefunden. Es sei denn, daß vielleicht die Frist von dreimal vierundzwanzig Stunden noch nicht lang genug gewesen, um merkliche Erscheinungen hervortreten zu lassen; oder auch daß die auf diesem Wege zu erreichende Ausbildung der parelektronomischen Schicht eine Grenze habe, welche in den von mir zu den obigen Versuchen angewendeten Muskeln bereits überschritten war in Folge anderer auf die Ausbildung der Schicht gerichteter Einflüsse. Jedenfalls würde alsdann doch die Kälte an Stärke der Wirkung außerordentlich die Nervendurchschneidung und die Unterbindung der Gefäße übertreffen.

Auch von der Schwefelwasserstoffvergiftung berichtet MATTEUCCI, wie von der Kälte, dem Erstickungstode, der Verblutung (S. oben S. 30. 138), daß sie auf den Froschstrom einen stärkeren Einfluß ausübe als auf den Muskelstrom, d. h., nach unserer Redeweise, daß sie die Ausbildung der parelektronomischen Schicht befördere. Ich habe nunmehr (Vergl. oben Abth. I. S. 174) auch einen solchen Versuch angestellt, ohne jedoch auf irgend eine auffallende Erscheinung zu stoßen, wodurch ich aufgefordert worden wäre, länger bei dem Gegenstande zu verweilen. Ich brachte sechs Frösche unter eine mit Wasser abgesperrte Glocke. Das Gasentbindungsrohr mündete unter der Oberfläche des Wassers in der Glocke, ein anderes Rohr verband den Luftraum der Glocke mit der freien Luft. Als das Gas zu strömen anfang, wurde

also zuerst das Sperrwasser mit Schwefelwasserstoff geschwängert, und dann die Luft aus der Glocke durch das Gas verdrängt. Nach wenigen Minuten begannen die Frösche ängstlich umherzuspringen. Nach abermals wenigen Minuten waren sie dermaßen betäubt, daß sie bei ihren Sprüngen auf den Rücken fielen. Einige sperrten das Maul weit auf. Endlich nach zehn Minuten waren alle todt. Das Blut war schwarz gefärbt, alle blutreichen Organe schwarzblau. Doch antworteten die Muskeln noch auf den Reiz des unmittelbar daran gelegten Zinkplatinbogens (S. oben Bd. I. S. 445), und die GALVAN'schen Präparate wirkten nicht nur nicht schwächer, sondern im Mittel sogar um ein Namhaftes stärker als die von sechs Fröschen derselben Sippschaft, die nicht vergiftet worden waren. Den Strom des künstlichen Querschnittes habe ich nicht geprüft. Sollte aber dieser Strom wirklich, wie MATTEUCCI es angiebt, durch die Schwefelwasserstoffvergiftung in ganz besonderem Mafse beeinträchtigt werden, so würde aus dem obigen Ergebnifs um so mehr zu schliessen sein, daß die palelektronomische Schicht durch diese Todesart nicht höher entwickelt wird.

Von vielen und wichtigeren Aufgaben bedrängt, habe ich hier diese Untersuchung auf sich beruhen lassen, in der sich nicht nur, wie man gesehen hat, die gewöhnlichen Schwierigkeiten der thierisch-elektrischen Versuche in's Ungemeine steigern, sondern auch noch der Fall eintritt, daß es, hinsichtlich des nunmehr einzuschlagenden Weges, vor der Hand an jedem Fingerzeig gebricht. Je mangelhafter ich aber an dieser Stelle den Stand der Dinge zurücklassen muß, um so dringender empfehle ich sie denjenigen, die sich mit der Fortführung meiner Arbeiten befassen wollen, zum Angriffspunkte ihrer Forschungen. Es kann nicht ausbleiben, daß mit ungetheilten Kräften auf diesen Punkt gerichtete nachhaltige Bestrebungen eine reiche Erndte wichtiger Ergebnisse zu Tage fördern.

12. Von dem elektromotorischen Verhalten der Muskeln im palelektronomischen Zustande bei der Zusammenziehung und von der elektromotorischen Nachwirkung des Tetanus.

- (1) Von der Erscheinungsweise der negativen Schwankung bei der Zusammenziehung an den Muskeln im palelektronomischen Zustande.

Ich habe natürlich nicht versäumt, mich zu unterrichten, wie die negative Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung sich im palelektronomischen Zustande der Muskeln gestalten würde. Bei dem Stande unserer Kenntnisse und Vorrichtungen bietet der Versuch

keine weiteren Schwierigkeiten dar. Es handelt sich offenbar nur darum, den Strom des Gastroknemius von seinen sehnigen Enden abzuleiten, ohne daß bei der Zusammenziehung die Kette geöffnet werde. Dies läßt sich leicht mit Hilfe der kleinen Streckvorrichtung bewerkstelligen (S. oben Abth. I. S. 67. 77. 86. 130. 607. Taf. I. Fig. 86. 87), in welcher der Muskel so ausgespannt werden kann, daß seine beiden sehnigen Enden den Zuleitungsbüschchen zugänglich bleiben.

Die ursprüngliche, a. a. O. gegebene Vorschrift hiezu lautet, dem Muskel das obere und untere Knochenstück zu lassen, an welche er sich heftet, und seine Sehnen durch die Spalte in den Elfenbeinplatten Fig. 87 *A*, *A*₁, *B*, *B*₁ zu zwängen, so daß die Knochenstücke gewissermaßen die Handhaben vorstellen, an denen der Muskel Behufs der Dehnung ergriffen und von welchen der Strom abgeleitet wird. Für den Muskelkopf ist gegen diese Vorschrift im Wesentlichen nichts einzuwenden. Was aber das untere Ende betrifft, so ist zu bemerken, daß erstens die Achillessehne häufig von der Fußwurzel abreißt, zweitens die Muskeln der Fußwurzel leicht auf eine sehr störende Weise elektromotorisch wirken. Um letzteres zu verhindern wurde oben Abth. I. S. 132 gerathen, die Fußwurzel oder das untere Knochenstück vor dem Versuch in warmer Kochsalzlösung unwirksam zu machen. Hier würde natürlich dies Verfahren sehr bedenklich sein, da es schwer halten möchte, dabei den natürlichen Querschnitt des Muskels von jeder stromentwickelnden Einwirkung seitens der Lösung freizuhalten. Ich schlug daher einen anderen Weg ein, welcher in Folgendem besteht. Die Fußwurzel wird ganz entfernt. Ein starker Faden wird oberhalb des Sesamknorpels um die Achillessehne in Gestalt eines Weberknotens fest zusammengezogen, die Sehne durch den Spalt der Elfenbeinplatte so gelegt, daß die Schlinge des Fadens sich außerhalb befindet und der Faden um die Platte festgebunden. Zum Ueberflufs kann man den Faden auch noch an der inneren Seite der Platte um die Sehne, und dann nochmals um die Platte festbinden. So ist die Sehne hinreichend fest mit der Platte verbunden, um den Muskel bis zur Zerreißung zu spannen. An das Ende der Sehne unterhalb des Sesamknorpels wird der Zuleitungsbüsch angelegt.

Wird nun auf diese Art der Gastroknemius, dem der Ischiadnerv gelassen worden ist, mit sehnigen Enden unverrückbar in den Kreis der Kette gebracht, so erhält man, je nach der Stufe des parelektronomischen Zustandes, auf der sich der Muskel befindet, entweder einen negativen, oder keinen, oder einen schwachen positiven Ausschlag. Tetanisirt man auf elektrischem Wege vom Nerven aus (S. oben Abth. I. S. 35 ff.), so sieht man in allen drei Fällen einen Ausschlag in ab

steigendem Sinn erfolgen. Wenn der Muskel bereits negativ wirksam war, so erfolgt also in Bezug auf das Zeichen des schon vorhandenen Stromes, statt einer negativen, eine positive Wirkung; wenn er unwirksam war, so wird er im Augenblick der Zusammenziehung negativ wirksam; endlich, wenn er bereits positive Wirksamkeit besaß, so übersteigt die erfolgende negative Wirkung bei weitem diejenige, die von einem bloßen Aufhören der positiven Wirkung und von dem Freiwerden der durch sie entwickelten Ladungen herrühren könnte.

Dies läßt sich leicht zeigen, erstlich, indem man die Zuleitungsbüchse, neben dem Gastroknemius, noch mit dem Schließungsbausch überbrückt. Trotz der so sehr viel besseren Leitung bleibt häufig der Ausschlag unter dem, den man durch Tetanisiren erhält. Zweitens, indem man auf die oben Abth. I. S. 60 dargelegte Art die Ladungen ganz aus dem Spiel bringt, indem man nämlich die Muskelkette erst schließt, nachdem man begonnen hat zu tetanisiren. A. a. O. hatte dies Verfahren mit einem Muskel, dessen Strom vollständig, oder nahezu vollständig entwickelt war, einen positiven Ausschlag zur Folge, obwohl schwächer, als vom ruhenden Muskel. So bewiesen wir damals, daß es sich bei der negativen Schwankung, trotz dem durch die Ladungen bedingten Anschein, nur um eine Abnahme, nicht um Umkehr der Gesamtwirkung des Muskels während der Zusammenziehung handle. Hier dagegen, wo wir am Muskel im parelektronomischen Zustande beobachten, ist der Erfolg der umgekehrte. Der Ausschlag, den man beim Schließen der Muskelkette nach dem Beginn des Tetanus erhält, ist stets negativ.

Man kann aber leicht diese Erscheinungsweise im Versuch überleiten in die gewöhnliche, uns von früher her geläufige. Dazu ist nur nöthig, den parelektronomischen Gastroknemius, statt mit sehnigen Enden, mit natürlichem Längs- und Querschnitt in den Kreis zu bringen. Alsdann nämlich entwickelt sich, wie wir bereits wissen, stetig der positive Strom des Muskels, wegen des an die Ausbreitung der Achillessehne angelegten Eiweißhäutchens (S. oben S. 35. 36. 53). Wiederholt man unter diesen Umständen mehrmals nach einander den Versuch, die Kette erst zu schließen, nachdem der Tetanus begonnen hat, so sieht man zwar anfangs die Nadel negativ abgelenkt werden. Diese negativen Ausschläge werden aber immer kleiner. Zuletzt gehen sie durch Null über in positive Ausschläge, und nun ist man genau in den oben erinnerten Versuch, Abth. I. S. 60, zurückgefallen. Verfährt man auf dieselbe Weise mit künstlichem Querschnitt statt mit natürlichem, so erhält man gleich das erstmal Anschlagen an die positive Hemmung.

Ist der Muskel mit sehnigen Enden in die Kette gebracht, so daß

keine entwickelnde Ursache den natürlichen Querschnitt treffen kann, so sieht man die Nadel, nach Beendigung des Tetanus, stets ihre frühere Stellung nahezu wieder einnehmen, nie sie überschreiten. Es liegt also in heftigen und andauernden Zusammenziehungen kein Grund zur Rückbildung der parelektronomischen Schicht.

Die Untersuchung des zuckenden parelektronomischen Muskels mittelst des stromprüfenden Froschschenkels lehrt schliesslich, in Uebereinstimmung mit allem Vorhergehenden, dafs auch ein solcher Muskel im Stande ist, die secundäre Zuckung in allen ihren Gestalten hervorzu- bringen, so gut wie ein Muskel der im vollen Besitze seines Stromes ist (S. oben Abth. I. S. 93 ff.). Tetanisirt man den parelektronomischen Muskel, so geräth der stromprüfende Schenkel, dessen Nerv dem Muskel entlang gelegt ist, in secundären Tetanus, zum Beweise, den die Multiplicatornadel nicht zu liefern vermag (S. oben Bd. I. S. 409. Bd. II. Abth. I. S. 87. 528), dafs der bei der Zusammenziehung hier entstehende Strom unterbrochener Art ist, gleich der negativen Schwankung beim Tetanisiren nicht parelektronomischer Muskeln. Die Curve jenes Stromes bezogen auf die Zeit würde eine kammförmige Gestalt haben, etwa wie die Curve $k_I k_{III}$ in Fig. 89. Taf. I. Bd. II, allein statt auf die Gerade Ot , auf die Gerade $+k = const.$ als Abscissenaxe bezogen.

(ii) Erklärung der absolut negativen Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung im parelektronomischen Zustande.

Durch die Ergebnisse dieser neuen Versuche stellt sich die negative Schwankung des Muskelstromes als eine absolut negative dar, d. h. als eine solche, die selbst dann negativ bleibt, wenn auch der ursprüngliche Strom sich in's Negative verkehrt hat. Man erinnert sich, dafs wir zu demselben Ergebnifs bereits für die negative Schwankung des Nervenstromes gelangt sind, welche die heftige und andauernde Innervation begleitet. S. oben Abth. I. S. 553. 564. Ich habe damals bereits angedeutet, dafs wir, in Betreff der Muskeln, das Gleiche finden würden, und beide Thatsachen als gleichbedeutend angesprochen. Indessen war ich zu jener Zeit in das Wesen des parelektronomischen Zustandes der Muskeln noch nicht tief genug eingedrungen. Ich hatte insbesondere diesen Zustand noch nicht als einen solchen des alleinigen natürlichen Querschnittes aufgefaßt, sondern ich stellte mir noch vor, der Muskel befinde sich dabei durch und durch im unwirksamen oder im negativ peripolaren Zustande, und der Strom des künstlichen Querschnittes entwickle sich nur äufserst schnell durch unbekannte Umstände, während der des natürlichen Querschnittes dazu mehr Zeit bedürfe (Vergl. oben S. 75. 112).

Diese Voraussetzung hat jetzt weichen müssen, und wir wissen nun, daß der unwirksame oder negativ wirksame Zustand, in den die Nerven und auch die Muskeln unter Umständen durch allerhand Mißhandlungen gerathen, und der beim ersten Anblick ihm ähnliche, in den die Muskeln durch die dauernde Einwirkung der Kälte verfallen, wesentlich von einander verschieden sind. Im ersten Fall ist wirklich durch die ganze Masse der thierischen Erreger eine verschiedene Anordnung der elektromotorischen Molekeln eingetreten, was sich daraus ergibt, daß jeder neue künstliche Querschnitt sich unwirksam oder positiv verhält. Im zweiten Falle lassen sich die Erscheinungen nur unter der Voraussetzung erklären, daß im Inneren des Muskels überall die gewöhnliche, positiv peripolare Anordnung herrsche, daß aber der natürliche Querschnitt der Sitz einer abweichenden Lagerungsweise der elektromotorischen Molekeln sei.

Demgemäß gestalten sich denn auch die Schlüsse verschieden, die wir in beiden Fällen in Betreff des eigentlichen elektromotorischen Vorganges während des Tetanisirens zu ziehen haben. Was die absolut negative Schwankung des Stromes an dem negativ wirksamen Nerven betrifft, so ist nicht anders zu sagen, als daß der Nerv während der Innervation noch stärker negativ thätig wird, es sei denn, daß man annehme, daß in diesem Falle die negative Schwankung nur von einzelnen Primitivröhren ausgeht, die der Stromesumkehr noch nicht unterworfen sind. Keinesweges aber paßt diese Schlusfolgerung ohne weiteres auf den im parelektronomischen Zustande befindlichen Muskel, der entweder unwirksam oder negativ wirksam aufliegt, und, bei der Zusammenziehung, plötzlich negative Kräfte zu entfalten scheint.

Man stelle sich nämlich den Muskel vor, seine Molekeln durch und durch in positiv peripolarer Anordnung, nur am natürlichen Querschnitt eine Schicht Molekeln befindlich, die zum Theil positive Pole nach außen kehren. Je nach dem Verhältniß der Zahl der Punkte des Querschnittes, die solchergestalt positiv wirken, zu der der Punkte, wo die negative Wirksamkeit der zunächst darunter liegenden Schicht positiv peripolarer Gruppen zur Geltung kommt, erscheint der Muskel, unserer durch die Versuche am Kupferzinkschema beglaubigten Theorie des parelektronomischen Zustandes gemäß, positiv wirksam, unwirksam, oder negativ wirksam (Vergl. oben S. 100). Es fragt sich nun, welche Veränderungen werden eintreten müssen, damit der Muskel plötzlich entweder negativ wirksam werde, oder, wenn er dies schon vorher war, mit verstärkter Kraft negativ wirke.

Zunächst ist leicht zu sehen, daß, sobald man annimmt, daß die parelektronomische Schicht Antheil nimmt an der Veränderung, welche

man in der Masse des Muskels voraussetzt, es nicht gelingt, zu einer befriedigenden Deutung der Erscheinungen zu gelangen. Läßt man nämlich, um die negative Schwankung zu erklären, den Muskel und gleichzeitig jene Schicht bei der Zusammenziehung an elektromotorischer Kraft verlieren, oder diese Kraft ganz und gar einbüßen, so wird die Folge unter allen Umständen eine relativ negative Schwankung sein, d. h. es wird, wenn bereits positiver oder negativer Strom vorhanden ist, eine entsprechende Verminderung desselben eintreten; wenn aber der Muskel unwirksam ist, wird die Nadel auch beim Tetanisiren auf Null bleiben. Läßt man den Muskel, und gleichzeitig die parelektronomische Schicht ihre Kraft im Tetanus, statt bloß einbüßen, vielmehr umkehren, gleichviel ob diese Kraft nach der Umkehr eine geringere oder die nämliche Größe erreiche als vorhin, so wird der Erfolg in allen drei Fällen noch immer derselbe, nämlich eine relativ negative Schwankung sein. Ist der ursprüngliche Strom Null, so bleibt auch hier die Nadel auf Null; ist bereits entweder positiver oder negativer Strom vorhanden, so muß sie dem Nullpunkt zueilen, aber mit größerer Heftigkeit als bei Voraussetzung allein einer Kräfteabnahme des Muskels zusammen mit der parelektronomischen Schicht.

Nichts von alledem trifft in Wirklichkeit zu. Versuchen wir daher einmal jetzt, wie sich die Dinge gestalten mögen, wenn wir uns denken, die Kräfte der parelektronomischen Schicht blieben bei der Zusammenziehung unverändert. Auf der Stelle ist jede Schwierigkeit beseitigt.

Damit der Muskel, im Tetanus, eine absolut negative Schwankung zeige, ist es nöthig und zureichend, daß sein Querschnitt im Ganzen genommen positiver werde. Ein Theil dieses Querschnittes besitzt nun schon, wie wir jetzt annehmen, eine unveränderliche Positivität. Es ist derjenige, der mit der parelektronomischen Schicht bekleidet ist. Soll also der Querschnitt, in seiner Gesamtheit, positiver werden, so genügt es, daß die übrigen Punkte desselben entweder weniger negativ, oder neutral oder gar selber positiv werden. Dies wird die Folge davon sein, daß der Muskel, abgesehen von der unveränderlichen parelektronomischen Schicht, beziehlich an Wirksamkeit abnimmt, ganz unwirksam wird, oder gar negativ zu wirken beginnt, immerhin bis zu dem Grade, bis zu dem er im ruhenden Zustande mit künstlichem Querschnitt positiv wirksam ist.

So werden wir zu der merkwürdigen Einsicht geführt, daß die parelektronomische Schicht an dem Molecularmechanismus der Zusammenziehung keinen Antheil hat. Mit diesem Ergebniss stimmt augenscheinlich die oben S. 144. 145 erwähnte Thatsache, daß der Tetanus die

Entwicklungsstufe des Stromes des natürlichen Querschnittes unverändert läßt. Zwar könnte man sich auch vorstellen, daß sich aus jeder einzelnen Zuckung die ursprüngliche Anordnung der Kräfte am natürlichen Querschnitt stets genau wiedergebiert. Einfacher jedoch ist es jedenfalls sich zu denken, wozu wir jetzt also ohnehin gedrängt werden, daß die elektromotorischen Molekeln, die die palelektromische Schicht ausmachen, bei der Zusammenziehung überhaupt gar nicht theilhaft sind.

(m) Folgerungen aus dem Vorhergehenden für die Frage, ob der Muskelstrom bei der Zusammenziehung nur abnehme oder sich umkehre.

Nachdem wir, im vierten Kapitel dieses Abschnittes, die Erscheinung des secundären Tetanus entdeckt hatten, schlossen wir, daß die gleichzeitig sich am Multiplicator kundgebende Abnahme des Stromes möglicherweise ein ganz trüglicher Anschein sei. Der secundäre Tetanus beweist uns, daß die negative Schwankung keine stetige sei, sondern sich zusammensetzt aus einer dichtgedrängten Reihe kurzer und schneller Schwankungen im negativen Sinne. Die Curve des Muskelstromes bezogen auf die Zeit muß im Tetanus die Gestalt eines Kammes haben, dessen Zähne gegen die Abscissenaxe gekehrt sind. Völlig ungewiß aber bleibt man über die Tiefe, bis zu welcher, in Bezug auf die Abscissenaxe, die Spitzen dieser Zähne reichen. Sie können nicht bis zur Axe reichen; sie können sie erreichen; sie können aber auch darüber hinausgehen, und zwar immerhin so weit, daß eine vollständige Umkehr des Muskelstromes dadurch zu Stande kommt. Alle diese Fälle sind denkbar, und der elektromagnetische Stromprüfer vermag sie ebensowenig von einander zu unterscheiden, als von dem Falle der stetigen Abnahme des Stromes, der aber durch die Erscheinung des secundären Tetanus ausgeschlossen ist (S. oben Abth. I. S. 90. 120. 142. 447. 528. Fig. 89. Taf. I).

Natürlich hatten wir in der Beantwortung der Frage, welcher von diesen Fällen denn nun in der Wirklichkeit stattfindet, sofort eine der wichtigsten uns gestellten Aufgaben erkannt. Auf folgende Weise suchten wir diese Aufgabe zu lösen.

Darauf verzichteten wir von vorn herein, auszumachen, ob, in dem Fall der Muskel bei der Zusammenziehung nicht negativ wirksam würde, sein Strom nur abnehme, oder ganz verschwinde, und ob, in dem Fall der Muskel negativ wirksam würde, sein Strom dieselbe Höhe im negativen Sinne erreiche, die er während der Ruhe im positiven Sinne besitzt, oder nicht. Zu einer solchen Entscheidung würden

messende Versuche gehören, an deren Ausführung wir nicht denken konnten.

Unthunlich schien uns dagegen nicht, zu entscheiden zwischen den beiden Möglichkeiten, ob die Curve der Muskelstromstärken bezogen auf die Zeit im Augenblick der Zuckung diesseits der Abscissenaxe bleibe, oder sie überschreite. Dazu schien uns nichts weiter nothwendig als den Versuch zu machen, den Muskelstrom in den Multiplicatorkreis aufzunehmen immer nur in dem Augenblick der Zusammenziehung. Erfolgte alsdann ein Ausschlag in negativer Richtung, so meinten wir, würde dies den Beweis dafür liefern, daß sich der Muskelstrom bei der Zusammenziehung wirklich umkehre.

Unsere Bemühungen zu diesem Zwecke schlugen bekanntlich fehl. Wir bekamen, mit Hülfe der damals ersonnenen Versuchsweisen, keinen negativen Ausschlag zu sehen. Dieser verneinende Erfolg durfte begreiflich nicht ohne Weiteres so gedeutet werden, als sei nun ausgemacht, daß der Muskelstrom bei der Zusammenziehung positiv bleibe. Vielmehr konnte dieser Erfolg eben so gut zur Last gelegt werden der Unvollkommenheit der Mittel, die wir angewendet hatten, um die negative Wirkung im Augenblick der Zusammenziehung zu sondern von der positiven Wirkung während der Ruhe des Muskels. Auch erklärten wir sogleich diese Untersuchung nicht für abgeschlossen, sondern nur für vertagt auf eine spätere Gelegenheit (S. oben ebendas. S. 126).

Jetzt finden wir uns unerwartet darauf zurückgeführt. Und man könnte beim ersten Anblick glauben, wir seien nun zur Entscheidung gelangt, nach der wir damals strebten. Dem Anschein nach hat sich uns das Ergebniss, von dem wir diese Entscheidung erwarteten, jetzt unverhofft und mühelos in die Hände gespielt. Wir erhalten, so oft wir wollen und bei Ausschluß der Ladungen, negative Ausschläge von den Gastroknemien bei der Zusammenziehung, und es bedarf dazu gar nicht erst der künstlichen Aussonderung der Wirkung des zusammengezogenen Muskels. Die negative Wirkung bei der Zusammenziehung übertrifft hinreichend die während der Ruhe, um einen tetanisirten Muskel negativ wirksam erscheinen zu lassen, wofern nur der Muskel vorher der Kälte ausgesetzt war, so daß seine parelektronomische Schicht höher entwickelt worden ist, und wofern er nur so in den Multiplicatorkreis gebracht wird, daß er vor Entwicklung seines positiven Stromes geschützt ist.

Indessen bei näherer Betrachtung sieht man bald, daß diese Schlussfolge fehlerhaft ist. Es zeigt sich ganz im Gegentheil nicht allein, daß durch unsere jetzigen Beobachtungen jene schweben gebliebene Frage nicht erledigt ist, sondern es ergibt sich auch daraus, daß sie auf

dem Wege, den wir damals einschlugen, wenigstens ohne Zuhülfenahme fernerer Betrachtungen und experimenteller Kunstgriffe, gar nicht erledigt werden könne. Der negative Ausschlag der tetanisirten Gastroknemien beweist nicht mehr, wie wir damals zu glauben berechtigt waren, daß der Muskelstrom bei der Zusammenziehung sich umkehrt. Durch die Entdeckung der parelektronomischen Schicht hat er in dieser Angelegenheit die entscheidende Stimme eingebüßt. Er hat fortan nicht mehr zu bedeuten als der Ausschlag, der in einem Kreise, in dem zwei Muskeln, oder ein Muskel und eine Kette von beständiger Kraft sich das Gleichgewicht halten, im negativen Sinne des tetanisirten Muskels, im positiven des ruhenden oder im Sinne der Kette von beständiger Kraft erfolgt.

Nach dem in der vorigen Nummer (n) gesagten bedarf dies kaum einer Erläuterung. Sei m die positive Kraft des ruhenden Muskels abgesehen von der parelektronomischen Schicht, p die negative Kraft dieser Schicht, $m > p$. Der ruhende Muskel nebst der Schicht übt also in der Zeiteinheit eine dem Unterschiede $m - p$ proportionale elektromagnetische Wirkung im positiven Sinne aus (Vergl. oben S. 127). Sei ferner m' die nach Zeichen und Gröfse unbekannte Kraft, mit der der Muskel, ohne die Schicht, im Augenblick der Zusammenziehung wirksam ist, t der Bruchtheil der Zeiteinheit, der durch die Stöße ausgefüllt wird, aus denen sich der Tetanus zusammensetzt, r der übrige Bruchtheil der Zeiteinheit, der die Zwischenzeiten der Ruhe umfaßt ($t + r = 1$). Die elektromagnetische Wirkung, die der Muskelstrom im Tetanus während der Zeiteinheit ausübt, ist alsdann proportional der Summe

$$(m' - p)t + (m - p)r. \quad (I)$$

Es ist klar, daß dieser Ausdruck auch für positive Werthe von m' negativ werden kann, sobald nur p hinlänglich groß, m' und $r:t$ hinlänglich klein genommen werden. Keinesweges braucht dazu m' selber negativ zu sein. Dies ist die Zergliederung unseres neuen Versuches, wo zwar m' und $r:t$ denselben Werth gehabt haben mögen wie bei den älteren, wo aber p viel größer war. Daher der verschiedene Erfolg, der aber sofort in jenen früheren zurückfiel, sobald wir, durch die bekannten Kunstgriffe, den Werth von p gehörig herabsetzten (S. oben S. 144).

Sehen wir nun zu, was geschehen würde, wenn es uns gelänge, die Reihe der negativen Stöße im Tetanus wirklich genau auszusondern. Wir würden eine Wirkung erhalten proportional

$$(m' - p)t. \quad (II)$$

Augenscheinlich wird bei gleichem Werth von p dieser Ausdruck bereits für ein größeres positives m' negativ werden als der (I), da das

unveränderlich positive zweite Glied aus diesem letzteren hinweggefallen ist. Aber wenn m' sollte gleich Null sein, so muß sogar der Ausdruck (II) unter allen Umständen negativ werden, sobald nur p den geringsten Werth hat.

Die Leichtigkeit, mit der die secundäre Zuckung vom Muskel aus erfolgt, läßt schliessen, daß m' , wenn es ja einen positiven Werth besitzt, doch jedenfalls nur sehr klein sein kann. Es ist folglich nicht zu bezweifeln, daß es wirklich nur an der Unvollkommenheit unseres Verfahrens lag, wenn es uns, bei unseren früheren Versuchen, nicht gelang, negative Ausschläge von den Muskeln in den ausgesonderten Augenblicken der Zusammenziehung zu erhalten. Allein wenn uns dies gelungen wäre, und wir hätten, wie wir damals nicht anders konnten, daraus geschlossen auf den negativen Werth von m' , so würde dies, wie man jetzt sieht, ein Fehlschluss gewesen sein. Jene negative Wirkung könnte zwar die Summe sein des negativen p und eines negativen m' . Aber es bliebe noch immer die Aufgabe ungelöst, zu entscheiden zwischen dieser Möglichkeit und derjenigen, daß m' Null sei oder gar einen kleinen positiven Werth besitze. Die Erörterung der Frage, welche Aussichten jetzt noch übrig bleiben für die Lösung dieser Aufgabe, und die Verwirklichung der Methoden, auf welche uns diese Erörterung etwa führen sollte, behalten wir einem späteren Orte vor.

(iv) Von der negativen Nachwirkung des Tetanisirens der Muskeln auf ihren Strom.¹

Die Untersuchung der negativen Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung an stark parelektronomischen Muskeln ist geeignet, eine Besonderheit jener Erscheinung erkennen zu lassen, die uns in unseren früheren, an minder stark parelektronomischen Muskeln angestellten Versuchen, nothwendig entgangen war. Wir haben uns nämlich bisher stets vorgestellt (Vergl. Fig. 89. Taf. I dieses Bandes), daß die Curve des Muskelstromes bezogen auf die Zeit, in den Zwischenräumen zwischen den einzelnen Stößen, aus denen sich der Tetanus zusammensetzt, wie auch sofort nach Beendigung des Krampfes, diejenige Höhe wieder ersteige, die ihr im Ruhezustande des Muskels zukommt. Dem ist jedoch nicht so, wie aus folgenden Versuchen hervorgeht.

Bei Gelegenheit einer Versuchsreihe, deren eigentlicher Zweck nachmals aufgegeben wurde, kam ich in den Fall, das eine Bein ächter GALVANI'scher Präparate (S. oben Bd. I. S. 467) im parelektronomi-

¹ S. DU BOIS-REYMOND in Comptes rendus etc. 8 Avril 1850. t. XXX. p. 408;* — Annales de Chimie et de Physique. Octobre 1850. 3. Série. t. XXX. p. 186.*

schen Zustände vom Rückenmark aus bis zur Erschöpfung zu tetanisiren, während das andere Bein in Ruhe blieb, dessen Sitzbeinnerv nämlich durchschnitten war. Sobald das tetanisirte Bein auch auf die stärksten Schläge meiner älteren Inductionsvorrichtung (S. oben Bd. I. S. 447) vom Rückenmark aus Zuckungen versagte, wurde auch sein Sitzbeinnerv zerschnitten, und somit das ächte GALVANI'sche Präparat in unser unächttes verwandelt (S. oben Bd. I. a. a. O.). Alsdann prüfte ich schnell nacheinander jedes der beiden Beine am Multiplicator auf die Stärke seines Stromes, ohne dabei die Beine durch Spaltung des Beckens in der Längsmittlebene von einander zu trennen. Dies geschieht leicht, indem man sich des Beines, dessen Fuß gerade nicht eingetaucht werden soll, als einer Handhabe bedient, um das beiden Beinen gemeinschaftliche Beckenende des Präparates in dem entsprechenden Zuleitungsgefäß zu regieren. Um das nicht einzutauchende Bein dabei vollends vor jeder leitenden Verbindung mit der Vorrichtung, wie auch vor Benetzung mit Kochsalzlösung zu sichern, schlägt man es in eine nichtleitende wasserdichte Hülle von Kautschuk oder Guttapercha ein.

Ich fand nun, zu meinem Erstaunen, sehr regelmäfsig, dafs die ersten Ausschläge vom tetanisirten Beine sich weit unter denen vom ruhig gebliebenen Beine hielten; ja dafs meistens das tetanisirte Bein einen absteigenden Ausschlag gab, während doch die Frösche, von denen diese Präparate herrührten, nur im Eiskeller erkältet waren, was gemeinlich noch keine negative Wirksamkeit bedingt (Vergl. oben S. 131). In vier Versuchen gaben z. B. die in Ruhe gebliebenen Beine die ersten Ausschläge $+ 19^{\circ}$; $+ 40^{\circ}$; $+ 17^{\circ}$; $+ 50^{\circ}$; die tetanisirten die ersten Ausschläge $- 19^{\circ}$; $- 10^{\circ}$; $- 2^{\circ}$; $+ 15^{\circ}$. Wurden darauf die Beine der Benetzung mit der Kochsalzlösung der Gefäße bei wiederholtem Auflegen preisgegeben (S. oben S. 34. 47. 48), so holte der positive Strom des tetanisirten Beines schnell den des in Ruhe gebliebenen ein. Dafs die gleichnamigen Muskeln der beiden Beine sich auf einer beträchtlich verschiedenen Stufe des parelektronomischen Zustandes befinden, ist, wie man sich erinnert, an und für sich nichts ungewöhnliches (S. oben S. 126. 140). Allein dafs hier dem in Ruhe gebliebenen Beine beständig ein positives Uebergewicht zukam, und zwar ein viel zu bedeutendes, um es blofs auf Rechnung der durch den Tetanus bewirkten Erschöpfung bringen zu können, dies schien darauf zu deuten, dafs der Tetanus, auch über seine eigene Dauer hinaus, eine Veränderung des Stromes im negativen Sinne bedinge.

Aehnliche Erfahrungen machte ich an den GALVANI'schen Präparaten parelektronomischer Frösche, die durch Gehirnerschütterung getödtet

und in Folge dessen in Tetanus verfallen waren (S. oben Bd. I. S. 459. Bd. II. Abth. I. S. 32). Hier entbehrte ich indess der Bürgschaft, welche in den vorigen Versuchen aus dem Zustande des einen Beines für das Ungewöhnliche des Zustandes des anderen Beines hervorging. Es konnte mir nur auffallen die im Verhältniß zur erlittenen Kälte ungewöhnlich tiefe Entwicklungsstufe der positiven Wirksamkeit, auf der ich das Präparat bei der ersten Prüfung dem Anscheine nach fand. Um nun hierüber in's Reine zu kommen, wurde folgendermaßen verfahren.

Ein im parelektronomischen Zustande stromloser oder schwach positiv wirksamer Gastroknemius, dem sein Sitzbeinnerv gelassen war, wurde in der kleinen Streckvorrichtung auf die oben S. 143 beschriebene Art mäfsig ausgespannt und zwischen die Zuleitungsbäusche in den Multiplicatorkreis gebracht. Entweder war dieser offen an einer Stelle, wo sich ein Quecksilbernapf mit verquicktem Schließungshaken befand, um ihn rasch und sicher schliessen zu können (S. oben Abth. I. S. 424. 425), oder es wurden die Zuleitungsbäusche neben dem Gastroknemius mit dem Schließungsbausch überbrückt. Schloß man entweder den Multiplicatorkreis oder entfernte man den Schließungsbausch, je nachdem die eine oder die andere von diesen Anordnungen getroffen war, so gab sich also an der Nadel die elektromotorische Wirkung des Gastroknemius zu erkennen.

Der Sitzbeinnerv des Gastroknemius lag auf den Blechen der stromzuführenden Vorrichtung auf. Diese stellten die Enden der inducirten Rolle meines Schlitten-Magnetelektromotors vor (S. oben Abth. I. S. 48. Anm. 1. S. 393. Anm. 1). Die Feder des Magnetelektromotors spielte; allein der inducirende Kreis war an einer Stelle geöffnet, wo sich, wie in dem Multiplicatorkreise bei der einen der beiden beschriebenen Anordnungen, ein Quecksilbergefäß mit verquicktem Schließungshaken befand. Auch war die inducirte Rolle des Magnetelektromotors auf ihrem Schlitten hinlänglich weit von der inducirenden entfernt, damit keine unipolaren Inductionszuckungen eintreten konnten.

War alles auf diese Weise vorgerichtet, und hatte ich, sei's durch Schliessen des Multiplicatorkreises bei der einen, sei's durch Abheben des Nebenschließungsbausches bei der anderen Anordnung, mich von dem Grade der Wirksamkeit des Gastroknemius genau unterrichtet, so schloß ich, im ersten Fall bei wiederum entladeneu metallischen Multiplicatoren und geöffnetem Multiplicatorkreise, im zweiten bei wiederum aufgelegtem Schließungsbausche, den inducirten Kreis des Magnetelektromotors, und tetanisirte den Gastroknemius einige Zeit lang. Mittem im Tetanus durchschnitt ich plötzlich, mit einer kleinen COOPERschen Scheere, den Nerven zwischen dem Muskel und den Platinblechen

der stromzuführenden Vorrichtung,¹ und schloß den Augenblick darauf den Multiplicatorkreis oder hob den Schließungsbausch ab.

Obschon der Muskel nach Durchschneidung des Nerven sofort völlig erschlaffte, erhielt ich nun stets einen negativen Ausschlag, bis zu einer gewissen Grenze um so größer, je länger ich den Gastroknemius tetanisirt hatte. Der Ausschlag ist kleiner als der, den der parelektronomische Muskel während des Tetanus selber in gleichem Sinne giebt. Er beträgt am Multiplicator für den Muskelstrom nur etwa 5—10°, und der Versuch wird daher mit Vortheil an dem Multiplicator für den Nervenstrom angestellt. Die somit dargelegte Nachwirkung des Tetanisirens auf den Muskelstrom nimmt, wenigstens in den ersten Augenblicken, sehr schnell an Größe ab. Läßt man einige Minuten verstreichen, ehe man den Multiplicatorkreis wieder schließt oder den Nebenschließungsbausch wieder abhebt, so findet man nur noch eine Spur davon vor. Diese Spur aber erweist sich als ziemlich hartnäckig.

Es versteht sich von selber, daß die Erscheinung der Nachwirkung des Tetanus nichts zu schaffen hat mit dem parelektronomischen Zustande. Die Nachwirkung findet nicht minder statt, wenn die parelektronomische Schicht nicht so hoch entwickelt ist, wie in den vorigen Versuchen, oder wenn sie ganz entfernt ist, d. h. wenn der Muskel mit künstlichem Querschnitt wirksam ist. Wenn nichtsdestoweniger an dieser Stelle von der Nachwirkung gehandelt worden ist, so ist dies deshalb geschehen, weil an den im parelektronomischen Zustande stromlosen oder nur schwach positiv wirksamen Muskeln sich eine so günstige Gelegenheit bietet zur Beobachtung der Nachwirkung, daß sie ihrer Geringfügigkeit ungeachtet daran in die Augen fallen konnte. Der Grund davon ist leicht einzusehen.

Wendet man nämlich die beschriebenen Versuchsweisen auf Muskeln an, die am Multiplicator für den Muskelstrom 15—30° positiven

¹ Anstatt den Nerven zu durchschneiden, hätte ich auch bloß den inducirten Kreis öffnen oder den Nerven von den Blechen abheben können. Gegen das bloße Öffnen des inducirten Kreises ist zu bemerken, daß der letzte Inductionsstrom der Zahl nach ein ungerader gewesen sein kann. Er läßt alsdann die Platinbleche polarisirt zurück und zwar die verschiedenen Punkte jedes Bleches in verschiedenem Maße. Durch das Sinken dieser Ladung kann also noch nach dem Öffnen des inducirten Kreises eine Erregung des Nerven stattfinden. Vor dem Abheben des Nerven aber gab ich dem Durchschneiden den Vorzug aus dem Grunde, weil es schneller gethan ist, da man den abgehobenen Nerven nothwendig erst noch irgendwohin betten muß, und weil die unmittelbar vom Strom betroffene Strecke häufig in einem so gereizten Zustande zurückbleibt, daß sie selbst nach Aufhören des Stromes noch Zuckungen vermittelt. Ohnehin muß man doch, wenn man den Versuch an demselben Muskel wiederholen will, mit dem Nerven an den Platinblechen hinaufrücken, so daß an der einmal bis zur Erschöpfung tetanisirten Strecke nichts verloren ist.

Ausschlag geben, so gelingt es noch, die Nachwirkung mit ziemlicher Sicherheit zu beobachten. Freilich darf man sich nicht auf die Beobachtung der Abnahme des Stromes nach dem Tetanisiren beschränken, da seine Stärke auch sonst Senkungen ausgesetzt ist. Vielmehr ist die Nachwirkung erst dann als erwiesen zu betrachten, wenn man das Wiederanschwellen des Stromes beobachtet hat. Je größer aber die ursprüngliche Stromstärke des Muskels wird, um so mehr verschwindet dagegen die kleine Veränderung, die durch die Nachwirkung bedingt wird, so daß sie sich zuletzt der Beobachtung entzieht.

Vollends ist dies der Fall bei Ableitung des Stromes vom künstlichen Querschnitt. Hier tritt noch die Schwierigkeit hinzu, daß der Strom lange Zeit nach dem Auflegen im Sinken begriffen ist, so daß man zwischen zwei Uebelständen zu wählen hat; nämlich will man warten, bis der Strom beständig geworden ist, zwischen der Gefahr, daß der Muskel zu sehr an Leistungsfähigkeit einbüßt; und, will man früher tetanisiren, der anderen Gefahr, daß das Sinken des Stromes sein Wiederanschwellen verdeckt. Und doch würde es um so wichtiger sein, bei künstlichem Querschnitt die Nachwirkung zu beobachten, als dadurch zwischen zwei Vorstellungen entschieden werden würde, die man sich von dem Wesen der Nachwirkung machen kann. Man kann sich nämlich denken, daß sie beruht auf einer Schwächung der elektromotorischen Kraft des ganzen Muskels mit Ausnahme der parelektronomischen Schicht, die, wie wir wissen, an dem Molecularmechnismus der Zusammenziehung keinen Antheil hat (S. oben S. 147). Dies ist die einfachste und natürlichste Vorstellungsweise, wobei die Nachwirkung mit der gleichsinnigen Stromesschwankung während des Tetanus selber in deutliche Beziehung gesetzt erscheint. Die Nachwirkung würde sich aber auch physikalisch ebensogut begreifen lassen aus der Annahme einer vorübergehenden Erhöhung der Kraft der parelektronomischen Schicht. Auch für die negative Schwankung, welche die Zusammenziehung selber begleitet, würde jetzt, wo wir die parelektronomische Schicht kennen gelernt haben, die nämliche Zweideutigkeit obwalten, wenn wir nicht bereits im vierten Kapitel (S. oben Abth. I. S. 85) in Erfahrung gebracht hätten, daß die negative Schwankung ebensowohl stattfindet bei Ableitung des Stromes vom künstlichen, als bei Ableitung vom natürlichen Querschnitt. Den gleichen Beweis nun auch für die Nachwirkung geführt zu sehen, wäre augenscheinlich höchst wünschenswerth.

Um die Nachwirkung auch bei so großer Stärke des ursprünglichen Stromes sichtbar zu machen, daß ihre eigene negative Stärke dagegen verschwindet, versuchte ich zuerst die Methode der Compen-

sation. Der compensirende Muskel sollte nämlich jetzt an die Stelle der parelektronomischen Schicht treten, welche den Strom des übrigen Muskels compensirt und deren eigene elektromotorische Wirkung bei der Zusammenziehung beständig bleibt. Es wurde sonst am Verfahren nichts geändert. Beiden einander compensirenden Muskeln waren ihre Sitzbeinnerven gelassen, und es wurde stets derjenige tetanisirt, dessen Strom während der Ruhe beider die Oberhand hatte. Es mußte alsdann, bei erneuerter Beobachtung unmittelbar nach abgebrochenem Tetanus, die Oberhand auf den in Ruhe gebliebenen Muskel übergegangen sein oder wenigstens es mußte der Differentialstrom an Größe abgenommen haben und später wieder daran zunehmen.

Ich stellte den Versuch zuerst an mit zwei Gastroknemien, wovon der eine in der großen, der andere in der kleinen Streckvorrichtung ausgespannt war, in der Weise, wie man dies Fig. 88. Taf. I. dieses Bandes sieht (Vergl. oben Abth. I. S. 77). Allein ich erreichte keine so vollkommene Compensation, daß ich, bei der erhöhten Verwickelung des Versuches, die Nachwirkung hätte mit einiger Sicherheit beobachten können. Noch weniger gelang dies, als ich den Versuch mit der Abänderung wiederholte, daß die Gastroknemien ihrer sehnigen Ausbreitung beraubt waren, also bis auf eine sehr kleine Stelle an der Achillessehne, mit künstlichem Querschnitt wirkten. Kein Wunder, denn die Zubereitung des künstlichen Querschnittes auf diese Art konnte nicht gleichzeitig stattfinden; sie dauert so lange daß die an verletzten Muskeln rasch sinkende Leistungsfähigkeit Zeit hat, sich bedeutend zu verringern; endlich sie giebt zu vielen Ungleichmäßigkeiten Raum. Ich versuchte somit noch eine andere Anordnung mit künstlichem Querschnitt, welche frei war von diesen Uebelständen. Ich liefs zwei Adductor magnus oder Semimembranosus Cuv. einander in der Art entgegenwirken wie man dies Fig. 77. 78. Taf. V. Bd. I. sieht. Den Muskeln waren ihre Nerven erhalten; nachdem ich ihre Ströme gegeneinander abgewogen hatte, tetanisirte ich den stärkeren im offenen Kreise, zerschnitt den Nerven und schloß. Aber wenn auch bei diesem Verfahren sich das Gleichgewicht etwas vollkommener herausstellte und der Tetanus kräftiger ausfiel als bei dem vorigen, so trat doch nun ein anderer Mifsstand ein, den ich auch vorhergesehen und deshalb der erstbeschriebenen Anordnung mit künstlichem Querschnitt den Vorzug geschenkt hatte. Nämlich der tetanisirte Muskel veränderte bei der Zusammenziehung seine Lage in der Art, daß das vorher bestandene Gleichgewicht schon dadurch eine ungeheure Störung erlitt, und die gewünschte Wahrnehmung vereitelt wurde.

Es scheint also, daß auf diesem Wege, mit Hülfe des Verfahrens

der Compensation, hier nicht zum Ziele zu gelangen ist. Ich habe daher noch einen anderen Weg aufgesucht, die Nachwirkung an den Muskeln unter allen Umständen aufzuweisen, nicht blofs an solchen, die im parelektronomischen Zustande stromlos oder schwach positiv wirksam sind; und ich habe einen solchen Weg auch glücklich ausfindig gemacht. Es ist kein anderer, als der, auf dem wir uns anfangs schon befunden haben, und darauf zur Entdeckung der Nachwirkung gelangten, nur mit der Abänderung, dafs man die Muskeln nicht von den Nerven aus, sondern unmittelbar durch den Strom, bis zur Erschöpfung tetanisirt. Der Muskelstrom erscheint alsdann ausserordentlich geschwächt, wie es denn durch fortgesetztes Tetanisiren gelingt, ihn gänzlich zu vernichten (Vergl. oben Abth. I. S. 182). Untersucht man aber die Muskeln vom Augenblick ab, wo der Tetanus aufhörte, in regelmässigen Zeiträumen, so findet man, dafs der Strom erst zunimmt, um sich dann erst wieder dauernd zu senken; eine Erscheinung, die nur auf die Nachwirkung gedeutet werden kann. Ich unterlasse es jedoch an dieser Stelle, die Einzelheiten der Versuche mitzutheilen, weil sich nämlich Einwände dawider erheben lassen, zu deren Verständniß, vollends ihrer Beseitigung, uns hier noch die thatsächliche Grundlage fehlt. Dazu ist nothwendig, dafs wir uns erst mit jener besonderen Wirkungsweise des Stromes auf die Muskeln bekannt gemacht haben, deren schon oben Abth. I. S. 331. Abth. II. S. 71 gedacht worden ist, von der aber erst in dem vierten Paragraphen dieses Kapitels ausführlich gehandelt werden soll. Alsdann wird auf die hier in Rede stehenden Versuche zurückgekommen, und die Nachwirkung des Tetanus auf den Strom an den Muskeln unter allen Umständen, auch bei Ableitung des Stromes vom künstlichen Querschnitt aufser Zweifel gesetzt werden. Die oben S. 155 erwähnte Frage nach der wahren Bedeutung der Nachwirkung, ob sie beruhe auf einer Verminderung der elektromotorischen Kraft des Muskels mit Ausschluß der parelektronomischen Schicht, oder auf einer vorübergehenden Erhöhung der Kraft dieser Schicht allein, ist somit zu Gunsten der erstern Ansicht zu entscheiden. Die Nachwirkung ist die stetige schwache Fortsetzung der flüchtigen starken negativen Schwankung, die die Zusammenziehung begleitet.

Wir sind nunmehr in Stande, die Curve des Muskelstromes bezogen auf die Zeit, wie sie sich während des Tetanus gestaltet, richtiger anzugeben, als bisher. S. Fig. 145. Taf. V. Die Abscissenaxe *Ot* bedeutet die Zeit. Da wir die Tiefe noch immer nicht kennen, bis zu der, in Bezug auf diese Axe, die Zähne der kammförmigen Curve reichen, so sind die Spitzen der Zähne in der Figur weggelassen worden. Hier kommt es allein auf die verschiedene Höhe an, aus der, wie

wir jetzt wissen, die Zähne des Kammes entspringen. Man sieht, daß jeder folgende Zahn immer tiefer entspringt als der nächst vorhergehende, oder, was auf dasselbe hinausläuft, aus jedem Absturz, der, mit der darauf folgenden Erhebung, einen Zahn darstellt, erholt sich die Curve zu einer geringeren Höhe. Hört endlich der Tetanus auf, so bleibt eine dauernde Senkung der Curve zurück, die aber schnell und stetig abnimmt, so daß die Curve, wenn der Tetanus nicht bis zur Erschöpfung dauerte, sich allmählig wieder zu einer Höhe erhebt, die derjenigen wenig nachsteht, die sie vor dem Tetanus besaß.

(v) Von der elektromotorischen Wirkung beim Ausdehnen und Zusammendrücken der Muskeln im parelektronomischen Zustande.

Ich habe die oben Abth. I. S. 129 ff. beschriebenen Versuche mit Gastroknemien im parelektronomischen Zustande wiederholt.

Das Dehnen des Muskels zeigte sich stets begleitet von einer negativen Schwankung, gleichviel ob der Muskel schwach positiv, gar nicht, oder negativ wirksam war. Bei dem Abspannen des gedehnten Muskels aber stellte sich eine Unregelmäßigkeit ein, die ich nicht zu deuten weiß und ihr auch nicht weiter nachgegangen bin. Sie bestand darin, daß das Abspannen nicht, wie es hätte sein sollen, stets begleitet war von einem Rückschwung der Nadel im positiven Sinne, sondern daß es eine fernere negative Bewegung der Nadel zur Folge hatte.

Noch häufiger zeigten sich solche Unsicherheiten im Erfolge beim Zusammendrücken der parelektronomischen Muskeln in den beiden Compressorien. Nur ein paarmal gelang es mir in dem Compressorium senkrecht auf die Faser mich von einem Hervortreten elektromotorischer Kräfte im Augenblicke der Zusammendrückung, welches nur dieser zugeschrieben werden konnte, zu überzeugen. Die Sicherheit der Versuche wurde insbesondere durch den Umstand gefährdet, daß durch das bloße Verweilen in den Compressorien, sei's in Folge der mechanischen Mißhandlung der Muskeloberfläche, sei's nicht zu vermeidender Verunreinigungen, eine Entwicklung des positiven Stromes vor sich zu gehen schien.

Ich hatte, bei Anstellung dieser Versuche, vorzüglich folgendes im Auge. Es war uns, wie man sich erinnert, nicht vollständig gelungen, den Beweis zu führen, daß die Stromesschwankungen, welche die durch äußere Kräfte aufgezwungenen Cohäsionsveränderungen der Muskeln begleiten, wirklich auf Veränderungen der elektromotorischen Kraft des Muskels, nicht auf Widerstandsveränderungen im Muskel beruhen. Ich glaube nun, daß für diese Art der Verdächtigung, die überhaupt keinen sicheren Grund hat, neue Schwierigkeiten erwachsen aus der Thatsache,

dafs an parelektronomischen Gastroknemien die negative Schwankung beim Dehnen z. B. unverändert stattfindet, welches auch Gröfse und Zeichen des ursprünglichen Stromes seien. Denn die einzige Art, diese Erscheinung noch aus einer Widerstandsveränderung zu erklären, würde sein, anzunehmen, dafs eine Nebenschließung für den positiven Strom der übrigen Muskelmasse im Augenblicke der Zusammenziehung an Widerstand verliere, und so jenen Strom schwäche, während sie den negativen Strom der parelektronomischen Schicht beständig lasse oder gar ihn steigere. Dies ist, auf an und für sich, wie gesagt, ganz schwankender Grundlage, eine solche Häufung willkürlicher Voraussetzungen, dafs der Nachweis ihrer Nothwendigkeit zur Aufrechterhaltung einer gewissen Annahme, in der That einer Widerlegung dieser Annahme gleichzuachten ist.

13. Erklärung, mit Hülfe des parelektronomischen Zustandes der Muskeln, einiger älteren, fremden und eigenen Wahrnehmungen.

(i) Fremde Erfahrungen, die durch den parelektronomischen Zustand der Muskeln ihre Erklärung finden.

Die Erscheinung des parelektronomischen Zustandes, in seinen verschiedenen Abstufungen, hat schon früher in den Erfahrungen Anderer sowohl als unserer selbst, eine mehr oder weniger bedeutende Rolle gespielt. An diese Punkte mag jetzt zuvörderst erinnert werden.

Oben Bd. I. S. 62. 97 ist ausführlich jener ersten Versuche GALVANI's und ALDINI's über die Zuckung ohne Metalle gedacht worden, in welchen, um die Zuckung zu erhalten, die Schenkel zuvor in ziemlich concentrirte Seesalzlösung getaucht werden mußten. Weder GALVANI noch ALDINI haben versucht die Wirkungsweise der Salzlösung dabei zu erklären. Sie haben sich damit begnügt, einsichtlich zu machen, dafs die Zuckungen bei der Berührung der Nerven und Muskeln nicht von dem durch die Lösung auf die Nerven ausgeübten Reiz herrühren können (S. oben Bd. I. S. 63). VOLTA hat später jene Wirkungsweise dahin erläutert, dafs die Lösung als Glied einer Kette aus drei feuchten Leitern auftrate, Nerv, Muskel und Lösung. Allein wir werden sogleich sehen, dafs es mindestens ebensonahe liegt, sich zu denken, die zu diesen Versuchen verwendeten Thiere haben sich auf einer ziemlich hohen Stufe des parelektronomischen Zustandes befunden, und die Wirkung der Salzlösung sei darauf hinausgelaufen, ihren Strom zur Entwicklung zu bringen.

GALVANI bemerkt noch zu seinen Versuchen, dafs das Eintauchen

der Nerven allein in die Kochsalzlösung stärkere Zuckungen gegeben habe, als das Eintauchen der Nerven und Muskeln zugleich, und er giebt davon eine schwer verständliche Erklärung, indem er diesen Umstand zuschreibt einer »certa . . . rigidità che acquistano i muscoli tenuti in »detta soluzione, per la quale più difficilmente possono venire a più »stretto contatto tra se le parti integranti degli stessi¹... CIMA hat in neuerer Zeit diese Versuche wiederholt und bestätigt gefunden. Als die zweckmässigste Gestalt derselben giebt er an, daß man, anstatt den Nerven in Salzlösung zu tauchen, mit einem Pinsel den Punkt der Muskeloberfläche, den man mit dem Nerven oder mit dem Stück Wirbelsäule zu berühren gedenke, mit Kochsalzlösung befeuchten solle. Die Verstärkung der Zuckungen durch die Salzlösung leitet CIMA davon ab, daß dadurch die Berührung des Nerven und der Muskeln inniger gemacht werde. Von der größeren Wirksamkeit der Benetzung des Nerven allein sagt er: »Sembrami . . . doversi . . . attribuire a ciò che il muscolo »bagnato presenta uno strato umido più conduttore per il quale scorre »l'elettricità più facilmente senza invadere, diremo, i filamenti nervosi »più profondi, e però senza eccitare il muscolo stesso alla contrazione ec.² Also CIMA denkt sich die Zuckung rühre her von der elektrischen Erregung der im Muskel selber verzweigten Nerven, da doch GALVANI schon wufste, daß die Empfindlichkeit des nach ihm genannten Präparates eben auf dem Kunstgriff beruhe, den Strom in einer gewissen Strecke seiner Bahn auf die Nerven allein als Leiter einzuschränken (S. oben Bd. I. S. 252. Anm. 1). Die richtige Deutung des in Rede stehenden Umstandes ist vielmehr die, daß bei der allgemeinen Benetzung des Schenkels mit der Lösung dem Strom von natürlichem Längsschnitt zum natürlichen Querschnitt eine allzugünstige Nebenschließung in Bezug auf den Nerven als Hauptleitung dargeboten wird (Vergl. oben S. 47. 57, und an vielen anderen Stellen).

Die Entwicklung des Stromes im parelektronomischen Zustande durch Anätzen des natürlichen Querschnittes giebt ferner den Schlüssel zu der Behauptung VOLTA's, die in der Geschichte der thierischen Elektrizität eine so große Rolle gespielt hat, daß man, um die Zuckung ohne Metalle leichter zu erhalten, nicht allein am Unterschenkel die Achillessehne zu berühren habe, sondern daß die Berührungsstelle auch noch benetzt sein müsse mit irgend einer leitenden Flüssigkeit, Salzwasser, Speichel, Blut, Harn, Schleim, verschiedenen Pflanzensäften, besser mit Seifenwasser, und am besten mit stark sauren oder alkali-

¹ Opere edite ed inedite del Prof. LUIGI GALVANI ec. Bologna 1841. 4°. p. 213.*

² Saggio storico-critico ec. Ivi, p. 429. 430.*

schen Flüssigkeiten (S. oben Bd. I. S. 72. 74. 90. 482. 483. 526). Es war dies gewissermaßen eine Verallgemeinerung der eben erinnerten Beobachtung GALVANI'S und ALDINI'S. VOLTA dachte sich, als Grund davon, die Nothwendigkeit der Berührung mindestens dreier ungleichartiger Stoffe, damit ein Strom erzeugt werde. In dem Fall, wo der Nerv selber mit dem Unterschenkel in Berührung gebracht wird, ist diese Bedingung zwar bereits erfüllt, wenn der Nerv die Achillessehne trifft; die drei ungleichartigen Stoffe sind alsdann der Nerv, die Sehne und das Muskelfleisch. Etwas anders ist es in dem Falle, den VOLTA vornehmlich im Sinne hatte, wo das nur noch durch den Ischiadnerven mit dem Rumpf zusammenhängende Bein gegen den Rumpf umgebeugt wird. Alsdann fehlt zwischen der Achillessehne und den Rumpfmuskeln, nach VOLTA'S Vorstellungweise, der dritte ungleichartige Stoff, und soll, auf die angegebene Art, herbeigeschafft werden.

Wir wissen bereits, daß VOLTA sich irrte, wenn er die besondere Wirksamkeit der Berührung der Achillessehne auf Rechnung einer elektromotorischen Kraft schob, die durch die Berührung von Sehne und Muskel erzeugt wird. Wir haben gefunden, daß die Gewebe, sofern sie sich mit ihren natürlichen Flächen berühren, sich gleichartig unter einander verhalten (S. oben Bd. I. S. 481. Bd. II. Abth. I. S. 207). Jene besondere Wirksamkeit beruht vielmehr allein auf dem Umstande, daß die Achillessehne den natürlichen Querschnitt des Gastrocnemius vorstellt (Vergl. oben Bd. I. S. 526).

Nicht minder irrig, zu dieser Einsicht gelangen wir jetzt, war wohl VOLTA'S Deutung der Wirksamkeit des Benetzens der Muskeln mit den aufgezählten Flüssigkeiten. Es ist allerdings nicht unmöglich, daß, unter gewissen Umständen, chemisch sehr wirksame Flüssigkeiten in der Art elektromotorisch wirken, wie VOLTA es sich dachte. Indessen ist doch zu erwägen, daß, da die thierischen Gewebe sich bei ihrer Berührung elektromotorisch unwirksam verhalten, durch das Dazwischenbringen einer mit jedem derselben wirksamen Flüssigkeit nur dann eine elektromotorische Kraft wird erzeugt werden, wenn z. B. diese Flüssigkeit an den Grenzen der Gewebe in ungleichem Mafse verdünnt wird, oder andere Verwickelungen sich einmischen. Auf alle Fälle ist leicht zu zeigen, daß, wenn dieser Umstand in VOLTA'S Versuchen mit im Spiele war, er doch wenigstens nicht allein den Grund des Hervortretens der Zuckungen enthielt, sondern daß in der That wohl die Entwicklung des Stromes der im parelektronomischen Zustande befindlichen Muskeln durch die hinzugetragenen Flüssigkeiten den größten Antheil daran hatte.

Man stelle den stromprüfenden Schenkel dar, lege darauf ein Glim-

merblatt von der Länge, daß es von der Kniekehle bis zur Fußwurzel reicht, und versuche, ob durch Zurückbeugen des Nerven gegen die Fußwurzel Zuckung entsteht oder nicht. Bleibt die Zuckung aus, so benetze man die Ausbreitung der Achillessehne, unter dem Glimmer, mit irgend einer stark entwickelnden Flüssigkeit, Salpetersäure, salpetersaurer Silberoxyd-, Kalihydratlösung. Nun wird in vielen Fällen die Zuckung erscheinen, wenn man den Nerven gegen die Fußwurzel zurückbeugt. Da aber die Berührungsstelle zwischen Nerv und Fußwurzel dabei gar nicht mit der ungleichartigen Flüssigkeit benetzt worden ist, so versteht es sich von selber, daß hier von VOLTA'S Deutung nicht die Rede sein kann. Das Hervortreten der Zuckung beruht hier auf nichts, als auf der Entwicklung des Muskelstromes durch die den natürlichen Querschnitt benetzende Flüssigkeit.

Die Zuckung tritt denn auch nicht minder hervor, wenn man, statt einer leitenden Flüssigkeit, eine stark entwickelnde nichtleitende Flüssigkeit nimmt, z. B. Kreosot. Da hier gar keine Kettenbildung stattfinden kann, so wird das Glimmerblatt entbehrlich, man kann den Nerven getrost gegen die mit Kreosot bepinselte Ausbreitung der Achillessehne selber zurückbeugen, und man wird in vielen Fällen, trotz dem erhöhten Widerstande des Kreises, das Kreosot die Zuckungen hervorlocken sehen, die früher vollständig vermifst wurden. An eine Verwechselung der Zuckungen durch den Muskelstrom mit solchen, die vom unmittelbaren Reiz des Kreosots auf den Nerven herrührten, ist nicht zu denken. Es darf, der sonst eintretenden Unterbrechung der Leitung halber, das Kreosot gar nicht so reichlich aufgetragen werden, daß der Nerv noch damit benetzt werden kann, und ohnehin vermag auch das ungeübteste Auge leicht solche unregelmäßig flimmernde Zuckungen, wie sie durch den unmittelbaren Angriff des Nerven entstehen, von solchen zu unterscheiden, die den Schluß einer Kette begleiten (Vergl. oben Bd. I. S. 63).

Man sieht demnach, dieser Versuch ist völlig gleichbedeutend mit unseren Versuchen mit Kreosot am Multiplikator. Vollends ergibt sich dies daraus, daß man, anstatt die Ausbreitung der Achillessehne anzuzühen, sie auch einfach mittelst der Scheere abtragen kann. Auch so erhält man Zuckungen, wenn sie vorher versagten, wie dies auch MARTEUCCI bereits beobachtet hat, ohne den Grund davon einzusehen.¹ Noch vortheilhafter ist es natürlich, anstatt des schrägen künstlichen Querschnittes, den man mühsam durch Abschälen des sehnigen Ueberzuges

¹ Archives de l'Électricité. 1842. t. II. p. 441;* — Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 325;* — Traité etc., p. 108.*

erhält und dabei die Leistungsfähigkeit des Gastroknemius leicht sehr beeinträchtigt, einen senkrechten Querschnitt durch den ganzen Unterschenkel anzuwenden.

Ich habe versucht, denselben Erfolg auch dadurch zu bewirken, daß ich die Ausbreitung der Achillessehne verbrannte (Vergl. oben S. 104. 105); allein bisher vergeblich, zum Theil vielleicht wegen allzugeringer ursprünglicher Leistungsfähigkeit der angewandten Thiere, zum Theil aber auch gewiß, weil die den Strom entwickelnde Behandlung die Leistungsfähigkeit des Muskels zugleich in dem Mafse beeinträchtigt, daß er auch auf den völlig entwickelten Strom jetzt nicht mehr zu antworten vermag. Aus demselben Grunde ist denn auch der günstige Erfolg beim Abschälen der Ausbreitung der Achillessehne oft nur sehr vorübergehend, wie übrigens schon MATTEUCCI bemerkt hat. Es ist mir nicht gelungen, mit anderen nichtleitenden Flüssigkeiten als Kreosot die Zuckungen hervorzulocken, und so versagten sie mir auch häufig bei Anwendung minder stark entwickelnder Flüssigkeiten von leitender Beschaffenheit, in beiden Fällen augenscheinlich, weil in der Zeit, die über der Entwicklung des Stromes verging, die thierischen Theile zu viel an Leistungsfähigkeit einbüßten.

Unter den Flüssigkeiten, die VOLTA als das Hervortreten der Zuckungen befördernd aufführt, sind einige, die wir noch nicht auf ihre Fähigkeit, den Strom zu entwickeln, geprüft haben, als Harn, Schleim, Speichel, verschiedene saure Pflanzensäfte und Seifenwasser. Zur Vollständigkeit unseres Beweises, daß die Entwicklung des Muskelstromes durch die Flüssigkeiten in VOLTA'S Versuchen eine Rolle gespielt habe, gehört es somit, daß wir jetzt noch die Prüfung vornehmen, ob jene Flüssigkeiten zur Entwicklung wirklich befähigt sind. Natürlich stellen wir diese Prüfung nicht am Froschschenkel, auf physiologischem Wege, an, wodurch wir uns nur unnütze Schwierigkeiten bereiten würden, sondern am Multiplicator in der oben S. 55 beschriebenen Weise.

Der Schaum einer gewöhnlichen Natronseife zeigte sich in meinen Versuchen kräftig entwickelnd. Als der natürliche Querschnitt eines *parelektronomischen* Gastroknemius mit dem Schaum bestrichen wurde, ging die Nadel sofort ausschlagsweise von Null auf 50°, bei einer zweiten Prüfung flog sie an die Hemmung.

Die Pflanzensäfte bezeichnet VOLTA nicht näher. Als er auf seinem Landsitz am Comer See v. HUMBOLDT seine Versuche über die Ketten mit einem Metall und zwei ungleichartigen Flüssigkeiten zeigte, bediente er sich unter anderen des Saftes einer reifen und des einer unreifen Cornelkirsche (*Cornus mascula* LINN.), um zu zeigen, wie ein

gleichartiger Bogen elektromotorisch wirksam gemacht werden könne dadurch, daß man auch noch so wenig ungleichartige Flüssigkeiten an seine Enden bringe.¹ Cornelkirschen konnte ich mir zur Zeit, wo ich diese Versuche für den Druck abschließen mußte, nicht verschaffen. Was ich aber von anderen Pflanzensäften, die einigermassen reich an freier Säure sind, in dieser Hinsicht prüfte, erwies sich als stark entwickelnd. Von Südfrüchten, die VOLTA am nächsten zur Hand gewesen sein mochten, versuchte ich nicht allein Citrone und Apfelsine, sondern es standen mir durch einen glücklichen Zufall auch noch Granatapfel und Bergamotte zu Gebot.

Mäßig concentrirter, kalter, stark sauer reagirender Harn entwickelte deutlich, stärker noch Nasenschleim bei gesundem Zustande der Schleimhaut. Ich kann hinzufügen Schweifs. Im Sommer, bei geschwitzter Haut, genügt es einen parelektronomischen Gastroknemius ein paarmal zwischen den Fingern hin und her zu rollen, um seinen Strom alsbald eine Hebung erfahren zu sehen. Es möchte daher für die chemische Angreifbarkeit der Muskelsubstanz durch eine bestimmte Flüssigkeit kaum ein empfindlicheres Prüfungsmittel geben, als den natürlichen Querschnitt eines parelektronomischen Gastroknemius damit zu benetzen, und die Veränderung zu beobachten, die dadurch in dem elektrischen Zustande des Querschnittes hervorgebracht wird.

Als geeignet, das Hervortreten der Zuckung ohne Metalle zu befördern, nennt VOLTA auch Speichel und Blut. Nun wissen wir aber bereits von oben S. 63. 64 her, daß Blut nicht entwickelt, und ebensowenig habe ich Speichel merklich entwickelnd gefunden. Indessen wäre es übereilt, hieraus schließen zu wollen, daß VOLTA's Deutung in diesen Fällen beizubehalten sei. Denn weshalb entwickeln Blut und Speichel nicht? Weil sie die Muskelsubstanz nicht angreifen, weil sie im Verhältniß zu ihr nicht chemisch different genug sind. Alsdann geht ihnen aber auch diejenige Fähigkeit ab, die VOLTA's Deutung, um möglich zu sein, bei ihnen voraussetzen würde, nämlich in Berührung mit der Muskelsubstanz kräftig elektromotorisch zu wirken. Es ist also vielmehr zu schließen, daß VOLTA hier einmal minder scharf als sonst beobachtet habe, indem er sich durch das Vorurtheil beherrschen liefs, alle schleimige, zähe Flüssigkeiten (gli umori mucilluginosi, mucosi, glutinosi, viscid²) müßten, in Berührung mit den thierischen

¹ Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfasern u. s. w. Posen und Berlin 1797. Bd. I. S. 52.*

² Vergl. vorzüglich den 3. Brief an VASSALLI (Collezione dell' Opere del Caval. Conte ALESSANDRO VOLTA ec. Firenze 1816. t. II. p. I. p. 230;* — s. oben Bd. I. S. 69 ff.), den 1. Brief an GREN (Ivi, t. II. p. II. p. 5;* — s. oben ebendas. S. 74),

Theilen, elektromotorisch wirksam sein. VOLTA achtete dabei nicht hinlänglich auf die chemische Natur der Flüssigkeiten; und wer möchte es wagen, ihm zu seiner Zeit, bei seinem Standpunkte des Wissens, daraus einen Vorwurf zu machen?

v. HUMBOLDT glaubte bekanntlich gefunden zu haben, daß die Benetzung der thierischen Theile mit gewissen Flüssigkeiten die Reizempfänglichkeit erhöhe; so zwar, daß Zuckungen in galvanischen Kreisen aufträten, wo sie vorher ausblieben. v. HUMBOLDT bediente sich dabei vorzugsweise der kohlen-sauren Kalilösung (des *Oleum tartari per deliquium*) und des Chlorwassers (der oxygenirten Kochsalzsäure). Diese Lehre ist die Lehre von den integrirenden Reizen genannt worden. Man hat, nach RITTER's und PFAFF's Vorgänge, später stets angenommen, daß die angeblich die Reizempfänglichkeit erhöhenden Flüssigkeiten ihre Wirkung dadurch hervorbrächten, daß sie als Glieder einer Kette aus Metallen und mehreren Flüssigkeiten, oder auch aus mehreren Flüssigkeiten allein, thätig wären und also vielmehr die Stromstärke im Kreise vermehrten. In vielen Fällen mag dies die richtige Erklärung sein. In manchen Versuchen ohne Metalle aber haben die ätzenden Flüssigkeiten unstreitig wohl auch dadurch die Stromstärke vergrößert, daß sie, durch Zerstörung der *parelektronomischen* Schicht, den Muskelstrom entwickelten.¹

und den 1. Brief an ALDINI (RITTER's Beiträge zur näheren Kenntniß des Galvanismus und der Resultate seiner Untersuchung. Bd. II. Stück 3. 4. 1805. S. 1; * — s. oben ebendas. S. 89).

¹ Zur Lehre von den integrirenden Reizen s. v. HUMBOLDT in GREN's Neuem Journal der Physik. 1796. Bd. III. S. 173; * — 1797. Bd. IV. S. 172; * — *Magazin encyclopédique, ou Journal des Sciences, des Lettres et des Arts, rédigé par MILLIN, NOËL et WARENS. t. VI. An IV (1795). p. 462; * — Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfasern u. s. w. Posen und Berlin 1797. Bd. I und II. an vielen Stellen, insbesondere Bd. II. S. 360 ff. 395 ff.; * — HARTENKEIL's medicinisch-chirurgische Zeitung. 1797. Bd. IV. S. 375; * — LODER's Journal für die Chirurgie, Geburtshülfe und gerichtliche Arzneikunde. 1797. Bd. I. S. 453. 457. 470; * — PH. MICHAELIS in GREN's Neuem Journal der Physik. 1797. Bd. IV. S. 23. 25. 26; * — REINHOLD, de Galvanismo Specimen I. Lipsiae 1797. 4°. p. 112; * — Derselbe in seiner Geschichte des Galvanismus. Leipzig 1803. S. 88; * — RITTER in seinem Beweis, daß ein beständiger Galvanismus den Lebensproceß in dem Thierreich begleitet. Weimar 1798. S. 12; * — Die Commission des National-Institutes vom Frühjahr 1797 und 1798 (Vergl. oben Bd. I. S. 315) in RITTER's Beiträgen zur näheren Kenntniß des Galvanismus und der Resultate seiner Untersuchung. Bd. I. St. 1. 2. Jena 1800. S. 68; * — PFAFF im Nordischen Archiv für Naturkunde, Arzneiwissenschaft und Chirurgie. Herausgegeben von PFAFF, SCHEEL und RUDOLPHI. 1799. Bd. I. St. 1. S. 17; * — JOH. MÜLLER's Handbuch der Physiologie des Menschen. Bd. I. 4. Aufl. Coblenz 1844. S. 545. **

(n) Widerlegung von CIMA's Erklärung des Umstandes, daß der Strom des natürlichen Querschnittes mehr als der des künstlichen unter schwächenden Einflüssen leide.

In Ermangelung eines besseren Ortes will ich hier der Erklärung gedenken, welche CIMA von dem Umstande giebt, daß der sogenannte Froschstrom mehr als der Muskelstrom unter dem Einflusse der Kälte und des unterdrückten Blutumlaufes oder Athmungsvorganges leide.

CIMA kennt die Einerleiheit beider Ströme in dem Sinne MATTEUCCI's (S. oben S. 120. 121), ja ihm gebührt der Erstbesitz dieser Kenntniß vor MATTEUCCI, wenn auch nicht, wie er sich einbildet, vor mir.¹ CIMA stellt zuerst den Satz auf, an der Gegenwart des sehnigen Ueberzuges müsse die geringere Stärke des Froschstromes im Vergleich zum Muskelstrom an solchen Fröschen liegen, welche Herz und Lungen eingebüßt hätten (S. oben S. 139). Denn als er denselben Versuch an sechs Fröschen wiederholt habe, nur mit dem Unterschiede, daß die eine Säule statt aus den Unterschenkeln, aus den zwölf Gastroknemien zusammengesetzt war, die sorgfältig von ihrem sehnigen Ueberzuge befreit waren (*»ai quali tolsi prima diligentemente tutta la parte tendinosa«*), gab die Säule aus querdurchschnittenen Oberschenkeln 10° Ausschlag, die aus den Gastroknemien 11°; in einem anderen Falle die erstere 12°, die zweite 11°. An einem kalten Decembertage liefs CIMA acht Frösche einige Stunden vor dem Fenster stehen. Dann wurden aus den sechzehn querdurchschnittenen Oberschenkeln und den sechzehn Gastroknemien zwei Säulen in demselben Kreise einander entgegengesetzt. Es erfolgte ein Ausschlag von 8° im Sinne der Oberschenkel. Nachdem aber die sehnigen Ueberzüge von den Gastroknemien entfernt worden waren, zeigte sich der Ausschlag bis auf 2° vermindert. Die Oberschenkelsäule, für sich untersucht, hatte zuerst 14° gegeben, jetzt gab sie noch immer 12°. Es rührte die Verminderung des Differentialstromes also vielmehr von einem Wachsen des Stromes der Säule aus den Gastroknemien her. In anderen Versuchen verglich CIMA die Wirkungen, welche eine Säule aus querdurchschnittenen Oberschenkeln und eine solche aus Gastroknemien bei entfernter sehniger Ausbreitung am Multiplicator einzeln gaben; die Wirkungen waren in diesem Falle nahe dieselben.

¹ Saggio storico-critico ec. Ivi, p. 507. Nota.* — Vergl. MATTEUCCI in den Comptes rendus etc. 22 Avril 1850. t. XXX. p. 480; * — Ibidem. 15 Juillet 1851. p. 704; * — Réponse aux deux dernières Lettres de M. DE BOIS-REYMOND etc. présentée à l'Académie des Sciences par M. MATTEUCCI. Florence, Imprimerie de LE MONNIER. p. 5.*

Um nun begreiflich zu machen, wie die Gegenwart der Sehne den Strom schwächen könne, erinnert CIMA daran, daß, nach MATTEUCCI, der Muskelstrom der warmblütigen Thiere weniger als der der kaltblütigen unter dem Einfluß der Kälte leide (S. oben S. 28. 135). Es stehe aber das Sehnengewebe zum Muskelgewebe in eben solchem Verhältniß, wie die kaltblütigen Thiere zu den warmblütigen (!). Vermöge des geringeren Widerstandes, den das minder hoch organisirte Sehnengewebe der Kälte zu leisten im Stande sei, büße es seine Leitungsfähigkeit für den elektrischen Strom ein. Auch die Hemmung des Athmungsvorganges und Blutumlaufes erhöhe, wie nun zu schliessen sei, den Widerstand des Sehnengewebes.¹

Ich brauche nicht zu erinnern, daß diese Vorstellungsweise nicht nur in sich haltlos ist, sondern sich auch bereits durch frühere Erörterungen von unserer Seite sattsam widerlegt findet. Sie ist haltlos insofern, als durchaus nicht zu begreifen ist, durch welchen Sprung CIMA dazu gelangt, aus der minder hohen Stellung des Sehnengewebes im Vergleich zum Muskelgewebe im thierischen Körper die Nothwendigkeit zu entnehmen, daß die Kälte den Widerstand des Sehnengewebes in stärkerem Mafß erhöhe, als den des Muskelgewebes. Anstatt durch einen unmittelbaren Versuch zu zeigen, daß der Widerstand des Sehnengewebes durch die Kälte wirklich in so auffallendem Mafß erhöht werde, beruft er sich hiezu, vermöge des gröblichsten Zirkelschlusses, auf die Thatsachen selber, die durch diese Annahme erklärt werden sollen, nämlich auf die eben dargelegten Versuche. Er versäumt, sich zu überzeugen, ob denn Erwärmung der Präparate sofort den Unterschied der Stärke zwischen »Frosch- und Muskelstrom« verschwinden mache, was, wie wir bereits wissen, nicht der Fall ist (S. oben S. 136. 137); und, um dieser Unmethode die Krone aufzusetzen, schreibt er, ohne ein Wort der Begründung, der Hemmung des Kreislaufes und der Athmung dieselbe Wirkung als der Kälte auf den Widerstand der Sehnen und Muskeln zu.

Endlich haben wir früher schon die Möglichkeit erwogen, ob der Widerstand des sehnigen Ueberzuges bei den Erscheinungen des paralektronomischen Zustandes eine Rolle spiele oder nicht, und wir sind zur Ueberzeugung gelangt, daß davon die Rede nicht sein könne, indem in unseren Versuchen der sehnige Ueberzug sich gar nicht in der Weise auf der Bahn des Stromes befand, daß eine Erhöhung seines Widerstandes den Strom schwächen konnte. Vielmehr gab sich uns auf das bestimmteste kund, wie der sehnige Ueberzug als Neben-

¹ Saggio storico-critico ec. Ivi, p. 508—511. §. 25—28. p. 551. §. 56.*

schließung in die Anordnung einging, so daß die Folge einer verminderten Leitungsfähigkeit desselben nicht, wie CIMA meint, Schwächung, sondern im Gegentheile Verstärkung des Muskelstromes nach sich ziehen würde. Schwerlich würde CIMA gewagt haben, mit seiner Theorie des parelektronomischen Zustandes, und noch dazu so sicher an's Licht zu treten, wenn er gewußt hätte (eine Einsicht, die freilich nicht auf dem Wege des bloßen Hypothesenmachens zu beziehen war), daß ein Tropfen einer nichtleitenden, ätzenden Flüssigkeit, Kreosot, auf die Achillessehne gebracht, dem Muskel nahezu denselben Grad elektromotorischer Wirksamkeit verleiht, als ob ein künstlicher Querschnitt mit der Scheere daran dargestellt worden wäre.

In der That befand sich CIMA nicht in der Lage, über diesen Kreis von Erscheinungen irgend brauchbare Hypothesen zu ersinnen. Dazu gehörte eine tiefergehende Kenntniß der Thatsachen, als er sie besaß. Fragt man aber endlich, wie es möglich gewesen sei, daß MATTEUCCI und CIMA, bei ihren zahlreichen Versuchen, und nachdem sie die vorzugsweise Schwächung des Stromes des natürlichen Querschnittes durch verschiedene Einflüsse wohl bemerkt hatten, die Erscheinung der Entwicklung dieses Stromes und alles was sich daran knüpft, habe entgehen können, so ist die Antwort darauf jetzt unschwer zu geben.

Um dies zu verstehen, braucht man sich nur der Versuchsweisen zu erinnern, welche MATTEUCCI und nach ihm CIMA anzuwenden pflegen.¹ Da bei diesen Versuchsweisen meist nur destillirtes Wasser als Zuleitungsflüssigkeit gebraucht wird, so fehlte es überhaupt an einer kräftig stromentwickelnden Flüssigkeit; oder wenn ausnahmsweise einmal Wasser mit etwas wenigem Kochsalz in Anwendung kam, so wurde doch nur dasjenige Endglied der thierischen Säule, welches natürlichen Querschnitt darbot, in der Weise damit benetzt, daß Stromentwicklung die Folge sein konnte. Die Präparate in MATTEUCCI's und CIMA's Säulen befanden sich also in der Lage, in die wir oben S. 47. 51 die unsrigen absichtlich versetzten, um zu verhindern, daß Stromentwicklung stattfinde, die sich bei unserer Versuchsweise, durch einen glücklichen Zufall, sonst immer von selbst einstellte. Um so klarer wird es, daß in MATTEUCCI's und CIMA's Versuchen keine in die Augen fallende Wirkung der Art stattfinden konnte, als ja zudem die Stufe des parelektronomischen Zustandes, welche sie beobachteten, stets nur eine sehr niedrige war. Sogar an ihren so wenig empfindlichen Stromprüfern wurde niemals Abwesenheit des Stromes beobachtet, geschweige daß Umkehr seiner

¹ Vergl. oben Bd. I. S. 227 ff. — Saggio storico-critico ec. Ivi, p. 458.*

Richtung bemerkt worden wäre. Dies hat wohl daher gerührt, daß, wenn MATTEUCCI und CIMA die Winterkälte benutzten, die Erkältung nicht tief genug reichte, und, wenn sie die Frösche künstlich erkälten, sie sie nicht lange genug in der Kälte ließen.

Von der oben Abth. I. S. 147. 150. 183 erwähnten Beobachtung MATTEUCCI's, wonach der schon fast verschwundene Strom älterer Präparate sich wiederum hebe, wenn man sie mit Wasser oder verdünnter Kochsalzlösung befeuchte, glaube ich nicht, daß hier MATTEUCCI einmal wirklich Stromentwicklung im parelektronomischen Zustande vor Augen gehabt hat. Diese Beobachtung erklärt sich in der That hinreichend in der ebendas. bereits angemerkten Weise, nämlich einfach durch Wiederherstellung der Leitungsfähigkeit der im Lauf des Versuchs eingetrockneten Ischiadgeflechte, die MATTEUCCI thörichterweise stets im Kreise hatte.

(III) Erläuterung, mit Hülfe des parelektronomischen Zustandes, einiger früheren Punkte dieser Untersuchungen.

Der parelektronomische Zustand greift, wie man sich leicht denken mag, so vielfach in die Erscheinungsweise des Muskelstromes ein, daß es im Laufe dieser Untersuchungen nicht immer hat vermieden werden können, bereits früher, als wir Kenntniß von diesem Zustande hatten, Bezug darauf zu nehmen. Ich kann um so weniger umhin, eine Musterrung der Gelegenheiten, bei denen dies hat geschehen müssen, hier in der Kürze vorzunehmen, als ich dabei verschiedene Irrthümer zu berichtigen habe, in die ich deshalb verfallen bin, weil ich noch unrichtige Vorstellungen über das Wesen des parelektronomischen Zustandes hatte, und namentlich in der Meinung befangen war, daß öfteres oder lange anhaltendes Schließen der thierischen Theile zur Kette durch einen guten Leiter den Strom zu entwickeln vermöge (S. oben S. 43 ff.). Außerdem wird sich uns jetzt mit Leichtigkeit die Erklärung einiger Punkte ergeben, die mir, zur Zeit des Abschlusses über dieselben für den Druck, noch nicht deutlich geworden waren.

Zuerst ist auf den parelektronomischen Zustand Bezug genommen worden oben Bd. I. S. 134 in unseren Bemerkungen über VALENTIN's thierisch-elektrische Untersuchungen. Erst daraus, daß auch beim öfteren Schließen seiner Kette der Frosch keine Wirkung gab, wurde, im Verein mit anderen Umständen, entnommen, daß die Vorrichtung überhaupt nicht geeignet war, den Froschstrom sichtbar zu machen. Dieser Schlufs erscheint jetzt nur noch gültig unter der Bedingung, über deren Erfüllung in VALENTIN's Versuchen nichts auszumachen ist, daß das öftere Schließen zur Kette, wie es in unseren Versuchen der

Fall war (S. oben S. 43 ff.), wiederholte Benetzung der thierischen Glieder mit einer entwickelnden Flüssigkeit nach sich zog.

Der parelektronomische Zustand ist wohl zum großen Theil Schuld daran, daß es so selten gelingt, die Nadel in Ruhe bleiben zu sehen in einem Kreise, in dem sich zwei Gastrokneimien oder zwei Unterschenkelstrecker entgegenwirken (S. oben Bd. I. S. 247. 725). In der That erinnert man sich (S. oben S. 126), daß es etwas ganz gewöhnliches ist, die beiden Gastrokneimien eines und desselben Frosches auf merklich verschiedenen Stufen des parelektronomischen Zustandes zu finden.

Den parelektronomischen Zustand hatte ich im Auge, als ich oben Bd. I. S. 464 bei Beschreibung des Grundversuchs am enthäuteten Gesamtfrosch verlangte, der Frosch solle in dem Zustande sein, den man als den normalen zu betrachten berechtigt ist, d. h. also, nach dem, was wir jetzt wissen, auf einer möglichst tiefen Stufe des parelektronomischen Zustandes, da völlige Freiheit davon niemals wahrgenommen wird (S. oben S. 118. Vergl. auch noch Bd. I. S. 231).

Oben Bd. I. S. 469 findet sich die auffallende Thatsache berichtet, daß die beiden rittlings in die Zuleitungsgefäße tauchenden Beine eines GALVANI'schen Präparates sich niemals das Gleichgewicht halten, trotz aller Sorgfalt, die man auf die symmetrische Zurichtung der Beckengegend und auf das gleich tiefe Eintauchen beider Beine verwenden mag. Jetzt wird diese Thatsache leicht verständlich mit Hülfe des eben erinnerten Umstandes, daß die gleichnamigen Muskeln der beiden Beine desselben Thieres häufig auf einer sehr verschiedenen Stufe des parelektronomischen Zustandes gefunden werden. Dazu kommt noch, daß bei jener Versuchsweise, wenn man nicht ganz besonders Acht darauf giebt, das eine Bein leicht mehr als das andere der entwickelnden Wirkung der Kochsalzlösung in den Zuleitungsgefäßen preisgegeben wird.

Oben Bd. I. S. 476. 477 habe ich angeführt, daß häufig die Zuckung ohne Metalle durch Zurückbeugen des Ischiadnerven gegen die Wade erst nach mehrmaligem Versuchen erscheint (Vergl. dazu Abth. I. S. 119. 298. 425. 431. 469. 531. 533. 562). Ich habe es zweifelhaft gelassen, ob dieser Umstand zusammenhängt mit der bekannten Thatsache, daß auch sehr abgemattete Froschschenkel, in den spätesten Zuständen der Erregbarkeit, häufig nicht sofort auf den Strom ungleichartiger Metallbögen antworten, sondern erst nach mehrfacher Erregung, oder ob einer andern Deutung desselben Umstandes Gehör zu geben sei, die sich uns in der Folge darbieten werde. Dabei schwebte mir nämlich die Möglichkeit vor, daß durch das öftere Schließen der thierischen Kette in sich selber der Strom der Muskeln, die ich mir im parelektronomischen Zustande dachte, entwickelt werde. Diese Möglichkeit fällt

jetzt fort, da das Schliessen zur Kette auf die Stromentwicklung keinerlei Einfluß äußert, es sei denn, was hier nicht zutrifft, daß daran die Benetzung des natürlichen Querschnittes mit einer entwickelnden Flüssigkeit geknüpft sei.

Der oben Bd. I. S. 504. 513. 539. 557 angemerkte Umstand, daß, wenn man künstlichen Querschnitt gegen natürlichen auflegt, kein Gleichgewicht stattfindet, sondern der künstliche Querschnitt der negativere ist, beruht wohl nur zum kleineren Theil auf der verschiedenen Neigung beider Arten des Querschnittes gegen die Axe der Muskelbündel, wie daselbst angegeben wurde. Zum größeren Theil wird dies Verhalten, wie jetzt klar ist, durch die parelektronomische Schicht am natürlichen Querschnitte bedingt. Vergl. oben S. 118.

Es lag in Zusammenhang meiner früheren Vorstellungen über den parelektronomischen Zustand, daß ich mir dachte, die elektromotorischen Muskelmolekeln würden erst durch das Schliessen der Muskeln zur Kette positiv peripolar angeordnet, dies geschehe rasch im gewöhnlichen, allmähig und erst durch öfteres Schliessen im parelektronomischen Zustande (S. oben S. 43 ff.). Aus diesem, nun als illusorisch erkannten Grunde wurde oben Bd. I. S. 693 die dreisiggliederige Säule von halbdurchschnittenen Froschoberschenkeln, an der ich die elektroskopische Wirkung der Muskeln untersuchen wollte, vor der Prüfung durch das Elektroskop erst mehreremal mit wohlbefeuchteten Fingern zum Kreise geschlossen.

Aus der Stromentwicklung im parelektronomischen Zustande erklärt sich, wie auch daselbst bereits angemerkt ist, die oben Bd. I. S. 715 beschriebene Erscheinung, daß das Ueberbrücken der Zuleitungsbäusche mit einem zweiten, dritten ... Gastroknemius den Strom im Multiplicator nicht immer verstärkt, oft ihn schwächt, daß aber das Entfernen desselben zweiten, dritten ... Gastroknemius, nachdem er eine Weile aufgelegt, merkwürdigerweise abermals von einem negativen Ausschlage begleitet ist, sein erneutes Hinzubringen aber von einem positiven. Es leuchtet ein, daß der Gastroknemius, wegen parelektronomischen Zustandes, beim ersten Hinzutragen stärker als Nebenschließung denn als Erreger wirkte, daß sich aber in Verlauf seiner Berührung mit der Flüssigkeit der Eiweißhäutchen oder der Bäusche sein Strom entwickelt hat, so daß er nunmehr stärker als Erreger denn als Nebenschließung zu wirken fähig geworden ist. Vergl. Bd. I. a. a. O.

Ebendas., S. 716, habe ich gesagt: »Wenn wir die Bewegungserscheinungen des Muskelstromes werden kennen gelernt haben ...,

»wird sich uns eine Aussicht eröffnen, das Gesetz des Muskelstromes, »freilich unter Zuziehung mehrerer sehr gewagter Voraussetzungen, »allein durch eine dipolare Anordnung ungleichartiger Gebilde im »Innern der einfachen Bündel, statt durch eine peripolare ..., zu er- »klären.« Dies führte ich an um die Wichtigkeit der von uns auf- gefundenen Thatsache fühlbar zu machen, daß die Summe der Span- nungen, mit denen die Muskeln im Multiplicatorkreise thätig sind, mit ihrem Querschnitt wächst, indem nämlich diese Thatsache mit der Voraussetzung einer dipolaren Anordnung der ungleichartigen Bestand- theile im Muskel unvereinbar scheint. Ich bemerke nunmehr, daß jene mir damals vorschwebende Möglichkeit einer Ableitung der elek- tromotorischen Erscheinungen der Muskeln aus einer dipolaren Anord- nung der Molekeln zusammenhing mit den schon mehrmals berühr- ten irrigen Vorstellungen, die ich mir über das Wesen des parelek- tronischen Zustandes machte, und daß, bei der jetzigen, wie ich glaube, der Wirklichkeit gemäßen Ansicht der Dinge, von jener Mög- lichkeit nicht mehr die Rede sein kann. So wichtig die erinnerte Abhängigkeit der elektromotorischen Kraft eines Muskels von seinem Querschnitte sich an und für sich darstellt, es braucht uns diese That- sache doch den Dienst nicht mehr zu leisten, um deswillen sie uns damals besonders willkommen erschien, zu entscheiden nämlich zwi- schen zweien, sonst in allen Stücken gleichberechtigten Theorieen des Muskelstroms.

Als ich, im Sommer 1842, die oben Abth. I. S. 183 aus meinem »vorläufigen Abrifs« entnommenen Versuche über die verderbliche Wirkung der Aetzmittel auf das elektromotorische Vermögen der Mus- keln anstellte und mich dabei zuerst des Gastroknemius mit natürlichem Querschnitt bediente (S. daselbst S. 177), fand ich einigemal zu meinem nicht geringen Befremden, daß der Strom der Muskeln, statt durch das eben geprüfte Aetzmittel wenigstens vermindert zu sein, ganz im Gegentheil stärker als vorher erschien. Bei Anwendung des künstlichen Querschnittes sah ich dies Verhalten nie. Bei der damaligen Versuchs- weise lag indess der Verdacht, daß etwas von der ätzenden Flüssigkeit am Muskel haften geblieben sei und elektromotorisch gewirkt habe, zu nahe um viel auf diese sonst ziemlich unerklärliche Abweichung zu geben. Jetzt ist natürlich auch dies Räthsel gelöst: die Muskeln befanden sich im parelektronischen Zustande, und das geprüfte Aetzmittel hatte durch Zerstörung der parelektronischen Schicht am natürlichen Quer- schnitt den Strom zunächst mehr verstärkt, als es ihn durch Anätzen des natürlichen Längsschnittes geschwächt hatte (Vergl. oben S. 105. 137).

14. Von der Ursache der scheinbar durch das Enthäuten bewirkten Verstärkung des Muskelstromes.

Die bisher aufgezählten Punkte, die, früher dunkel geblieben, mit Hilfe der Kenntniß des parelektronomischen Zustandes, jetzt von uns aufgeklärt worden sind, waren meist von geringem Belang. Jetzt aber bleibt uns übrig, die nämliche Kenntniß anzuwenden, um die wichtige Frage zu beantworten, vor der wir am Schlusse des vorigen Paragraphen rathlos stehen geblieben waren. Man erinnert sich, daß das aus den Erscheinungen des parelektronomischen Zustandes für diese Frage erwachsende Licht sogar der Grund war, weshalb die Untersuchung über diesen Zustand hier eingeschaltet wurde. Die Episode über den parelektronomischen Zustand ist nun zu Ende. Wir nehmen den Faden unserer Untersuchung wieder auf, welche, wie man nicht vergessen hat, nunmehr auf die Darlegung der neuen elektrischen Erscheinungen auch am lebenden unversehrten Körper der Thiere und wo möglich des Menschen selber gerichtet ist.

Nach Beseitigung der Schwierigkeiten, die uns die Hautungleichartigkeiten des Frosches entgegengesetzten, hatten wir gefunden, daß der Muskelstrom am unversehrten lebenden oder todten Thiere, wie auch an nicht enthäuteten Gliedmaßen des getödteten, zwar vorhanden ist, daß er aber weit schwächer erscheint, als an den enthäuteten Gliedmaßen, oder dem enthäuteten, lebenden oder todten Gesamtfrosch (S. oben S. 9).

Hiezu mag jetzt noch gefügt werden, daß an Fröschen, die durch die Kälte auf die höheren Stufen des parelektronomischen Zustandes versetzt worden sind, dieser Strom nach Umständen ganz vermißt wird, ja verkehrt erscheint; sichtlich abermals ein Beweis dafür, daß er, seiner geringen Stärke ungeachtet, als der wahre Muskelstrom anzusehen ist (S. oben S. 9). Wir hatten ferner erfahren, daß diese geringere Stärke des Muskelstromes, obschon sie lediglich durch die Gegenwart der Haut bedingt zu sein scheine, nur zu einem kleinen Theile davon herrühre, daß die Haut für den Muskelstrom eine Nebenschließung in Bezug auf den Multiplicatorkreis bildet. Wenn wir nämlich die Gliedmaßen des Frosches zuerst im nicht enthäuteten Zustande auf ihren Strom prüften, sodann sie enthäuteten, endlich ihnen die Haut wieder überzogen und sie abermals am Multiplicator prüften, fanden wir stets den Strom sehr viel größer, als er vor dem Abziehen gewesen war (S. oben S. 23). Noch eine andere Art hatten wir ausfindig gemacht, den Strom zu erhöhen. Sie bestand, dem Anschein nach, einfach darin, die nicht enthäuteten Gliedmaßen stundenlang an

der Luft liegen zu lassen. Prüften wir sie dabei von Zeit zu Zeit am Multiplicator, so sahen wir den Muskelstrom sich allmählig zu einer sehr ansehnlichen Gröfse entwickeln. Diese Entwicklung fand aber am lebenden Thiere nicht statt, welches wir, auf den bekannten Rahmen gebunden, mit Hülfe des Sattelbausches untersuchten (S. oben S. 9). Endlich wenn wir ein nicht enthäutetes Bein querdurchschnitten, und den künstlichen Querschnitt einerseits, andererseits den noch mit der Haut bekleideten natürlichen Längsschnitt an die Zuleitungsbäusche legten, fanden wir den Muskelstrom stets in seiner gewöhnlichen Richtung und Stärke vor (S. oben S. 25).

Obschon dieser letzte Erfolg schlecht damit stimmte, und obschon sich noch sonst viel dagegen einwenden liefs, wufsten wir uns von der Gesammtheit dieser Thatsachen nicht anders Rechenschaft zu geben, als indem wir annahmen, dafs die Verstärkung des Muskelstromes durch das Enthäuten beruhe auf der freigegebenen Berührung der Muskeln mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft.

Von dieser Annahme kann jetzt nicht mehr die Rede sein, nun wir gefunden haben, dafs nichtenthäutete Präparate sogar in Sauerstoff stundenlang verweilen können, ohne dafs ihr Strom sich entwickelt; dafs diese Entwicklung nur stattfindet, wenn die Präparate am Multiplicator geprüft werden; dafs sie aber so wenig als mit dem Sauerstoff der Luft etwas zu schaffen habe mit dem Schliessen der thierischen Theile zur Kette; dafs sie vielmehr lediglich beruhe auf der zufälligen Benetzung des natürlichen Querschnittes der Muskeln mit der Kochsalzlösung der Zuleitungsgefäfsse, und ausbleibe, wenn diese Benetzung vermieden werde; dafs endlich die Kochsalzlösung in dieser Rolle ersetzt werden könne durch eine beliebige andere, leitende oder nicht leitende Flüssigkeit, wofern sie nur die Eigenschaft besitze, die thierischen Gewebe anzugreifen; ja dafs eine oberflächliche mechanische oder kaustische Zerstörung des natürlichen Querschnittes das Gleiche zu leisten im Stande sei.

In der That, von der Stufe der Kenntniß aus, auf der wir jetzt angelangt sind, ist nichts leichter, als alle jene räthselhaften Erscheinungen nicht nur ganz genügend zu erklären, sondern auch die Richtigkeit dieser Erklärung durch die unwidersprechlichsten Gegenversuche zu beweisen.

Es ist ganz klar, diese Erscheinungen beruhten lediglich darauf dafs sich die Muskeln stets auf einer mehr oder weniger hohen Stufe des palelektronomischen Zustandes befinden (S. oben S. 118 ff.). Da außerdem die Haut für den Muskelstrom eine schwächende Nebenschließung darstellt, so ist es ganz in der Ordnung, dafs die nicht enthäuteten

Gliedmaßen nur schwach elektromotorisch wirksam erscheinen. Es versteht sich nämlich von selber, daß die Flüssigkeit, welche die innere Hautfläche benetzt und die Lymphräume erfüllt, nicht entwickelnd wirkt. Denn wäre dies der Fall, so würde man nie einen parelektronomischen Muskel mit unentwickeltem Strome sehen. Auch kann man sich hiervon, zum Ueberflufs, durch den Versuch überzeugen. Man braucht nur einen parelektronomischen Gastroknemius in ein Stück Froschhaut zu wickeln, deren innere Fläche nach innen gekehrt ist. Sein Strom bleibt völlig auf derselben Stufe stehen (Vergl. oben S. 64).

Hingegen die äufsere Seite der Haut wirkt stark entwickelnd. Ein parelektronomischer Gastroknemius, in ein Stück Haut gewickelt, deren Aeußeres nach Innen gekehrt ist, hat sehr bald nahezu seinen vollen Strom. Es genügt, die Ausbreitung der Achillessehne auch nur ein wenig mit der äufseren Seite der Froschhaut zu reiben, um alsbald den Strom hervortreten zu sehen. Dies Ergebnifs erscheint nach dem, was wir im ersten Paragraphen über die Beschaffenheit der Hautabsonderung ermittelt haben (S. oben S. 17), wohl in der Ordnung.

Zieht man einer Gliedmaße, nachdem sie behufs der Prüfung auf ihren Strom auf den Zuleitungsgefäfsen gelegen, die Haut ab, und später wieder über, so ist es nicht zu vermeiden, daß dabei die Muskeln mit Kochsalzlösung benetzt werden und sich ihr Strom entwickele. Er erscheint alsdann stärker, als bei der Prüfung vor dem Enthäuten. Dies also ist der Schlüssel jener scheinbar durch das Enthäuten mit reifsender Schnelligkeit herbeigeführten räthselhaften Stromverstärkung, die mich so lange in die Irre geführt hatte. Es ist leicht zu zeigen, daß dem wirklich so ist.

Man bereitet das Bein eines Frosches in der Art, daß man vom Oberschenkel nichts behält als Knochen und Haut. Den Knochen spannt man in den oben Abth. I. S. 122 beschriebenen Schraubstock, und läßt einerseits vom Knie die Haut, andererseits den Fuß und Mittelfuß in die beiden Zuleitungsgefäße hängen. Damit der Fuß herabhängen könne, muß natürlich die Streckseite des Fußgelenks nach oben, die des Kniegelenks nach unten sehen. Nach Zerstörung der Hautungleichartigkeiten findet man einen schwachen aufsteigenden Strom vor. Trennt man nun die Haut des Unterschenkels durch einen Zirkelschnitt am Kniegelenk, und durch einen Längsschnitt über der Tibia, und zieht sie nach unten zu ab, doch so, daß sie nicht mit der Salzlösung des Zuleitungsgefäßes für den Fuß in Berührung kommt, so entsteht, wegen der fortgefallenen Nebenschließung durch die Haut, und des verminderten Widerstandes des Kreises an der Stelle, wohin man sie zurückgeschlagen hat, ein leichter positiver Ausschlag; wenn sich nicht, was auch

eintreten kann, eine unregelmäßige Wirkung von Seiten der Hautungleichartigkeiten einmischt. Dabei aber hat es sein Bewenden. Wie es sich nach allem Vorhergegangenen von selbst versteht, man kann den Unterschenkel in dieser Lage vertrocknen lassen, ohne daß sich mehr als jene uns schon bekannte Spur von Stromentwicklung kund gäbe, die auch an ganz sich selbst überlassenen Muskeln sich nicht selten einstellt (S. oben S. 102). Ebensowenig äußert das Wiederüberziehen der Haut einen Einfluß; man muß jedoch, damit der Versuch gelinge, sowohl beim Abziehen als beim Wiederüberziehen der Haut die größte Obhut darauf haben, daß sie sich nicht umlege, und ihre äußere Fläche mit dem natürlichen Querschnitt der Muskeln in Berührung komme, widrigenfalls, wie so eben bemerkt worden ist, sich sofort lebhaftere Stromentwicklung einstellt. Deshalb ist es rathsam, wie anempfohlen wurde, den Längsschnitt durch die Haut des Unterschenkels über der Tibia anzulegen, damit nämlich eine etwaige Verunreinigung mit Hautschleim wenigstens minder leicht die Ausbreitung der Achillessehne treffe.

Läßt man nicht enthäutete Gliedmaßen, nachdem man sie auf ihren Strom geprüft hat, längere Zeit liegen, so entwickelt sich ihr Strom (S. oben S. 9). Dies ist eine natürliche Folge davon, daß, mit der Zeit, die Salzlösung, welche die Präparate benetzt (S. oben S. 46), die Haut durchdringt und auf die Muskeln wie gewöhnlich einwirkt. Man kann dieselbe Wirkung viel rascher eintreten sehen, wenn man die Gliedmaßen ganz und gar unter Salzlösung bringt. Alsdann erhält man bereits nach wenigen Minuten einen so kräftigen positiven Ausschlag, wie ihn die beträchtliche Nebenschließung nur gestattet, welche von der mit der Lösung getränkten und benetzten Haut gebildet wird.

Es war also nicht, wie wir oben S. 24 wähten, das lange Liegen an der Luft, welches hier den Strom herbeiführte, und ebenso wenig war es der Zustand des Lebens, in Folge dessen er unentwickelt blieb in dem Fall des auf den Rahmen gespannten Frosches, dessen Füße in das eine Zuleitungsgefäß tauchten, während das andere durch den Sattelbauch mit seinem Rücken verbunden war. Sondern der Grund des Ausbleibens der Stromentwicklung in diesem Falle war einfach der, daß dabei die Haut der Ober- und Unterschenkel mit der Salzlösung nicht in Berührung kam, wie in den vorigen Versuchen, und daher auch keine entwickelnde Flüssigkeit, wie dort, mit der Zeit zu den Muskeln dringen konnte. Daß der Lebenszustand des Thieres jener Grund nicht war, lehrt der Erfolg beim Auflegen eines enthäuteten lebenden Frosches auf die Zuleitungsgefäße; dabei werden die Muskeln mit Kochsalzlösung benetzt, und der Strom kommt zu Stande

(S. oben S. 5). Aber man kann diesem Versuch leicht noch eine bessere Gestalt geben, bei der namentlich das Enthäuten vermieden wird, welches für Manche, trotz allem Voraufgegangenen, doch ein Stein des Anstoßes bleiben möchte.

Der lebende unversehrte Frosch wird auf den Rahmen gespannt, jedoch so, daß nur das linke Bein in das Zuleitungsgefäß für die Füße taucht. Das rechte Bein wird seitlich an dem Rahmen festgebunden. Dies hat zum Zweck, daß nicht das eine Bein Nebenschließung für das andere bilde, wenn der Strom an letzterem auf die gleich zu beschreibende Art entwickelt wird. Das Kreuz des Frosches steht in gewohnter Weise durch den Sattelbauch in Verbindung mit dem anderen Zuleitungsgefäß, und die Nadel wird demgemäß, nach Zerstörung der Hautungleichartigkeiten, in der kleinen beständigen Ablenkung gehalten, die der Größe des noch unentwickelten Stromes entspricht, in der ihm die Haut, als Nebenschließung, hervorzutreten erlaubt. Jetzt eröffne man durch einen kleinen Hautschnitt den Lymphraum des einen Unterschenkels und spritze ein Essigsäure, Höllensteinlösung, Ammoniak, Kreosot oder was man sonst will von entwickelnden Flüssigkeiten, gleichviel ob sauer, neutral oder alkalisch, ob leitend oder nicht leitend. Sofort erfolgt ein kräftiger positiver Ausschlag, und die Nadel kommt zur Ruhe in einer weit größeren beständigen Ablenkung als vorher. Man eröffne in gleicher Weise den großen vorderen Lymphraum des Oberschenkels (poche fémorale DUGÈS, ¹ saccus femoralis MEYER ²), und spritze auch hier eine der entwickelnden Flüssigkeiten ein. Es erfolgt abermals ein positiver Ausschlag, jedoch von geringerer Größe, dem Antheil entsprechend, mit dem die Muskeln des Oberschenkels zur aufsteigenden Wirkung des gesammten Beines beitragen.

Was endlich den Versuch mit dem nicht enthäuteten querdurchschnittenen Beine betrifft, so bedarf sein Ergebniss jetzt keiner Erklärung mehr, da ja vielmehr das Ergebniss der übrigen Versuche damit in Einklang gebracht worden ist. Der Erfolg jenes Versuches stand in Widerspruch mit dem der Versuche an den unversehrten thierischen Gliedern. Hier schien der Strom nur spurweise vorhanden zu sein, am enthäuteten querdurchschnittenen Beine fanden wir ihn sogleich in seiner ganzen Stärke vor. Der eine dieser Erfolge mußte eine Täuschung in sich tragen. Wir wissen jetzt, daß es der erstere war. Der Strom

¹ Recherches sur l'Ostéologie et la Myologie des Batraciens à leurs différens âges. Paris 1834. 4°. p. 122. pl. V. fig. 40. 41. s.*

² Jos. MEYER, Systema Amphibiorum lymphaticum Disquisitionibus novis examinatum. Dissertatio inauguralis. Berolini 1845. 4°. p. 9. tab. II. fig. XIII. XIV. III*

ist an den unversehrten Gliedmaßen gerade so gut bereits in seiner vollen Kraft vorhanden als nach dem Querdurchschneiden derselben.

Diese Beweise für die Richtigkeit der Erklärung, die ich von der Schwäche des Muskelstromes am unversehrten gleichviel ob lebenden oder todtten Frosch gebe, dürften wohl ausreichend erscheinen. Ein fernerer Beweis würde sichtlich darin liegen, wenn es uns gelänge nachzuweisen, daß die Größe des positiven Ausschlages, den man vom unversehrten Frosch erhält, gleichen Schritt halte mit der Stufe der positiven Wirksamkeit, auf der man nachgehends seine Muskeln findet. Ich habe also in einer beträchtlichen Anzahl von Fällen die Stärke der positiven Wirksamkeit des unversehrten Frosches verglichen mit der seiner Gastroknemien. Es hat sich aber zwischen beiden keine stete Uebereinstimmung ergeben. Vielmehr kam es vor, daß an einem verhältnißmäßig stark positiv wirksamen Frosche die Gastroknemien sich schwach positiv wirksam erwiesen. Indessen hat dies nichts zu sagen. Denn man entsinnt sich, daß, obschon die Gastroknemien und Unterschenkelstrecker zur positiven Wirksamkeit des GALVANI'schen Präparates beitragen, doch noch nach Entfernung dieser Muskeln das Präparat mit großer Kraft positiv zu wirken fortfährt (S. oben Bd. I. S. 520). Man entsinnt sich ferner, daß an einem und demselben Frosche verschiedene Muskeln auf sehr verschiedenen Stufen des parelektronomischen Zustandes gefunden werden (S. oben S. 126). Es ist also die Voraussetzung gar nicht gerechtfertigt, daß eine stete Uebereinstimmung herrschen müsse zwischen der Stärke der positiven Wirksamkeit des unversehrten Frosches und der eines bestimmten Muskels, z. B. des Gastroknemius oder des Unterschenkelstreckers. Wäre es ausführbar, sämtliche bei Erzeugung des Stromes des unversehrten Frosches betheiligte Muskeln einzeln auf die Stärke ihrer positiven Wirksamkeit zu prüfen, so würde die Summe ihrer Wirkungen mit der Wirkung des unversehrten Frosches doch wohl unstreitig gleichen Schritt halten.

Kurz, das aus alle dem mit zweifelloser Gewißheit fließende Ergebnis von höchster Wichtigkeit ist dieses, daß am lebenden unversehrten Frosch sowohl als an den nicht enthäuteten Gliedmaßen des getödteten der Muskelstrom bereits vorhanden und nach denselben Gesetzen wirksam ist, welche wir an den einzelnen ausgeschnittenen Muskeln erkannt haben. Hiernach ist das oben Bd. I. S. 682 Gesagte zu berichtigen, »daß die peripolare Anordnung ... während des unverletzten Lebens »der Muskeln im Körper nicht, oder nur spurweise und nicht mit Bestimmtheit nachweisbar, vorhanden sei, daß mehrere andere Anordnungen in der Folge, als unserem Interesse gegenüber gleichberechtigt,

»sich uns darbieten würden, und das jene vor diesen nur dadurch ausgezeichnet sei, das sie der Zustand zu sein scheine, in welchem die Muskelmolekeln sich unter den Umständen, unter denen wir die thierischen Glieder zu untersuchen pflegen, fast immer mit großer Regelmäßigkeit begeben (Vergl. auch oben Abth. I. S. 156).« Dieser, nunmehr als irrig erkannte Ausspruch beruhte abermals auf der falschen Vorstellung, die ich mir lange Zeit von dem Wesen des parelektronischen Zustandes und der Stromentwicklung in diesem Zustande gemacht hatte, und durch die ich auch in die mannigfachen, oben S. 169 ff. bezeichneten Irrwege verleitet worden bin.

Was den Nervenstrom betrifft, so ist es freilich unmöglich, den unmittelbaren Beweis seines Daseins am lebenden unversehrten Thiere zu führen, wie dies so eben für den Muskelstrom geschehen ist. Nicht einmal an einem unversehrten Nerven kann ja dieser Beweis geführt werden, wegen des Mangels eines dazu geeigneten natürlichen Querschnittes der Nerven. Doch würde es keinen Sinn haben, an dem Dasein des einen dieser beiden Ströme im unversehrten lebenden Körper zweifeln zu wollen, nachdem das des anderen erwiesen ist. Man vergesse nicht, das an und für sich gar kein Grund vorhanden war, die Gegenwart der Ströme im unversehrten lebenden Körper in Abrede zu stellen. Es würde ein Mißverständniß sein, wenn man aus diesem Gesichtspunkte den Werth beurtheilen wollte, den wir so eben darauf legten, das es uns geglückt sei, diese Gegenwart für den Muskelstrom thatsächlich nachzuweisen. Der Zusammenhang ist vielmehr folgender. Obschon die Gegenwart des Muskelstromes am lebenden unversehrten Körper sich von selbst zu verstehen schien (S. oben S. 1), durften wir, der Strenge der Methode eingedenk, doch nicht unterlassen, uns davon durch den Versuch zu überzeugen, der hier wirklich angestellt werden konnte. Nun zeigte es sich, das, unserer Erwartung zuwider, der Muskelstrom am lebenden unversehrten Körper zwar nicht zu fehlen, aber doch nur spurweise vorhanden zu sein schien. Darauf, das durch die Entdeckung der parelektronischen Schicht jetzt diese Dunkelheit beseitigt ist, wurde oben Werth von uns gelegt. Um so sicherer aber dürfen wir nun auch den Nervenstrom als unzweifelhaft im lebenden unversehrten Körper vorhanden betrachten, als ja für denselben, so wenig wie für den Muskelstrom, von vorn herein ein Bedenken in dieser Hinsicht obwaltete, und als außerdem der Muskelstrom jetzt wirklich in seiner vollen Stärke am lebenden unversehrten Frosch nachgewiesen ist.

§. III.

Von der negativen Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung an nicht enthäuteten Gliedmaßen und am lebenden unversehrten Thier.

Wir wissen jetzt, daß der Muskelstrom am lebenden unversehrten Thier so gut als an den zugerichteten Muskeln vorhanden ist, auf die wir, bis zu diesem Kapitel, unsere Versuche beschränkt hatten. Es versteht sich sonach im Grunde von selbst, daß die Bewegungserscheinung des Stromes, welche seine Zusammenziehung begleitet, eben so wenig am lebenden unversehrten Körper vermisst werden wird, als der ruhende Muskelstrom selber. Vielmehr wird die negative Schwankung des Stromes sogar noch leichter nachweisbar sein, da sie, wegen der parelektronomischen Schicht, leicht die positive Wirkung des ruhenden Muskels an Größe übertrifft (S. oben S. 144). Doch wollen wir es uns nicht verdrießen lassen, den thatsächlichen Beweis auch hiefür noch zu führen.

Dies kann mit keinen besonderen Schwierigkeiten verknüpft sein. Das einzige Hinderniß, was am Frosch diesem Unternehmen in den Weg tritt, könnte in den elektromotorischen Wirkungen der Haut dieses Thieres liegen. Indessen sind wir durch die im ersten Paragraphen dieses Kapitels angestellte Untersuchung dieser Wirkungen in Stand gesetzt, dies Hinderniß vollständig zu beseitigen.

Um zwei Hautstellen des Frosches bei ungleichzeitiger Berührung mit den von Kochsalzlösung durchzogenen Bäuschen oder mit der in den Zuleitungsgefäßen enthaltenen Lösung selber elektromotorisch unwirksam zu machen, genügt es, wie man sich erinnert, sie einige Zeit hindurch mit der Lösung benetzt zu erhalten (S. oben S. 11). In den folgenden Versuchen wird der Kreis stets gebildet entweder durch Eintauchen der nicht enthäuteten Gliedmaßen in beide Zuleitungsgefäße, oder es findet dieses Eintauchen nur auf der einen Seite statt, auf der anderen Seite wird der Sattelbausch zwischen der Lösung des einen Gefäßes und dem Rücken des Frosches angebracht. Auf alle Fälle sind also, wie wir erfahrungsmäßig wissen, hier die Bedingungen erfüllt, damit nach wenigen Minuten die Haut in einen unwirksamen feuchten Leiter verwandelt sei und der Muskelstrom ungestört hervortrete, so weit es die Wirkung der Haut als Nebenschließung und die parelektronomische Schicht gestatten, welche die natürlichen Querschnitte sämtlicher Muskeln überzieht. Doch würde es, bei den jetzt

zu beschreibenden Versuchen, nicht gerathen sein, es bewenden zu lassen bei dieser Art von Selbstberichtigung, wie sie die bloße Herstellung des Kreises mit sich bringt. Es kommt nämlich, wie man sich leicht denken kann, vor, daß im Augenblick der Zuckung die Tiefe sich verändert, bis zu der die Glieder eintauchen, oder daß der Sattelbausch sich am Rücken des Thieres verschiebt. Durch die damit verbundenen ungleichzeitigen Berührungen der Kochsalzlösung mit neuen Hautstellen entstehen vorübergehende Ströme, welche begreiflich zu argen Täuschungen Anlaß geben können. Man muß daher Sorge tragen, daß die in die Lösung unmittelbar getauchten Hautstellen noch in solcher Höhe über der Oberfläche der Lösung damit benetzt sind, daß bei einem etwa vorkommenden tieferen Eintauchen derselben keine neue Berührungen zwischen Lösung und Haut eintreten können. Die Hautstelle aber, wo der Sattelbausch angelegt werden soll, muß man stets in größerer Ausdehnung, als sie vom Bausch berührt wird, mit der gesättigten Kochsalzlösung bepinseln, damit gleichfalls bei einer etwa stattfindenden Verschiebung des Bausches keine neue Berührungen Platz greifen. Um so ausreichender erweisen sich übrigens schließlich diese Vorkehrungen, als es sich hier ja nicht handelt um den Nachweis, ob ein Strom vorhanden sei oder nicht, sondern um die Veränderung eines schon bestehenden Stromes, wo es also gleichgültig ist, ob von dem beständig vorhandenen Strom ein Theil auf Rechnung der Hautungleichartigkeiten statt auf die der elektromotorischen Wirkung ruhender Muskeln kommt, wofern nur jener Antheil, zur Zeit der zu beobachtenden Aenderung des Muskelstromes, selbst keine Aenderung erleidet. Diese Vorkehrungen werden also in dem Folgenden stets bereits als getroffen vorausgesetzt.

Wir beginnen mit dem einfachsten Falle, dem eines nicht enthäuteten Unterschenkels vom Frosch. Um seinen Strom bequem ableiten zu können, bediente ich mich des bereits oben Abth. I. S. 121. 122. Abth. II. S. 175 angewendeten Schraubstockes. Der Unterschenkel wurde diesmal mit dem Fußgelenk in den Schraubstock gespannt. Der Fuß tauchte wie früher unmittelbar in das eine Zuleitungsgefäß. Die Beugung des Fußgelenkes wurde durch den Schraubstock selbst verhindert. Um auch der Streckung ein Ende zu machen, durchschnitt ich die Achillessehne subcutan. Damit nicht, wie dies bei allgemeinem Tetanus der Unterschenkelmuskeln zu geschehen pflegt, die Schwimmhaut ausgespreizt werde, wurden die Zehen mit einem Faden fest zusammengeschnürt. Vom Kniegelenk hing auch diesmal die Haut des Oberschenkels, welche dicht unter dem Becken durch einen Zirkelschnitt getrennt war, in das andere Zuleitungsgefäß herab. In der Kniekehle brachte ich ein Loch

in die Haut an, zu welchem ich den Sitzbeinnerven in's Freie, nach den Platinblechen der stromzuführenden Vorrichtung, hinausleitete.

Nachdem die Nadel unter dem Einfluß des unentwickelten und durch Widerstand und Nebenschließung geschwächten Muskelstromes zur Ruhe gekommen war, tetanisirte ich den Unterschenkel vom Nerven aus auf elektrischem Wege. Es erfolgte ein Ausschlag in absteigender Richtung, natürlich auch ziemlich schwach, wegen des bedeutenden in den Kreis eingeführten Widerstandes der Fufswurzel und der Oberschenkelhaut und wegen der durch die Haut dargebotenen Nebenschließung.

Legte ich der im Schraubstock nach oben gekehrten, folglich in's Freie sehenden Wade des Unterschenkels den Nerven eines stromprüfenden Froschschenkels an, so daß der Nerv über natürlichem Längs- und Querschnitt des Gastroknemius befindlich war, so zeigte der stromprüfende Schenkel bei einzelnen Zuckungen des eingespannten Schenkels die secundäre Zuckung, und gerieth in secundären Tetanus, wenn ich die primären Zuckungen sich zu stetigem Starrkrampf verschmelzen liefs.

Man könnte fragen, ob nicht vielleicht in diesem Falle die secundären Zuckungen herrühren von Hautströmen, die durch Verschiebung des Nerven auf der Haut im Augenblick der Zuckung bedingt werden. Allein erstens könnte dann doch kein secundärer Tetanus entstehen, denn im Verfolg des Tetanus verändert ja der ursprünglich zuckende Muskel seine Lage und Gestalt nicht mehr. Für's zweite verschiebt sich der stromprüfende Nerv gar nicht auf der Haut, wenn man ihm nur Spiel genug läßt, ihren Bewegungen zu folgen, weil er zu leicht ist und ihr zu fest anklebt. Drittens erhält man keine Zuckungen, wenn man den Nerven absichtlich auf der Haut hin und herschiebt. Endlich bleibt die secundäre Zuckung aus, wenn man dem Nerven solche Lagen ertheilt, daß er nicht vom Muskelstrom durchflossen ist. Aus allen diesen Gründen, von denen jeder einzelne ausreichen würde, ist, wie man sieht, an die ausgesprochene Verdächtigung hier gar nicht zu denken.

Es lag nahe, diese Versuche auch auf den lebenden ganz unversehrten Frosch zu übertragen. Die eine der Anordnungen, deren ich mich dazu bediente, findet sich abgebildet Fig. 24. Taf. III. Bd. I. Man sieht den Frosch auf dem bekannten Rahmen ausgespannt, die Füße in das eine Zuleitungsgefäß getaucht, und den Sattelbausch die Kette vervollständigend zwischen dem Kreuz des Frosches und dem anderen Zuleitungsgefäße. Am Rücken des Frosches sind Hautklemmen angebracht (S. oben Bd. I. S. 456. Fig. 25. 26. Taf. III. Bd. II. Abth. I. S. 56. 605. Fig. 142. Taf. V). Die Nadel nimmt, unter dem Einfluß des Muskelstromes, wie er gerade beschaffen ist, eine beliebige Stellung

meist ziemlich nahe dem Nullpunkt ein. Sobald man beginnt, wie die Doppelpfeile in der Figur es andeuten, durch den Froschrumpf mit Hilfe der Klemmen den tetanisirenden Strömungsvorgang hindurchzuschicken, sieht man die Nadel, gleichviel welche Richtung der gerade vorhandene Strom hat (S. oben S. 173), stets im absteigenden Sinne einen Ausschlag beschreiben, dessen GröÙe sich hier bis auf 45° belaufen kann. S. den Pfeil längs den Beinen des Frosches in der Figur.

Legt man den Nerven eines stromprüfenden Froschschenkels der Wade des Frosches wie vorhin des bloßen Unterschenkels an, so erfolgen für einzelne Inductionsstöße secundäre Zuckungen des Schenkels, und beim Tetanisiren secundärer Tetanus.

Es wird gewiß nicht an solchen fehlen, die den Beweis verlangen, daß der absteigende Ausschlag nicht herrühre von Schleifen des erregenden Stromes, die in den Multiplicatorkreis einbrechen, und die secundären Zuckungen von dergleichen Schleifen, die sich bis in die Beine erstrecken. Der Beweis ist in beiden Fällen leicht zu führen.

Was den Ausschlag am Multiplicator betrifft, so könnte die Wirkung der in den Multiplicatorkreis einbrechenden Schleifen des tetanisirenden Strömungsvorganges keine andere sein, als doppelsinnige Ablenkung, wie wir schon mehrmals zu bemerken Gelegenheit hatten (S. oben Abth. I. S. 44. 51. 430). Diese ist stets vom Nullpunkte fort gerichtet, gleichviel auf welcher Seite des Nullpunktes die Nadel befindlich ist. Hingegen in dem vorliegenden Falle findet der Ausschlag stets nach einer und derselben Seite statt, derjenigen nämlich, welche der absteigenden Stromesrichtung in den Beinen des Frosches entspricht; und sollte die Nadel zufällig bereits in dem negativen Quadranten verweilen, so kann man zeigen, daß ihr Ausschlag beim Tetanisiren keine doppelsinnige Ablenkung ist, indem man sie durch ein Magnetstäbchen in den positiven Quadranten einstellt, wo dann die Wirkung, statt ihr Zeichen zu wechseln, unverändert negativ bleibt.

Rottet man ferner, nachdem man die Aorta abdominalis über ihrer Spaltungsstelle in die beiden Arteriae iliacae communes unterbunden hat, die beiden Ischiadgeflechte und -Nerven bis in die obere Schenkelgegend aus, so bleiben, bei mäÙig starken Schlägen, die Beinmuskeln in Ruhe, und mit ihnen die Nadel. Sind die Schläge sehr stark, oder hat man die Nerven, ohne Substanzverlust, einfach durchschnitten, so findet auch so noch Tetanus statt, indem hinlänglich starke Stromeschleifen sich bis zu den peripherischen Stümpfen der durchschnittenen Nerven in der Art begeben, wie dies aus Fig. 142. Taf. V ersichtlich wird. Alsdann wird auch noch die Nadel, in einem dem übrig gebliebenen Tetanus entsprechenden MafÙe, negativ abgelenkt. Wartet man aber den Zeit-

punkt ab, den man auch durch unablässiges Tetanisiren schneller herbeiführen kann, wo selbst die allerstärksten Schläge nicht mehr im Stande sind, Zuckungen zu erregen, so bleibt die Nadel völlig unbewegt, selbst dann, wenn die Schläge an Stärke diejenigen viele hundertmal übertreffen, unter deren Einfluss, so lange noch Muskeln zuckten, ein so beträchtlicher Ausschlag stattfand.

Man kann auch den Versuch recht zierlich dahin abändern, dass man gleich anfangs nur auf einer Seite das Ischiadgeflecht zerstört, und abwechselnd das gesunde und das gelähmte Bein in den Multiplicatorkreis aufnimmt, während das andere wie oben S. 177 zur Seite gebunden wird. Natürlich erhält man dann bei Anwendung des gesunden Beines den Ausschlag der Nadel, bei Anwendung des gelähmten Beines Nichts.

Diese Gruppe von Gegenversuchen gilt nun auch für die secundäre Zuckung durch elektrische Zuckungen des lebenden unversehrten Frosches. Selbst bei sehr starken Strömen erstrecken sich keine Schleifen mit merklicher Kraft bis in's Kniegelenk. Man braucht also nur in der Kniekehle den Ischiadnerven zu zerschneiden, so bleibt der Gastroknemius in Ruhe, und mit ihm der stromprüfende Schenkel, dessen Nerv, über der Haut, dem natürlichen Längs- und Querschnitt des Gastroknemius entlang gelegt ist. An dem Beine, dessen Ischiadicus unversehrt ist, fährt dagegen die secundäre Zuckung zu erscheinen fort, zum Beweise, dass ihr Ausbleiben am gelähmten Unterschenkel nicht etwa die Folge war einer Abnahme der Leistungsfähigkeit des stromprüfenden Froschschenkels.

Endlich, und zum Uebermaß der Sicherheit, lassen sich beide Versuche, der am Multiplicator sowohl als auch der am stromprüfenden Schenkel, ohne alle Einmischung fremder elektrischer Ströme, ganz einfach mit Hülfe der Strychninvergiftung anstellen. Die Anordnung bleibt dabei ganz die nämliche, nur dass die Vorrichtung zum Tetanisiren, die Hautklemmen u. s. w. fortfallen. Die Wirkung auf die Nadel giebt in recht günstigen Fällen der beim elektrischen Tetanisiren wenig nach. Schon bei den einzelnen Stößen von etwas längerer Dauer, die dem Ausbruch des eigentlichen Strychnintetanus vorhergehen und hier durch den Reiz der Kochsalzlösung an den Schwimmhäuten stets herbeigeführt werden, weicht die Nadel um mehrere Grade im negativen Sinne ab.

Schwieriger wahrzunehmen ist die secundäre Zuckung auf diesem Wege. Auch an enthäteten Muskeln erfolgt sie nur in günstigen Fällen, da, um ihr Erscheinen möglich zu machen, mannigfache Umstände zusammentreffen müssen, die oben Abth. I. S. 515 aufgezählt worden sind. Vollends bei Gegenwart der Haut gelingt es nur selten, aber

es gelingt doch bisweilen unzweideutig, secundäre Zuckung zu erhalten.

Auch durch Zerbohren des Rückenmarkes eines geköpften Frosches gelingt es, die negative Schwankung des Muskelstromes der noch mit der Haut bekleideten Beine in geringem Mafse nachzuweisen (Vergl. oben Abth. I. S. 53. 517).

Schliesslich giebt es, diese Versuche anzustellen, noch eine andere Art, bei der der Sattelbauch entbehrlich wird. Sie besteht darin, den Frosch mit beiden Füfsen rittlings in beide Zuleitungsgefäfsse tauchen zu lassen, und nur das eine Bein zu tetanisiren. Man erreicht dies dadurch, dafs man das Ischiadgeflecht auf der Seite, welche in Ruhe bleiben soll, bis in den Oberschenkel hinein ausrottet für den Fall, dafs man auf elektrischem Wege tetanisiren will, oder es einfach durchschneidet, wenn man mit Strychnin zu vergiften beabsichtigt. Ich bemerke, dafs dies, von unserem Standpunkt aus, noch immer Versuche am lebenden unversehrten Thiere sind. Denn die Zurichtung, die wir am Frosch vornehmen, hat mit der elektromotorischen Wirkung, die wir nachmals beobachten, unmittelbar nichts zu schaffen. Diese Wirkung würde, bei völlig unversehrtem Leibe, genau in gleicher Art stattfinden, wenn man ein Mittel besäfsse, ohne Verletzung des Nerven, mithin seiner Bedeckungen, das eine Bein zu lähmen, oder wenn man den Frosch dazu abrichten könnte, willkürlich das eine Bein tetanisch anzuspannen, während das andere schlaff bliebe.

Um den Frosch, in der zu diesem Versuch geeigneten Lage, unbeweglich zu machen, liefs ich ihn auf einem in passender Höhe wagenrecht aufgestellten hölzernen Stabe von 33^{mm} Durchmesser mit vorgebeugtem Rumpfe reiten, indem er zugleich mit den Vorderpfoten den Stab umarmte. Um jeden Oberarm war eine Schlinge gelegt, deren Ende unterhalb des Stabes mit dem Ende der Schlinge der anderen Seite zusammengebunden wurde. Um jede Fufswurzel waren zwei Schlingen gelegt, deren Enden um den Stab zusammengebunden wurden, so dafs jedes Bein einzeln in seiner Lage befestigt war. Dies ist deshalb nothwendig, weil das gelähmte Bein dem nicht gelähmten nicht den gehörigen Widerstand entgegensetzt, so dafs wenn man die Beine wie die Arme zusammenbinden wollte, die Beine ganz unsymmetrische Lagen annehmen würden. Endlich wurde das Becken durch einige Zirkeltouren einer schmalen Rollbinde fest gegen den Stab gedrückt. Die Zehen des gesunden Fufses wurden zusammengebunden.

War die Nadel zur Ruhe gekommen und ich tetanisirte, sei's auf elektrischem Wege, sei's durch Strychnin, so entstand sofort eine Ablenkung in dem absteigenden Sinne für das unversehrte Bein, dessen

Muskeln am Krampf theilnahmen, im aufsteigenden Sinne für das gelähmte Bein, dessen Muskeln beim Tetanus erschlafft blieben. Da, bei diesem Versuch, der Widerstand der Kette etwa viermal gröfser sein mußte als bei den erstbeschriebenen, so kann es nicht auffallen, dafs die Wirkung auch bedeutend schwächer ausfiel, so dafs ich mich wenigstens beim Strychninkrampf mit Vortheil des Multiplicators für den Nervenstrom bediente, um sie in gröfserem Mafsstabe wahrnehmbar zu machen.

§. IV.

Von dem elektromotorischen Verhalten des lebenden unversehrten Menschen.

1. Einleitung.

Zwar geschieht der Bedeutung der in diesem Werke beschriebenen Versuche kein Eintrag dadurch, dafs der bei weitem größte Theil davon allein am Frosch angestellt ist. Die Physiologen wissen wohl, dafs, mit wenigen Ausnahmen, unsere Erfahrungen in diesem Gebiete sich noch völlig diessseits der Grenze bewegen, innerhalb welcher die Organisation aller Wirbelthiere, mit Einschluß des Menschen, ja wahrscheinlich aller mit Nerven und Muskeln versehenen Thiere, also vielleicht aller Thiere überhaupt, gänzlich zusammenfällt. Auch haben wir nicht versäumt, wenigstens in Betreff der Grundthatsachen des Nerven- und Muskelstromes und des Gesetzes dieser Ströme, uns der Richtigkeit jenes Princip an verschiedenen Thieren, ja am Menschen selbst, zu vergewissern (S. oben Bd. I. S. 523. Bd. II. Abth. I. S. 261). Nachdem nunmehr die Gegenwart des Muskel- und Nervenstromes und ihrer Bewegungserscheinungen im lebenden ganz unversehrten Frosch von uns aufser Zweifel gesetzt ist, wird also wohl nicht leicht bei Jemand noch ein Bedenken darüber obwalten, ob diese Ströme und die gleichen Veränderungen derselben auch im lebenden unversehrten Menschen stattfinden.

Nichtsdestoweniger hat der Gedanke, wenigstens die eine oder die andere Erscheinung aus diesem Gebiete am eigenen Körper zu beobachten, etwas zu Lockendes, um nicht näher auf die sich jetzt dazu bietende Möglichkeit einzugehen. In der That es scheint, als ob man so gut als am Frosch auch am Menschen den Muskelstrom und seine negative Schwankung bei der Zusammenziehung während des unverletzten Lebens müfste sichtbar machen können. Zwar können sich verschiedene

Umstände diesem Vorhaben widersetzen. Es könnte z. B. die Anordnung der Muskeln an den menschlichen Gliedmaßen der Art sein, daß es auf keine Weise gelänge, von den Gliedmaßen im Großen und Ganzen einen namhaften Bruchtheil des Muskelstromes abzuleiten. Es könnte ferner dem Muskelstrom die Lederhaut eine so gute Nebenleitung, oder die Oberhaut einen so großen Widerstand darbieten, daß keine, an unseren jetzigen Stromprüfern bemerkbare Spur davon nach Außen zu gelangen vermöchte. Auch hier gilt übrigens, wie beim Frosch, die oben S. 180 gemachte Bemerkung, daß diese Hindernisse viel eher für den ruhenden Strom als für seine negative Schwankung bei der Zusammenziehung werden eintreten können, wegen der Schwächung des ersteren durch die parelektronomische Schicht, deren Gegenwart, in bedeutender Ausbildung, wir nach den Versuchen am Kaninchen und der Taube (S. oben S. 123) wohl berechtigt sind, auch beim Menschen vorauszusetzen.

Auf alle Fälle lohnt es sich, den Versuch zu machen. Die Untersuchung beginnt, wie natürlich, damit, daß wir uns zu befreunden suchen mit dem Kreise elektromotorischer Erscheinungen, zu denen das Anlegen der Multiplicatorenden an die Haut des lebenden menschlichen Körpers vielleicht schon allein Veranlassung giebt. So ist es in der That; und zwar werden wir dabei auf eine große Menge neuer, meist sehr fremdartiger und oft ganz unverständlicher Thatsachen geführt werden. Hinsichtlich des Verfahrens, welches wir dabei beobachten werden, wünsche ich Folgendes zu bevorworten.

Die hier zu beschreibenden Versuche, wenn sie auch äußerlich an Feinheit hinter vielen der früher beschriebenen zurückstehen, übertreffen an Mühseligkeit doch die Mehrzahl derselben. Nirgends in diesem ganzen Gebiet stößt man auf solche unerklärliche Launen des Versuchs. Die Feststellung der unbedeutendsten Thatsache erfordert oft ganz unverhältnißmäßige Anstrengungen. Und während sonst die einmal erfundenen Vorrichtungen für lange Versuchsreihen auszureichen pflegten, kommen wir jetzt in den Fall, daß fast ein jeder einzelne Versuch neue, wenn auch nicht verwickelte, doch oft sehr umständliche Anordnungen nöthig macht, wodurch diese Versuche zugleich die zeitraubendsten werden, die man sich denken kann.

Erwägt man nun, daß die elektromotorischen Erscheinungen der Haut mit dem eigentlichen Zweck unserer Bestrebungen im Grunde nichts zu schaffen haben; daß diese Erscheinungen großentheils, ja vielleicht sämtlich, gar nicht in's Gebiet der physiologischen Elektrizität, nach unserer oben Bd. I. S. 4 gegebenen Begriffsbestimmung, gehören; daß es uns folglich überall nur darauf ankommen kann, sie gut genug zu ken-

nen, um nicht durch sie in die Irre geführt zu werden: so wird man es wohl natürlich finden, wenn ich hier überall den kürzesten Weg zum Ziel verfolgt, und die Erscheinungen, die mir dabei aufgestoßen sind, immer nur so weit beachtet habe, als dies nothwendig war, um mich der Richtigkeit meines Weges versichert halten zu dürfen. Vollends wird man mir darin Recht geben, wenn man hinzunimmt, daß der ganze Vortheil, der aus unserer jetzigen Unternehmung erwächst, genau genommen auf die Befriedigung eines ganz unwissenschaftlichen Gelüstes hinausläuft. Denn mit dem Nachweis des Muskelstromes und seiner negativen Schwankung bei der Zusammenziehung am lebenden unversehrten menschlichen Körper, im Fall dieser Nachweis uns glücken sollte, würde doch eigentlich nichts gewonnen sein, als was sich für jeden Unbefangenen, der diesen Arbeiten gefolgt ist, bereits von selbst versteht.

Wir werden uns also im Folgenden oft auf die bloße Darlegung des Thatbestandes beschränken, ohne uns irgend weiter auf die Ermittlung des ursächlichen Zusammenhanges einzulassen. Höchstens daß wir dann und wann eine ganz nah liegende Hypothese zur Prüfung heranziehen. Eine Beschränkung wichtigerer Art, der die folgende Untersuchung unterliegt, und auf welche diese Rechtfertigung Bezug hat, besteht darin, daß bei weitem der größte Theil der Versuche nur an mir selber angestellt ist, während es wohl der Fall sein könnte, daß hier namhafte individuelle Unterschiede obwalteten. Ich habe aber eine solche Mühe gehabt, die darzulegenden Thatfachen auch nur an mir selber auszumitteln, und die Langwierigkeit und Umständlichkeit der Versuchsreihen ist so groß, daß ich mich gezwungen gesehen habe, die Feststellung der entsprechenden Verhältnisse an anderen Individuen denen zu überlassen, die sich dafür interessiren sollten. Für meinen Zweck war es hinreichend, die hier obwaltenden Verhältnisse an mir selber mit hinlänglicher Genauigkeit erforscht zu haben.

Ehe wir zur Untersuchung selber schreiten, wird es zweckdienlich sein, hier zunächst dasjenige voraufzuschicken, was durch frühere Bestrebungen anderer Forscher bereits bekannt geworden ist über eine der allgemeinsten physikalischen Bedingungen der jetzt anzustellenden Versuche, den Widerstand nämlich, den der menschliche Körper unter verschiedenen Umständen dem elektrischen Strome darbietet.

2. Von dem Leitungswiderstande des menschlichen Körpers.

Ueber die Leitung des Stromes durch den menschlichen Körper hat man früh ziemlich richtige Begriffe gehabt.

Man hatte bald erfahren, daß die pflanzlichen und thierischen Theile

nur leiten vermöge der in ihnen enthaltenen Feuchtigkeit; dafs sie, getrocknet, zu Nichtleitern werden,¹ wie es denn angeblich gelungen war, aus getrockneten Nerven eine Elektrisirmaschine zu verfertigen (S. oben Bd. I. S. 11. 12); dafs, im feuchten Zustande, ihre Leitungsgüte, gleich der der feuchten Leiter überhaupt, ausserordentlich nachsteht der der Metalle, woraus CAVENDISH die bis zu ihm mißdeutete Erscheinung erklärte, dafs der menschliche Körper, als Nebenschließung zu einem metallischen Leiter angebracht, der die KLEIST'sche Flasche entladet, keine Erschütterung erfährt (S. oben Bd. I. S. 563. 564).

Man wufste auch schon zu Ende des vorigen Jahrhunderts, dafs die thierischen Flüssigkeiten, mithin der von ihnen durchtränkte Körper, bessere Leiter sind, als das reine Wasser. Ueber diesen Punkt aber hatte man mehrere falsche Vorstellungen. RITTER sagt, thierische Masse und Flüssigkeit leiteten ausgemacht besser, als andere Flüssigkeiten, ja auch wohl als selbst Kochsalzlösung.² Ohne die Ursache davon etwa nur in der Verminderung des Widerstandes durch die erhöhte Temperatur zu suchen, nahm man an, dafs der lebende Körper besser leite, als der todt.³

Vielleicht auf Grund eines schlechten Versuches von HERBERT,⁴ den

¹ Ausdrücklich finde ich dies zuerst ausgesprochen von BERTHOLON in ROZIER, *Observations sur la Physique, sur l'Histoire naturelle et sur les Arts etc.* t. VIII. Paris 1776. 4^o. p. 211. 377.* — S. sodann seine Werke de l'Électricité des végétaux etc. Paris 1783. p. 113;* — De l'Électricité du corps humain dans l'état de santé et de maladie. Paris 1786. t. I. p. 178.* — Es folgen HERBERT, *Theoriae Phaenomenorum electricorum quae seu Electricitatis ex redundante Corpore in deficienti Trajectu, seu sola Atmosphaerae electricae Actione gignuntur.* Editio altera etc. Vindobonae 1778. p. 196;* — STEIGLEHNER in VAN SWINDEN, *Recueil de Mémoires sur l'Analogie de l'Électricité et du Magnétisme etc.* A la Haye 1784. t. II. p. 126;* — HEMMER, in *Historia et Commentationes Academiae electoralis Scientiarum et elegantiorum Litterarum Theodoro-Palatinae.* 1784. 4^o. Vol. V. physicum. p. 156;* — VOLTA, *Collezione dell' Opere ec.* Firenze 1816. t. II. p. I. p. 20. §. 12;* — Dessen Schriften über die thierische Electricität u. s. w. Aus dem Italiänischen übersetzt. Herausgegeben von MAYER. Prag 1793. S. 13.*

² Beiträge zur näheren Kenntniß des Galvanismus und der Resultate seiner Untersuchung. Jena. Bd. I. St. 3. 4. 1802. S. 269.*

³ Vergl. oben Abth. I. S. 215. S. z. B. VOLTA in seinem Brief an BANKS, *Collezione dell' Opere ec.* t. II. p. II. p. 112. 130.* — SAXTORPP's Darstellung der gesammten auf Erfahrung und Versuche gegründeten Electricitätslehre u. s. w. Aus dem Dänischen übersetzt von BOËTIUS FANGEL. Kopenhagen 1804. Bd. II. S. 136.* — Sogar noch HUMPHRY DAVY scheint etwas dergleichen im Sinne gehabt zu haben bei seiner Angabe in GILBERT's Annalen der Physik. 1801. Bd. VII. S. 116.*

⁴ *Theoriae Phaenomenorum electricorum etc.* Editio altera etc. Vindobonae 1778. p. 196.*

STEIGLEHNER¹ und HEMMER² mit gleichem Erfolg angestellt haben wollen, und ohne Berücksichtigung der entgegenstehenden Angaben von PRIESTLEY³ und MAUDUYT⁴ schrieb man den Nerven eine besondere Leitungsgüte zu,⁵ RITTER selbst eine gröfsere, als die irgend einer Flüssigkeit, deren man sich ohne Nachtheil Behufs der Zuleitung bei galvanischen Versuchen am lebenden Körper bedienen kann.⁶ Dasselbe findet sich von den Knochen angegeben,⁷ und diese schwerlich gerechtfertigte Meinung hat sich bis auf die neueste Zeit fortgepflanzt.⁸ Ja ich selbst mufs bekennen, im Anfang meiner Bestrebungen auf diesem Gebiete ihr auf Treu und Glauben gehuldigt, und eine Schlufsfolgerung darauf gebaut zu haben, die mir jetzt freilich noch einigermaßen der Grundlagen zu entbehren scheint.⁹

Während man so dem lebenden Körper dem todten gegenüber auf der einen Seite gern eine besondere Leitungskraft zusprach, glaubte man auf der anderen zu der Annahme berechtigt zu sein, dafs der Körper unter Umständen auch seine Leitungsfähigkeit einbüfsen und zum Nichtleiter werden könne, ohne dafs der Grund davon in einer gröfseren Trockenheit der Oberhaut gesucht werden dürfe.¹⁰

¹ VAN SWINDEN, Recueil de Mémoires sur l'Analogie de l'Électricité et du Magnétisme etc. A la Haye. 1784. t. II. p. 126.*

² Historia et Commentationes Academiae electoralis etc. Theodoro-Palatinae. 1784. 4^o. Vol. V. physicum. p. 156.*

³ The History and present State of Electricity etc. London 1767. 4^o. p. 656;* — Uebersetzt von KRÜNITZ. Berlin und Stralsund 1772. 4^o. S. 430. 431.*

⁴ Histoire de la Société Royale de Médecine etc. Année 1776. Paris 1779. 4^o. Mémoires etc. p. 522. 525.*

⁵ Vergl. SAXTORPH'S Darstellung der gesammten ... Elektrizitätslehre u. s. w. Bd. II. S. 109. 134. 136.*

⁶ Beiträge u. s. w. Bd. I. St. 3. 4. S. 263.*

⁷ SAXTORPH'S Darstellung der gesammten ... Elektrizitätslehre u. s. w. Bd. II. S. 135.* — Die entgegengesetzte Behauptung lese ich indessen bei VALLI in REINHOLD'S Geschichte des Galvanismus u. s. w. Leipzig 1803. S. 36* und in CAVALLO'S vollständiger Abhandlung der theoretischen und praktischen Lehre von der Elektrizität u. s. w. Aus dem Englischen u. s. w. Leipzig 1797. S. 263.* — Ueber die Leitung trockener Knochen s. v. HUMBOLDT in seinen Versuchen über die gereizte Muskel- und Nervenfasern. Posen und Berlin 1797. Bd. I. S. 433 ff.*

⁸ S. PICKFORD in HENLE und PFEUFFER'S Zeitschrift für rationelle Medicin. Bd. VI. 1847. S. 398;* — Bd. VII. 1849. S. 251.* — Vergl. auch VALENTIN'S Behauptungen oben Bd. I. S. 150.

⁹ Vorläufiger Abrifs u. s. w. in POGGENDORFF'S Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 29. §. 73.

¹⁰ VALLI in CAVALLO'S vollständiger Abhandlung ... der Elektrizität u. s. w. Bd. II. S. 262;* — v. HUMBOLDT, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfasern u. s. w. Bd. I. S. 158 ff.* — SAXTORPH, Darstellung der gesammten ... Elektri-

In der That, trotz dieser verschiedentlich irrigen Vorstellungen, sahen doch bereits VOLTA, v. HUMBOLDT und RITTER, vorzüglich der Letztere, völlig klar über die wichtige Rolle, welche die Oberhaut bei der Leitung durch den menschlichen Körper spielt. Die Einsicht, daß die Oberhaut der vornehmste Sitz des Widerstandes sei, den der Körper dem Stromesdurchgang entgegenstellt, führte VOLTA darauf, Zunge und Auge, wo jener Widerstand von Natur fehlt, mit ungleichartigen Metallen zu bewaffnen, um am lebenden unversehrten menschlichen Körper ihre Wirkung sichtbar zu machen (S. oben Bd. I. S. 53. 55), während, durch dieselbe Kenntniß geleitet, v. HUMBOLDT seine Versuche mit Blasenpflasterwunden unternahm, wo der Widerstand der Oberhaut also künstlich hinweggeschafft war (S. oben ebendas. S. 288 Anm.).¹ Nach RITTER ist die trockene Oberhaut fast ein vollkommener Nichtleiter. Je feiner und dünner sie sei, einen um so geringeren, je gröber und stärker, einen um so größeren Widerstand setze sie dem Strom entgegen. Mit dem Grade ihrer Durchfeuchtung, mit der Leitungsgüte der durchfeuchtenden Flüssigkeit sinke dieser Widerstand. Noch mehr sei dies der Fall, wenn durch Entfernung der Oberhaut in Wunden das feuchte Innere des Körpers entblößt werde.²

Es ist mir nicht bekannt, daß von hier ab, bis zu den gleich zu erwähnenden neueren Arbeiten, etwas Redewerthes über die Leitungsverhältnisse des menschlichen Körpers geschrieben worden sei. Nur daß bereits 1805 durch HEIDMANN³ und 1830 nochmals durch PERSON (S. oben Abth. I. S. 233 und vergl. ebendas. S. 236. 237. 245) der Wahn widerlegt wurde, als seien die Nerven durch ihr Leitvermögen ausgezeichnet vor anderen thierischen Theilen. Erst nachdem die OHM'sche Lehre den Begriff des Widerstandes genauer festgestellt und Mittel zur Widerstandsmessung an die Hand gegeben hatte, wendeten sich mehrere Forscher der Bestimmung dieser Constanten auch am menschlichen Körper zu, nämlich nacheinander EDUARD WEBER (1836), POUILLET (1837), und LENZ und PTSCHELNIKOFF (1842). (Die Citate s. oben Abth. I. S. 75 Anm.) Leider sind diese, sonst zum Theil höchst sorgfältig und einsichtig geführten Untersuchungen jedoch sämmtlich durch den Umstand entwerthet, daß die Polarisation der Elektroden dabei unberücksichtigt blieb.

citätslehre u. s. w. Bd. II. S. 136.* — Hieher gehört die bereits von SIGAUD DE LA FOND widerlegte Fabel daß Castraten nicht leiten. S. dessen Précis historique et expérimental des Phénomènes électriques etc. Paris 1781. p. 285.*

¹ Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Bd. I. S. 152 ff. 204. 319.*

² Beiträge u. s. w. a. a. O. S. 258. 259. 262.*

³ GILBERT's Annalen der Physik. 1805. Bd. XXI. S. 103. 105. 106.*

EDUARD WEBER, der im physikalischen Laboratorium zu Göttingen mit WILHELM WEBER seine Versuche anstellte, verfuhr einfach folgendermaßen. Durch Verschieben einer Drahtrolle zwischen bestimmten Grenzen über ein eigenthümlich angeordnetes System von Magnetstäben erregte er einen Inductionsstrom, dem also stets eine gleiche Summe elektromotorischer Kräfte zu Grunde lag. Die Stärke dieses Stromes bestimmte er durch Beobachtung des Ausschlages, den der Strom an dem POGGENDORFF-GAUSS'schen Magnetometer-Multiplikator hervorbrachte. Aus dem Ausschlag α bei metallisch geschlossenem Kreise, und dem α_1 bei Einschaltung des zu messenden Widerstandes w , wurde letzterer berechnet nach der Formel

$$w = \frac{\alpha}{\alpha_1} - 1,$$

den Widerstand des metallisch geschlossenen Kreises = 1 gesetzt. Zuerst bestimmt WEBER auf diese Weise die Leitungsfähigkeit des destillirten Wassers bei verschiedenen Temperaturen im Verhältniß zu dem des Kupfers. Dann theilt er die Längen einer Säule destillirten Wassers von einem Quadratmillimeter Querschnitt und 37°.7 C. Wärme mit, deren Widerstand dem des menschlichen Körpers unter verschiedenen Umständen gleich sein würde.

Ohne, wie es scheint, von WEBER's Arbeit Kenntniß zu haben, schlug LENZ fast genau den nämlichen Weg ein. Er überliefs PTSCHELNIKOFF die eben erst begonnene Arbeit zur Durchführung. Dagegen ist ihm, wie die Angabe der Methoden, so auch die Zusammenstellung und Darlegung der Ergebnisse zu verdanken. Der Inductionsstrom wurde diesmal erzeugt durch Umlegen des Ankers einer CLARKE'schen magneto-elektrischen Maschine aus der wagerechten in die senkrechte Lage oder umgekehrt. Die Stärke des Stromes wurde bestimmt durch Beobachtung des Ausschlages, den er an einem NOBILI'schen Multiplikator hervorbrachte, und der Widerstand des Körpers auf dieselbe Weise berechnet wie von WEBER, mit dem Unterschiede natürlich, daß an die Stelle der Ausschläge selber die Sinus der halben Ausschläge traten.¹

Es sind folglich die Zahlen, die aus beiden Untersuchungen hervorgingen, als zu hoch ausgefallen zu betrachten, und zwar am meisten die schon an und für sich höheren unter denselben, aus dem Grunde, daß die Stärke der Polarisation langsamer wächst als die Stromstärke, und sich zuletzt einem beständigen Grenzwert asymptotisch anschließt (S. oben Abth. I. S. 437). Auch der Einfluß der Temperaturerhöhung auf die Verminderung des Widerstandes des destillirten Wassers ist na-

¹ Vergl. LENZ in POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1835. Bd. XXXIV. S. 392.*

türlich von WEBER zu hoch angeschlagen worden, da mit wachsender Temperatur die Polarisation abnimmt.¹ WEBER's Zahlen, welche den Widerstand des Körpers in Längen destillirten Wassers angeben, werden sich übrigens, in Folge dieses Umstandes, der Wirklichkeit näher anschließen, als es der Fall sein würde, wenn sie jenen Widerstand in Kupferlängen darstellten. Nämlich sowohl Zähler als Nenner der Brüche, deren Werth diese Zahlen ausdrücken, werden durch die Berücksichtigung der Polarisation in gleichem Sinne, wenn auch nicht proportional, verändert, oder, mit anderen Worten, WEBER misst eine zu hoch veranschlagte Gröfse (den Widerstand des menschlichen Körpers) mit einem zu großen Maßstab (dem Widerstand des destillirten Wassers).

Auffallend ist, daß weder WEBER noch LENZ sich selber diese Einwürfe gemacht haben. Zwar ist die Polarisation durch Ströme von sehr kurzer Dauer erst etwas später als solche ausdrücklich nachgewiesen worden.² Allein Beide wußten, daß unter den Umständen ihrer Versuche der hypothetische Uebergangswiderstand sich einstelle. WEBER erwähnt seiner (S. unten), und LENZ hatte gerade erst kurz vorher auf seine Gegenwart in ähnlichen Versuchen den Schluß gegründet, daß, unabhängig von der Polarisation, die er bei Strömen von so kurzer Dauer ausgeschlossen glaubte, ein Widerstand des Ueberganges stattfinden müsse.³ Da übrigens der Kreis nach dem Durchgang des Stromes geschlossen blieb, so sollte man meinen, hätte schon allein die Beobachtung des Rückschwunges der Nadel auf die Gegenwart der Polarisation aufmerksam machen können. Denn dieser Rückschwung mußte den Ausschlag auf der positiven Seite der Theilung nothwendig auf der negativen an Gröfse übertreffen, sobald die Nadel durch den Strom der Ladungen mehr an Geschwindigkeit gewann, als sie daran verlor durch den Widerstand der Luft und die etwaigen Kräfte des Fadens.

Wie dem auch sei, da weder von WEBER noch von LENZ die Elektroden, die den Strom dem Körper zuführten, näher beschrieben sind, und da außerdem die Art dieser Zuleitung, so weit sie mit Bestimmtheit erhellt, nirgends, wenigstens nicht hinlänglich nahe, übereinkommt mit derjenigen, die wir selbst in der Folge anwenden werden: so wird man es gerechtfertigt finden, wenn ich in Betreff der von WEBER und LENZ erhaltenen Zahlenergebnisse auf die Abhandlungen

¹ S. oben Bd. I. S. 239. Bd. II. Abth. I. S. 83. — Vergl. BEETZ im Repertorium der Physik u. s. w. Bd. VIII. Berlin 1849. S. 194. 245.*

² S. oben Bd. I. S. 238. — Vergl. noch VORSELMAN DE HEER in POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1841. Bd. LIII. S. 34.*

³ POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1838. Bd. XLIV. S. 349;* — 1839. Bd. XLVII. S. 586.*

selber verweise. Statt aller nur dem Anschein nach genaueren Angaben stehe hier die Bemerkung, daß der Widerstand des menschlichen Körpers, gemessen zwischen Stellen, die mit unversehrter Oberhaut bekleidet sind, wohl unter allen Umständen dem von mehreren Meilen eines Kupferdrahtes von 1^{mm} Dicke gleichkommt. Auch werden wir uns demgemäß genöthigt sehen, bei den folgenden Untersuchungen fast ohne Ausnahme den Multiplicator für den Nervenstrom anzuwenden, dessen Gebrauch also fortan stets vorauszusetzen ist, wo sich nicht ausdrücklich das Gegentheil gesagt findet.

Ist aber auch dergestalt der Werth der von WEBER und von LENZ und PTSCHELNIKOFF gegebenen absoluten Widerstandsbestimmungen in Frage gestellt, so haben diese Untersuchungen doch eine große Anzahl von Verhältnissen aufgedeckt oder von Neuem bestätigt, welche durch die Vernachlässigung der Polarisation nicht berührt werden konnten. Gerade die Kenntniß dieser Verhältnisse aber ist es, auf die es uns hier vor Allem ankommt, und weil die in Rede stehenden Untersuchungen in dieser Beziehung genügend erscheinen, habe ich es nicht für unumgänglich nöthig gehalten, mich selbst damit zu beschäftigen, tadelfreie Messungen des Widerstandes des menschlichen Körpers zu gewinnen. Zur Auseinandersetzung jener Verhältnisse aber schreite ich jetzt.

EDUARD WEBER besteht zunächst auf den Umstand, daß der menschliche Körper nicht besser leitet, als es sich von einer warmen und etwas Salz aufgelöst enthaltenden, gleich großen und gleich geformten Wassermasse erwarten läßt, nämlich etwa zehn- bis zwanzigmal besser, als wenn er aus destillirtem Wasser bestände. Hieraus zieht WEBER die bereits oben Abth. I. S. 235 erwähnten Schlüsse gegen die Ansicht, daß die Nerven gute Leiter der Elektrizität seien, wie es, seiner Meinung nach, ohne Zweifel der Fall sein würde, wenn sie von der Natur auserkoren wären, um elektrische Ströme zu leiten.

WEBER macht sodann, offenbar ohne Kenntniß der RITTER'schen Angaben (S. oben S. 191), auf die äußerst geringe Leitungsfähigkeit der Oberhaut aufmerksam, welche um so kleiner sei, je trockener die Oberhaut. Er sagt: »Tenuis enim epidermis humida atque frigida majorem resistantiam opponit, quam reliquum corpus humanum a manu dextra ad manum sinistram; eadem autem epidermis sicca quinquagies certe majorem opponit resistantiam. Propter maximam resistantiam, quam cuticula propagationi ictus galvanici opponit, fit, ut flumen galvanicum, si conductores cum epidermide in contactum venerint, non in ipsa seu circa corporis superficiem propagetur, sed epidermidem penetret et per internum corpus ad alterum locum epidermidis ducatur.»

Dies freilich würde auch dann der Fall sein, wenn die Oberhaut besser leitete; stets müßte sich der Strom über den ganzen Querschnitt des ihn führenden Gliedmaßes verbreiten, nach Maßgabe der Leitungsfähigkeit der verschiedenen Punkte dieses Querschnittes (Vergl. oben Bd. I. S. 151). »Quam ob rem cuticula propagationem galvanismi eo magis impedit, quo crassior est. Quam quidem virtutem galvanismum propagandi partibus corporis humidis sanguinem continentibus propriam tantum iis in locis, quibus cuticula emplastro vesicatorio remota et ablata est, aut quibus, ut in lingua, tenuissima et maxime madida est, strictius investigabis. Sed aliis etiam locis vim, qua cuticula propagationi resistit, imminuimus, si partes corporis diu aquae immergimus, ita ut aqua substantiam cuticulæ penetret. Non silentio denique præmittendum est, galvanismum e conductore cupreo facilius per cuticulam in cutem penetrare, si cuprum cuticulam tangens calidius est. Impedimentum propagationis igitur, quod in cuticula est, calore immittitur.« (L. c. p. 14.°) Gegen den letzten Satz ist jedoch wieder einzuwenden, daß diese Verminderung des Widerstandes beim Erwärmen der Kupfer-Elektroden auch abgeleitet werden kann, ja sogar bis auf Weiteres einfach abgeleitet werden muß von der durch die Wärme verminderten Polarisirung der Elektroden. Auch sagt dies WEBER selbst p. 18°, nur daß er statt der Polarisirung, den hypothetischen Uebergangswiderstand durch die Wärme vermindern läßt. Wir werden übrigens demnächst selber Gelegenheit haben, auf diesen Punkt zurückzukommen.

An diese WEBER'schen Angaben schlossen sich folgende von LENZ und PTSCHELNIKOFF. Wegen der geringen Leitungsfähigkeit der Oberhaut ist der Widerstand des Körpers von Hand zu Hand der Zahl der eingetauchten Finger, also der benetzten Hautoberfläche, fast umgekehrt proportional. Beim Eintauchen des übrigen Theils der Hand nimmt aber der Widerstand in geringerem Maße ab, als die benetzte Oberfläche. »Dies scheint darauf hinzudeuten«, sagt LENZ, »daß die Leitungsfähigkeit des Körpers proportional den Nervenenden ist, in welche der Strom unmittelbar aus der Flüssigkeit eintreten kann; da der übrige Theil der Hand dieser Enden weniger hat als die Finger, so wird eine Vergrößerung der eingetauchten Fläche dort weniger betragen als hier.« Es ist jedoch nicht einzusehen, was die Leitungsfähigkeit mit der Zahl der Nervenendigungen zu schaffen haben solle. Denkbar wäre schon eher, daß sie in einem geraden Verhältniß stände zur Zahl der Schweisscanälchen, welche die Oberhaut durchbohren. Es bedarf aber auch dieser Erklärung nicht einmal, sondern jene Beobachtung beruht vielleicht ein-

fach darauf, dafs, je gröfser bereits die benetzte Hautstelle ist, einen um so geringeren Bruchtheil des Gesamtwiderstandes macht ihr Widerstand aus, und um so weniger folglich kann durch weitere Ausdehnung der Benetzung der Gesamtwiderstand vermindert werden.

Von der Länge der zuleitenden Flüssigkeitssäule zeigte sich der Widerstand des Kreises innerhalb gewisser Grenzen fast unabhängig. Der Widerstand dieser Säule verschwand also gegen den des Körpers. Dagegen nahm der Widerstand des Körpers sehr schnell ab mit dem eigenthümlichen Widerstande der Zuleitungsflüssigkeit. Bei Newawasser, demselben Wasser nach Zusatz von 1 Volum-Procent englischer Schwefelsäure, endlich nach Zusatz von 4 Procent, verhielten sich, unter sonst gleichen Umständen, die Widerstände des menschlichen Körpers wie die Zahlen 16.53, 6.06, 4.37. Dies ist nicht anders zu verstehen, als so, dafs die mit verdünnter Säure durchfeuchtete Oberhaut einen geringeren Widerstand besitze als die mit dem Stromwasser getränkte, und es folgt daraus abermals, dafs der gröfste Theil des Widerstandes des Körpers seinen Sitz in der Oberhaut habe.

Bei ausgedehnter Benetzung der Oberhaut kann ihr Widerstand, wie schon bemerkt, keinen so grofsen Bruchtheil des Gesamtwiderstandes des Körpers ausmachen wie bei eingeschränkter Benetzung. Der Einflufs der Leitungsgüte der Zuleitungsflüssigkeit auf den Gesamtwiderstand mufs deshalb kleiner sein bei ausgedehnter, gröfser bei eingeschränkter Benetzung der Oberhaut. In der That scheint sich dies, wie ich finde, in LENZ's zweiter Tabelle zu bestätigen. Das Verhältnifs der Leitungswiderstände beim Eintauchen in einprocentige und in vierprocentige Säure war nämlich für einen Finger 1.49; für vier Finger 1.46; für die ganze Hand nur 1.39.

Vollends zeigt sich die Oberhaut als vornehmster Sitz des Widerstandes in einem Versuche von LENZ und PTSCHELNIKOFF, wo eine kleine blutige Schramme an der einen Hand den Widerstand des Körpers von Hand zu Hand von 6.06 auf 4.81 herunterbrachte.

Der kleinste von WEBER beobachtete Widerstand fand statt, als beide Füfse in ein, und beide Hände in ein anderes Gefäfs mit Wasser getaucht und dem Boden der Gefäfse angedrückt wurden. Dabei erhellt indefs nicht, ob die Gefäfse metallisch waren und also zugleich als Elektroden dienten, was aus anderen, in derselben Abhandlung enthaltenen Versuchen wahrscheinlich wird, von denen bereits oben Bd. I. S. 488. Anm. 2 die Rede war. Der Widerstand von einem Fufs zu einer Hand scheint dem Widerstand von Hand zu Hand ungefähr gleich zu sein. Daraus läfst sich folgern, dafs der Widerstand eines Beines ungefähr

dem eines Armes gleichkommt, was in der Ordnung erscheint, da das Bein im Vergleich zum Arme etwa um so viel dicker, als länger, ist. WEBER's Versuch, in welchem er den Strom von Fufs zu Fufs durch den Körper gehen liefs, ist nämlich leider nicht vergleichbar mit denjenigen seiner Versuche, in welchen der Strom von Hand zu Hand ging, weil in dem ersteren Versuch die Temperatur des zuleitenden Wassers höher war, und mit der Temperaturerhöhung dieses Wassers der Widerstand beträchtlich abnimmt, wie die Tabelle zeigt. Der Widerstand vom linken Fufs zur rechten Hand war kleiner als der von demselben Fufs zur linken Hand. Die Zunge von ihrem einen zu ihrem anderen seitlichen Rande zwischen Silberplatten bot merkwürdigerweise keinen viel kleineren Widerstand dar als der ganze Körper von Hand zu Hand. Ausnehmend viel gröfser aber fielen nun die Widerstände aus, die WEBER beobachtete, als die trockenen Hände in Quecksilber getaucht, oder an Kupferplatten angedrückt wurden. Sie zeigten sich geringer, wenn die Metalle warm, gröfser, wenn sie kalt waren (Vergl. oben S. 195).

In LENZ und PTSCHELNIKOFF's Versuchen findet sich der Schluss, dafs Arme und Beine ziemlich gleichen Widerstand besitzen, insofern bestätigt, als sich für alle sechs möglichen Combinationen zwischen den vier Extremitäten der Widerstand fast beständig herausstellte. Doch zeigte sich an beiden Personen, an denen die Prüfung vorgenommen wurde, der Widerstand zwischen rechter Hand und linkem Fufs etwas gröfser als der zwischen linker Hand und rechtem Fufs. Um zu untersuchen, ob die Ursache in der Hand zu suchen sei, wurde die Brust mit einer befeuchteten kreisförmigen Kupferplatte von 2" Durchmesser armirt, und dann der Strom von hier entweder zur rechten oder linken Hand, die dabei ganz eingetaucht wurden, hindurchgelassen. Der Widerstand der rechten Seite ergab sich als der gröfsere. Wegen der derberen Oberhaut der mehr gebrauchten rechten Hand erscheint dies im Grunde in der Ordnung. Da indessen in WEBER's Versuchen der Widerstand der linken Hand der gröfsere war, so kann hier vielleicht noch eine Täuschung obwalten. Uebrigens fiel der Widerstand von der Brustplatte nach der Hand beträchtlich gröfser aus, als bei allen sechs Combinationen zwischen Händen und Füfsen. Beim Anfassen von messingenen Handhaben mit befeuchteten Händen war der Widerstand so grofs als zwischen Brustplatte und Hand. Noch gröfser war er, wenn vier Finger jeder Hand in trockenes Quecksilber getaucht wurden, aber doch nur ungefähr zweimal so grofs, als wenn beide Hände, oder Hand und Fufs, in angesäuertes Wasser tauchten. In WEBER's Versuchen dagegen war der Widerstand beim Eintauchen der ganzen Hände in Quecksilber zehnmal gröfser als beim Eintauchen in Wasser von mittlerer Temperatur.

Dies ist eine Abweichung, welche die hier zu erreichende Genauigkeit eben in keinem sehr günstigen Licht erscheinen läßt.

Hierher gehört endlich auch der Versuch von **POUILLET**. Dieser hat nämlich nur einmal mittelst seiner Sinusbussole den Widerstand gemessen, den der menschliche Körper von Hand zu Hand einem beständigen Strome darbietet, wenn die (es wird nicht gesagt, mit welcher Flüssigkeit, also wahrscheinlich mit Wasser) benetzten Hände, oder zwei Finger derselben Hand bis zur Hälfte oder zum Drittel des ersten Fingergliedes in Quecksilber tauchten. Die Polarisation wurde nicht berücksichtigt. Der Widerstand wird im ersten Falle siebenmal kleiner angegeben als im zweiten, und zweimal kleiner als ihn **LENZ** und **PTSCHELNIKOFF** fanden, wenn die ganzen Hände in angesäuertes Wasser tauchten. Dies ist wieder sehr auffallend, da **POUILLET** doch, wie gesagt, die Hände schwerlich mit etwas anderem als reinem Wasser benetzt hatte und zudem in seinen Versuchen die Polarisation unstreitig eine viel größere Höhe erreichen konnte, als in denen der Petersburger Physiker.

EDUARD WEBER bezeichnet das Individuum, an dem die Versuche angestellt wurden, nicht näher; auch scheint es jedenfalls nur Eins gewesen zu sein. **LENZ** und **PTSCHELNIKOFF** haben sich dagegen auch noch bemüht, die Unterschiede zu ermitteln, die sich zwischen den Widerständen mehrerer Personen von verschiedenem Alter, Geschlecht und Beschäftigung darbieten möchten. Diese Personen waren ein Knabe von 7, ein Jüngling von 17, ein Mädchen von 19, und drei Männer von 29, 35 und 43 Jahren, letzterer der körperlich arbeitenden Klasse angehörig. Es ergab sich merkwürdigerweise, daß die Leitungswiderstände der drei jüngeren Personen bedeutend größer waren als die der drei älteren. Der Unterschied war kleiner, wenn die ganze Hand eingetaucht wurde, als wenn die Zuleitung nur durch einen oder mehrere Finger geschah; der Widerstand des jungen Frauenzimmers war alsdann nicht viel größer als der der erwachsenen Männer. Dies scheint, meiner Meinung nach, zu zeigen, daß der größere Widerstand der jüngeren Individuen bedingt wurde durch den muthmaßlich geringeren Querschnitt ihrer Finger, was insofern ganz denkbar ist, als beim Durchgang des Stromes von Finger zu Finger, nächst der Oberhaut, doch gewiß die Finger es sind, die den größten Widerstand darbieten.

Auch die Frage haben **LENZ** und **PTSCHELNIKOFF** zu beantworten gesucht, ob die verschiedene Heftigkeit, mit der verschiedene Personen einen Schlag empfinden, von den verschiedenen Graden der Schwächung herrühre, welchen sie, vermöge ihres Widerstandes, auf den Strom ausüben. Es ergab sich aber gar keine Beziehung der Art aus dem Vergleich der Reihenfolge der Personen nach ihrem Widerstande und

der Reihenfolge nach der Heftigkeit, womit sie den Schlag empfanden.

Endlich ist Folgendes zu erwähnen. WEBER hat den Widerstand des Körpers größer gefunden, wenn er die Drahtrolle (S. oben S. 192) langsam verschob, als wenn er sie schnell bewegte. Dies erklärt sich daraus, daß die Stärke der Polarisation in einem gegebenen Kreise einen um so kleineren Bruchtheil der elektromotorischen Kraft des Stromes ausmacht, je größer diese ist, und daß sie außerdem einiger Zeit bedarf, um sich vollständig zu entwickeln. Der von PTSCHELNIKOFF beobachtete Umstand hingegen, daß bei einem und demselben Individuum die Erschütterung heftiger war, wenn der Anker aus der senkrechten in die wagerechte Lage gedreht wurde, und schwächer, wenn die Drehung in umgekehrter Ordnung geschah, gehört wohl in das Gebiet des allgemeinen Gesetzes der Nervenerregung durch den Strom (S. oben Bd. I. S. 258 ff.), in das ihn auch LENZ zu verweisen scheint; insofern nämlich in beiden Fällen nur die Curve eine verschiedene ist, in der die Abgleichung einer und derselben Elektrizitätsmenge in der Zeit vor sich geht.

3. Von Thermoströmen am menschlichen Körper.

(1) Von der Möglichkeit, Thermoströme durch den menschlichen Körper hindurch wahrzunehmen und von Thermoströmen feuchter Leiter überhaupt.

In den Versuchen am Frosch, auf die wir uns bisher fast allein beschränkt haben, und den wenigen Versuchen an warmblütigen Thieren, die uns zur Ergänzung jener nothwendig erschienen sind, war die Bedingung gleicher Temperatur der beiden Ableitungsstellen der Ströme der Natur der Dinge nach stets von selber erfüllt, und es konnte uns deshalb gleichgültig sein, ob ungleiche Temperatur dieser Stellen elektromotorisch wirke oder nicht. In den Versuchen hingegen, die uns jetzt am lebenden Menschen bevorstehen, wird nicht selten der Zweifel erhoben werden können, ob die Bedingung gleicher Temperatur der beiden Ableitungsstellen in der That erfüllt sei. Es wird daher gerathen sein, erst noch die Untersuchung anzustellen, ob dieser Umstand überhaupt Berücksichtigung verdiene, oder mit anderen Worten, ob durch verschiedene Temperatur ein elektromotorischer Unterschied zweier sonst gleichartiger Hautstellen bewirkt werde.

Von vorn herein erscheint dies wenig wahrscheinlich. Es ist bisher mit Sicherheit kein Fall bekannt, in dem ein Strom entstände durch Temperaturunterschied feuchter Leiter. Von den Thermoströmen der

Metalle steht sodann fest, dass ihnen eine so winzige elektromotorische Kraft zu Grunde liegt,¹ dass sie in Kreisen von nur einigermassen beträchtlichem Widerstande ganz verschwindend werden. Um wie viel weniger also, sollte man meinen, sind von Thermostromen feuchter Leiter irgend erhebliche Wirkungen in so widerstehenden Kreisen, wie den unsrigen, zu erwarten, da dergleichen Ströme ja auch sonst noch gar nicht zur Wahrnehmung gelangt sind.

Diese Vorstellungen sind indess trüglich. Was erstens die Möglichkeit betrifft, Thermostrome der Metalle in einem Kreise wahrzunehmen, in dem sich der Multiplicator für den Nervenstrom mit seinen 24160 Windungen des feinsten Kupferdrahtes und seinen Zuleitungsgefäßen, und außerdem der menschliche Körper befinden, so ist diese Möglichkeit, wie ich jetzt zu meiner Verwunderung gefunden habe (S. oben Bd. I. S. 488), in der That vorhanden.

Es ist schon oben Abth. I. S. 492 erwähnt worden, dass die Nadel jenes Multiplicators mit Leichtigkeit den Strom anzeigt, den die Wärme der Finger in einem den Multiplicator metallisch schließenden thermoelektrischen Bügel aus Kupfer und Eisen erregt. Vollends die Erwärmung der einen Löthstelle mit der Weingeistflamme brachte sehr beträchtliche Ablenkungen hervor. Ich bemerke jetzt, dass die Wirkung beim Erwärmen mit den Fingern, vollends die beim Erwärmen mit der Flamme, selbst dann noch sichtbar bleibt, wenn man in den Kreis des Multiplicators und der Thermokette die Zuleitungsgefäße mit ihrem Schließungsrohr einschaltet.

Die Thermostrome erscheinen unter diesen Umständen nicht mehr beständig bei beständigem Temperaturunterschied der Löthstellen. Sondern die beständige Wirkung der Thermokette wird, gleich der einer beständigen Hydrokette, durch die Ladung der metallischen Multiplicatorenden sehr beeinträchtigt. Lässt man aber eine Löthstelle, nachdem sie eine Zeitlang glühend erhalten wurde, erkalten, so beobachtet man einen Rückschwung der Nadel von unverhältnismässiger Gröfse im Vergleich zu der vorigen beständigen Ablenkung. Der Rückschwung muss allerdings gröfser sein, als wenn man z. B. die Kette einfach geöffnet hätte, weil die Kraft der Kupfereisenkette bei geringen Temperaturunterschieden die umgekehrte Richtung hat von der bei gröfseren.² Allein hier kommt zu dieser Ursache, um den Rückschwung der Nadel zu vergröfsern, noch der Umstand hinzu, dass die durch den Strom beim Glühen der einen Löthstelle entwickelten Ladungen beim Erkalten in

¹ S. KOHLRAUSCH in POGGENDORFF'S Annalen u. s. w. 1851. Bd. LXXXII. S. 411.*

² S. oben Abth. I. S. 492 und vergl. HANKEL in POGGENDORFF'S Annalen u. s. w. 1844. Bd. LXII. S. 479.*

Freiheit gesetzt werden und sich mit der Erdkraft und dem sich umkehrenden Thermostrom zu Einer Wirkung auf die Nadel verbinden.

Ich vermuthe beiläufig, dafs dies das erste Mal ist, dafs Polarisation der Elektroden durch den Strom einer einfachen Thermokette beobachtet worden ist. Da die Polarisation aber das untrügliche Wahrzeichen voraufgegangener Wasserzersetzung ist, so verdient dieser Umstand, als Beweis der Elektrolyse durch ein einziges thermoëlektrisches Element, allerdings einige Aufmerksamkeit.

Wird, an Stelle des Schließungsrohres, der menschliche Körper zwischen die Zuleitungsgefäße gebracht, indem man in jedes derselben einen Zeigefinger taucht, so kann man die Wirkung durch Erwärmen der einen Löthstelle mit den Fingern nicht mehr wahrnehmen. Hingegen mit Hülfe der Weingeistflamme erhält man noch sehr beträchtliche Ausschläge der Nadel, welche aber natürlich diejenigen an Gröfse nicht erreichen, die man wahrnimmt bei rein metallischer Schließung des Kreises, oder bei Einschaltung des Schließungsrohres statt des menschlichen Körpers.

Was zweitens die Erzeugung von Thermostromen durch ungleich warme feuchte Leiter betrifft, so giebt es doch bereits einen Versuch von NOBILI, der die Möglichkeit davon zu beweisen scheint. NOBILI tauchte die Platinenden seines Multiplicators mit Doppelnadel in zwei Gefäße mit Kochsalz- oder Salpeterlösung, und schlofs zwischen den Gefäßen mit zwei Stäben aus feuchtem Thon von 2—3 Zoll Länge und 3—4 Linien Dicke, deren einer in eine Spitze auslief. Die Spitze erhitze er, so dafs der Thon erhärtete und er sie tief in die knetbare Masse des anderen Stabes eindrücken konnte. Während dieses Eindrückens und so lange der Temperaturunterschied anhielt, beobachtete NOBILI eine elektromotorische Wirkung in der Richtung vom heißen Theil zum kalten in dem Thon. Sogar mit Hülfe des Frosches konnte NOBILI diesen Strom nachweisen, indem er sich des oben Bd. I. S. 105. 106 angegebenen Kunstgriffes bediente. Dabei wurden die Thonstäbe mit ihrem gleich warmen Ende dem Nerven angelegt. Der Versuch gelang mit jeder Art von Thon, nicht aber mit Kalk, Baryterde oder Gyps.¹

Ich habe diesen Versuch NOBILI's mit Modellirthon von der hiesigen Königlichen Porzellanmanufaktur wiederholt, und genau den von NOBILI angegebenen Erfolg beobachtet. Erhitze ich die Spitze des einen Sta-

¹ Memorie ed Osservazioni edite ed inedite ec. Firenze 1834. vol. I. p. 80. 81. 87. 101.* — NOBILI's erste Anzeige findet sich auch in POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1828. Bd. XIV. S. 174.* Die Parallelstellen hiezu s. oben Bd. I. S. 106. Anm. 1.

bes, so daß sie eben zu dampfen anfang, so entstand beim Eindrücken der Spitze in das Ende des anderen Stabes ein Ausschlag von 90° am Multiplicator für den Nervenstrom. Erhitzte ich aber die Spitze stärker, so daß sie weiß und rissig wurde, so wurde die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom an die Hemmung geschleudert, die des Multiplicators für den Muskelstrom ging auf $30-40^\circ$. Stets war der Strom, wie NOBILI es angiebt, im Thon vom heißen zum kalten Theil gerichtet, und spurlos verschwunden, sobald die Temperaturen sich ausgeglichen hatten. Es ist bei diesem Versuch ganz unwesentlich, daß man dem Ende des einen Stabes die Gestalt einer Spitze gebe und diese Spitze in die Masse des anderen Stabes eindrücke. Dies Verfahren dient nur dazu, das Erhitzen des einen Stabes zu erleichtern, und die Berührung der beiden Stäbe unter sich inniger zu machen. Der Versuch glückt aber nicht minder, wenn man auch bloß die beiden gleichmäßig abgerundeten, ungleich warmen Enden der Stäbe aneinanderdrückt.

Es scheint demnach hier wirklich ein Thermostrom durch ungleich warme feuchte Leiter zu entstehen. Mit einer weiteren Zergliederung dieser Erscheinung, welche noch viel Dunkles hat, wollen wir uns nicht befassen. Es wäre aber wohl zu wünschen, daß dieselbe einmal die Aufmerksamkeit eines Physikers nachhaltig auf sich zöge, damit man wenigstens erführe, wie sie sich beim Anrühren des Thones mit verschiedenen Flüssigkeiten, zwischen ausgedehnteren Grenzen der Temperatur verhält u. d. m. Mit einer anderen feuchten knetbaren Masse, nämlich der Krume eines nicht völlig gaaren Roggenbrodes, habe ich mich vergeblich bemüht, den NOBILI'schen Versuch zu wiederholen, obschon die Krume offenbar ebenso gut oder ebenso schlecht leitete als der Thon.

Für uns ist hier vorzugsweise nur noch das zu bemerken, daß die elektromotorische Kraft der NOBILI'schen Thon-Thermokette, trotz dem so sehr viel kleineren Temperaturunterschiede, die Kraft der Kupfereisenkette beim Erglühen der einen und bei mittlerer Temperatur der anderen Löthstelle ohne Frage außerordentlich übertrifft. Wenn ich die Kupfereisenkette im Kreise des Multiplicators für den Nervenstrom mit seinen Zuleitungsgefäßen habe, das Schließungsrohr entferne, die eine Löthstelle glühend mache, und das Schließungsrohr wieder anbringe, erhalte ich einen Ausschlag von nur 18° . Hingegen die NOBILI'sche Thon-Thermokette wirft erwähntermassen die Nadel an die Hemmung. Nichtsdestoweniger ist in diesem Falle der Widerstand des Kreises um den Unterschied des Widerstandes der Thonstäbe und des Schließungsrohres größer, der gewiß ein ungeheurer ist. Daraus folgt mit Bestimmtheit die angedeutete große Ueberlegenheit der feuchten Thermokette an elektromotorischer Kraft über die metallische. Es kann demnach auch kein Zweifel

sein, daß die feuchte Thermokette durch den menschlichen Körper hindurch kräftig die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom ablenken würde.

(n) Von dem elektromotorischen Verhalten zweier symmetrischen, unversehrten, gleichzeitig benetzten, und gleich warmen Hautstellen gegen einander.

Wir wollen nun zusehen, wie sich zwei ungleich erwärmte Stellen der Körperoberfläche elektromotorisch gegen einander verhalten. Natürlich wählen wir diese Stellen so, daß wir von vorn herein annehmen dürfen, sie seien bei gleicher Temperatur gleichartig. Von symmetrischen Punkten der beiden Körperhälften scheint dies wohl vorausgesetzt werden zu können, da die Haut an solchen Stellen gleiche Beschaffenheit hat und die etwa vorhandenen Muskelströme sich auf beiden Seiten das Gleichgewicht halten. Nichtsdestoweniger müssen wir zuvörderst das elektromotorische Verhalten solcher Hautstellen erforschen.

Am bequemsten gelegen sind offenbar für unseren Zweck die Finger. Taucht man zwei unversehrte Finger gleichzeitig¹ in die mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllten Zuleitungsgefäße des Multiplicators für den Nervenstrom, so geschieht Folgendes. Es kommt allerdings vor, daß die Nadel auf Null bleibt, wie wir es erwartet haben. Jedoch ist dieser Fall bei weitem der seltene. Meist entsteht ein größerer oder geringerer Ausschlag in der einen oder in der anderen Richtung. In einigen gleichfalls selteneren Fällen sieht man diesen Ausschlag spurlos verschwinden, ohne daß Ladungen hinterbleiben. Die elektromotorische Kraft, die ihn erzeugt hatte, ist also im Lauf des Versuches allmählig zu Grunde gegangen. In noch anderen Fällen, die aber glücklicherweise auch nicht häufig sind, hinterbleibt eine beträchtliche beständige Ablenkung. Endlich in der Mehrzahl der Fälle kommt zwar die Nadel so gut wie auf Null zurück. Schließt man aber, statt mit den Fingern, oder neben denselben, durch das Schließungsrohr zwischen den Gefäßen, so werden Ladungen frei, welche anzeigen, daß ein schwacher beständiger Strom da war. Natürlich übertrifft der Strom der Ladungen an Stärke sehr den ursprünglichen Strom, der die Ladungen hervorgerufen hat, weil nämlich der Widerstand des Schließungsrohres im Vergleich zu dem des Körpers verschwindet (S. oben Bd. I. S. 240. 241). Nicht immer hat der zuletzt vorhandene beständige Strom die Richtung des ersten Ausschlages. Manchmal hat sich die elektromotorische Kraft ganz allmählig umgekehrt.

Dem Ausschlag beim ersten Eintauchen der Finger merkt man leicht

¹ Man wird später erfahren, worauf sich die Vorschrift bezieht, daß die Finger sollen unverletzt sein, und gleichzeitig eingetaucht werden. S. unten, No. 4 und No. 6.

an, ob die Oberhaut trocken und derb, oder feucht und zart ist. Im ersten Fall entfernt sich die Nadel langsam vom Nullpunkt in dem Maf, wie die Oberhaut durchfeuchtet wird; zu Zeiten so langsam, dafs sie sich ohne Schwingungen in die beständige Ablenkung begiebt. Hat man sich aber erst eben die Finger gewaschen, namentlich mit Seife, und sie dann abgetrocknet, so dafs die Oberhaut durchfeuchtet ist, oder ist sie dies von Natur in einem höheren Grade als gewöhnlich, so zeigt die Lebhaftigkeit des Ausschlages das rasche Hereinbrechen eines Stromes in voller Gröfse an. Bei dem von Natur gut leitenden Zustande der Oberhaut kommt es denn auch vor, dafs eine grofse beständige Ablenkung der Nadel hinterbleibt, und oft jede andere Beobachtung vereitelt. Was noch schlimmer ist, manchmal ist die Ablenkung nicht beständig, sondern die Nadel bleibt in einer fortwährenden Unruhe, die Ablenkung ist bald grofs, bald klein, ja sie verändert ihr Zeichen u. s. f. Dieser Zustand der Dinge tritt, wie es scheint, in Folge sehr langen Eintauchens der Finger manchmal auch dann ein, wenn anfangs eine ganz befriedigende Gleichartigkeit stattgefunden hatte.

So weit fafst diese Beschreibung, die übrigens, wie man sieht, so ziemlich alle mögliche Fälle umfafst, auf das elektromotorische Verhalten zweier beliebigen Finger einer oder beider Hände gegen einander. Das Verhalten meiner Zeigefinger habe ich aber noch genauer kennen gelernt, indem ich sie, bei Gelegenheit später zu beschreibender Versuche, im Laufe mehrerer Jahre und unter den verschiedensten Bedingungen unzählige Male in die durch den Multiplicator geschlossenen Zuleitungsgefäfsse getaucht und mehr oder weniger lange darin gehalten habe. Es hat sich ergeben, dafs die beständige Ablenkung, welche stets dabei hinterbleibt, zu bestimmten Zeiten eine ganz bestimmte Richtung hat. Z. B. monatelang verhielt sich mein linker Zeigefinger positiv gegen den rechten.¹ Zu einer anderen Zeit war das Entgegengesetzte der Fall. Das Verhalten in den Uebergangszeiten habe ich nicht beobachtet. Diesen beständigen Strom meiner Zeigefinger werde ich in der Folge ihren Eigenstrom nennen, um ihn dadurch zu unterscheiden von solchen Strömen, die aus anderen vorübergehenden Ursachen zwischen denselben Fingern entstehen, und zu denen er sich algebräisch summirt.

¹ Mit dieser Bezeichnung, die fortan häufig wiederkehren wird, ist gemeint, dafs der Strom aus dem linken Zeigefinger in die Lösung, und, nachdem er den Multiplicator draht durchlaufen hat, aus der Lösung in den rechten Zeigefinger tritt. Der Strom ist aufsteigend im rechten, absteigend im linken Arm. Ich denke mir also an Stelle des menschlichen Körpers einen Zinkplatinbogen über die Zuleitungsgefäfsse gebrückt, und vergleiche den linken Zeigefinger dem positiven, den rechten dem negativen Metall des Bogens.

Es ist natürlich nicht zu bezweifeln, daß eine ähnliche Ungleichartigkeit auch noch zwischen beliebigen anderen Fingern und auch bei anderen Personen obwalten werde. Ich habe aber in dieser Beziehung noch keine gründlichen und umfassenden Versuche angestellt. Doch habe ich Grund anzunehmen, obwohl ich es nicht mit aller Bestimmtheit behaupten möchte, daß sich stets alle Finger einer Hand auf die nämliche Art elektromotorisch verhalten gegen die entsprechenden Finger der anderen Hand. Zwischen dem elektromotorischen Verhalten, welches entsprechende, und demjenigen, welches nicht entsprechende Finger beider Hände oder verschiedene Finger derselben Hand gegeneinander zeigen, habe ich noch keinen Unterschied aufzufassen vermocht. Nicht einmal der Einfluß des geringeren Widerstandes des Kreises in dem Fall verschiedener Finger derselben Hand ist mir deutlich geworden. Hinsichtlich des Erfolges dieser Versuche an anderen Personen weiß ich nur so viel als daß sich auch bei ihnen, wenn sie nicht zur Klasse Derer mit allzu feuchter und zarter Oberhaut gehörten, wo keine sichere Beobachtung möglich ist, ein paar Stunden lang, ja an mehreren aufeinander folgenden Tagen, ein elektromotorischer Unterschied der Zeigefinger in beständiger Richtung gezeigt hat.

Alle diese Erscheinungen bleiben im Wesentlichen dieselben, gleichviel von welcher Art die Zuleitungsflüssigkeit sei, in die man die Finger eintaucht. Ob dabei der Eigenstrom stets seine Richtung unverändert behalte, bin ich noch nicht im Stande mit Sicherheit anzugeben. Doch glaube ich, daß dem wirklich so ist. Mit welchen Flüssigkeiten ich in dieser Beziehung Versuche angestellt habe, wird, nebst den Einzelheiten dieser Versuche, aus der Folge erhellen. Ueber das Verhalten anderer symmetrischer Körperstellen unter den hier in Rede stehenden Umständen wird gleichfalls die Folge einigen Aufschluß geben.

Endlich auch die Verhandlung über die Ursachen der hier beschriebenen Erscheinungen müssen wir auf eine spätere Stelle versparen. Vorläufig genüge die Bemerkung, daß offenbar zwei verschiedene Arten von Wirkungen dabei im Spiele sind. Erstens der beständige Eigenstrom selber, dann aber zu Anfang eine flüchtige Wirkung von unregelmäßiger Richtung. Letztere tritt übrigens nicht in jedem Versuch wieder von Neuem auf, wenn man oft nacheinander die Finger eintaucht, sie in der Zuleitungsflüssigkeit verweilen läßt, mit Wasser wäscht, abtrocknet und von Neuem eintaucht. Alsdann gehört der Ausschlag im ersten Augenblick nur noch dem Eigenstrom an, oder wenigstens die anfangs vorhandene flüchtige Wirkung vermag sich jetzt nicht mehr geltend zu machen neben der beständigen, durch die Durchfeuchtung der Oberhaut noch gesteigerten des Eigenstromes.

Auf alle Fälle, sieht man, ergibt sich aus dem Vorigen für die nun anzustellenden Versuche die Regel, auf der Haut zu sein sowohl gegen die Wirkungen der ersten Benetzung, als auch der dauernden Ungleichartigkeit von Körperstellen, welche, von vorn herein, gleichartig sein zu müssen scheinen. Gleichviel wo der Sitz der Ungleichartigkeit sei, welche dem Eigenstrom zu Grunde liegt, ob in der Haut der Finger, oder in den Muskeln der Gliedmaßen, es sind offenbar die Finger in dieser Beziehung ganz zwei Platten aus einem Metall zu vergleichen, die man als Zuleitungsplatten eines Multiplicators benutzen will. Auch diese scheinen gleichartig sein zu müssen, aber sind es deshalb noch keinesweges. Auch hier giebt die erste Benetzung Anlaß zu unregelmäßigen, bald vorübergehenden Wirkungen. Auch hier ist es nur selten der Fall, daß auf diese Wirkungen nicht ein nachhaltiger Strom, oft in der umgekehrten Richtung von der des ersten Ausschlags folgt. Auch hier endlich kehren, beim erneuten Eintauchen, die ersten Wirkungen nicht in gleicher Weise wieder, sondern der Ausschlag erfolgt jetzt sogleich im Sinn der dauernden Ungleichartigkeit.

Eine solche Uebereinstimmung zwischen dem elektromotorischen Verhalten der Haut und der Metalle bei Berührung mit Flüssigkeiten wird sich uns in der Folge noch öfter darbieten. Leider erstreckt sie sich an dieser Stelle nicht, wie wohl zu wünschen wäre, auch auf die Fähigkeit der Metalle, wenigstens der negativen, bei geeigneter Behandlung sich schliesslich miteinander abzugleichen. Geschlossenhalten der Hautstellen, deren Gleichartigkeit man braucht, zum Kreise leistet hier nicht dasselbe wie bei den Metallen, weil die Haut, wovon noch die Rede sein wird, nicht in der Weise, wie die Metalle, polarisierbar ist und weil man, selbst wenn sie es wäre, doch die Hautstellen nicht so lange wie die Metalle zum Kreise geschlossen halten kann. Ja nicht selten ist, wie schon oben S. 204 bemerkt wurde, das Auftauchen neuer Ungleichartigkeiten, statt des Verschwindens der alten, die Folge längerer Benetzung der Hautstellen. Um so mehr müssen wir uns, bei der Erforschung des elektromotorischen Verhaltens der Haut unter verschiedenen Umständen, Vorsicht anempfohlen sein lassen.

(111) Von dem elektromotorischen Verhalten ungleich erwärmter, sonst gleichartiger Hautstellen gegeneinander.

Wir sind nun im Stande, mit Sicherheit zu ermitteln, ob ungleiche Temperatur zweier sonst gleichartigen Hautstellen einen elektromotorischen Unterschied derselben bedinge. Natürlich werden wir unsere Versuche an den Zeigefingern anstellen, die am bequemsten gelegen sind, und deren elektromotorisches Verhalten uns schon genau bekannt ist.

Ich ging folgendermaßen zu Werke. Durch Erwärmen und Erkalten der Kochsalzlösung in einem der beiden Zuleitungsgefäße würde die Gleichartigkeit der Vorrichtung gefährdet worden sein. Erstlich beschlägt beim Erwärmen leicht das Platin an seiner Berührungsstelle mit der Messingklemme mit Wasserdampf, wodurch ein heftiger Strom entsteht (Vergl. oben Bd. I. S. 218). Für's zweite beruht die Gleichartigkeit der Platinplatten immer wesentlich auf ihrem Ladungszustande, dieser aber ist abhängig von der Temperatur (S. oben S. 193). Endlich drittens und vor Allem verhalten sich gleichartige Metalle in ungleich warmer Flüssigkeit an und für sich nicht mehr gleichartig. Ich glaube mich insbesondere überzeugt zu haben, daß Platin in kalter gesättigter Kochsalzlösung sich gegen Platin in warmer Lösung positiv verhält.¹ Es wurden deshalb vor den Zuleitungsgefäßen noch zwei andere Gefäße angebracht, mit jenen durch Salzbüsche verbunden, und erst in diese Hülfsgefäße, wie ich sie nennen will, entweder die ungleich warme Lösung gegossen oder, wenn sie mit gleich warmer Lösung gefüllt waren, die ungleich warmen Zeigefinger getaucht.

Ich fing damit an, in ein drittes Paar von Gefäßen, die ich Hülfsgefäße zweiter Ordnung nennen will, ungleich warme Kochsalzlösung zu gießen. In diese Gefäße, die aber weder unter sich, noch mit den Hülfsgefäßen erster Ordnung in leitender Verbindung standen, tauchte ich die beiden Zeigefinger, hielt sie darin so lange bis sie die Temperatur des Mittels angenommen hatten, und übertrug sie endlich gleichzeitig in die Hülfsgefäße erster Ordnung, nachdem das Schließungsrohr zwischen den eigentlichen Zuleitungsgefäßen entfernt worden war. Vorher hatte ich mich natürlich von dem Stande des Eigenstromes der Finger unterrichtet (S. oben S. 204). Um stets für beide Finger, den Unterschied der Temperaturen ausgenommen, alle Bedingungen des Versuches möglichst gleich zu machen, wurden die Hülfsgefäße erster und zweiter Ordnung übrigens selbst dann auf beiden Seiten beibehalten, wenn auf der einen Seite die Lösung in den Hülfsgefäßen dieselbe Temperatur haben sollte, als die in den eigentlichen Zuleitungsgefäßen, nämlich 15°C. , entsprechend der zeitigen Lufttemperatur. Aufser dieser Temperatur wendete ich noch drei andere an, nämlich die von 0° , die von $+30^{\circ}$, und die von $+45^{\circ}$.

Ich gestehe, daß ich nicht im Stande war, eine viel höhere Temperatur als 45°C. mit dem Zeigefinger dauernd zu ertragen. E. H. WE-

¹ Vergl. über dergleichen Ketten aus Einem Metall und Einer ungleich erwärmten Flüssigkeit FARADAY in seinen *Experimental Researches in Electricity*. Reprinted from the *Philosophical Transactions*. vol. II. London 1844. p. 59—69. Series XVII. No. 1913—1955; * — POGGENDORFF'S *Annalen u. s. w.* 1841. Bd. LIII. S. 316.*

BER¹ giebt viel höhere Temperaturen als solche an, die man dauernd ertragen kann. Indessen ist zu bemerken, dafs dabei nur das letzte Fingerglied eingetaucht wurde. Ich tauchte dagegen die beiden letzten Glieder vollständig ein. E. H. WEBER sagt aber selber, dafs, je gröfser die Oberfläche der Haut sei, die der warmen oder kalten Temperatur ausgesetzt werde, um so niedriger oder um so höher beziehlich liege der Punkt, wo man anfangs Schmerz zu empfinden.

Folgendes war das Ergebnifs meiner Versuche. Ein Finger bei 0°, worunter ich einen solchen verstehe, der einige Zeit in Lösung von 0° verweilt hat, verhält sich so stark positiv (S. oben S. 204 Anm.) gegen einen Finger bei 15°, 30°, 45°, dafs die Nadel an die Hemmung geführt wird. Die Wirkung ist aber bei 15° oder 30° äufserer Temperatur des zweiten Fingers weit heftiger als bei 45°. Ein Finger bei 15° verhält sich gegen einen Finger bei 30° schwach positiv. Gegen einen Finger bei 45° dagegen verhält sich ein Finger bei 15° oder bei 30° sehr stark negativ. Am negativsten ist also der Finger bei etwa 30°. Bei jeder höheren sowohl als jeder tieferen Temperatur ist er positiver. Seine Positivität wächst nach beiden Richtungen hin anfangs langsam, in der Nähe des Nullpunktes und zwischen 40° und 50° aber aufserordentlich schnell.

Diese Ergebnisse sind einer graphischen Versinnlichung fähig. In Fig. 146. Taf. V stellen die Abscissen die wachsenden Temperaturen des einen Fingers dar, während der andere Finger auf 0° verharret. Die Ordinaten stellen, ihrem allgemeinen Gesetz nach, die relativen Gröfsen der Positivität des auf 0° gehaltenen Fingers gegen den anderen bei den entsprechenden Temperaturen vor. Indem man sich aber die Abscissenaxe folgeweise um die Stücke *Oa*, *Ob*, *Oc* in der Richtung der positiven Ordinaten verlegt denkt, findet man zugleich die relativen Gröfsen der Positivität oder Negativität des Fingers von veränderlicher Temperatur gegen den anderen, wenn man diesem, statt wie früher die beständige Temperatur von 0°, beziehlich die von 15°, 30°, 45° zuschreibt.

Diese Ströme dauern nur so lange, als ein Wärmeunterschied vorhanden ist. Umgekehrt lassen sie sich so beständig machen, wie die Polarisation der metallischen Multiplicatorenden und die Abgleichung der Temperaturen es gestatten, wenn man den Versuch dahin abändert, dafs man, unter Beseitigung der Hülfsgefäfsse zweiter Ordnung, die Hülfsgefäfsse erster Ordnung selber mit der ungleich warmen Lösung füllt. Beim Eintauchen der gleich warmen Finger erhält man Ausschläge, wie sie nach dem Vorigen verlangt werden. Hält man dann die Finger dauernd

¹ RUD. WAGNER'S Handwörterbuch der Physiologie u. s. w. Bd. III. Abth. II. Braunschweig 1846. Artikel »Tastsinn und Gemeingefühl«. S. 571—574.*

eingetaucht, so hat man in dem Multiplicatorkreise einen Strom, der so lange anhält, als der Temperaturunterschied selber. Ich muß indess sagen, daß mir zwar dieser Versuch bei Anwendung der Temperaturen von 15° und 30° in dem einen und von 45° in dem anderen Hülfsgefäß stets gut gelungen ist, dagegen bei der Temperatur von 0° in dem zweiten Gefäß nur unsichere Erfolge geliefert hat. Dem Grund davon bin ich nicht weiter nachgegangen. Ich vermuthe aber, daß er einfach darin liegt, daß, nach dem NEWTON'schen Gesetze, die Lösung von 0° durch den Finger schneller erwärmt wurde, als die von 45° erkältet, während die Positivität des Fingers bei 0° und bei 45° sich ungefähr gleich schnell mit der Temperatur ändern mag.

Die Ströme durch ungleiche Temperatur lassen sich auch beobachten, indem man die Hülfsgefäße zweiter Ordnung, statt mit Kochsalzlösung, mit Quecksilber oder Sand füllt. Mit dem Sande, dem ich übrigens wegen seiner geringen Wärmeleitung und Beweglichkeit eine beträchtlich höhere Temperatur ertheilen konnte, als dem Quecksilber und der Salzlösung, wendete ich keine andere Temperaturen an als 15° in dem einen, $40-60^{\circ}$ in dem anderen Gefäße. Mit dem Quecksilber dagegen führte ich dieselbe Versuchsreihe durch wie mit der Lösung. Das Ergebniss war, was die Richtung der Ströme betrifft, das nämliche, wie mit der Lösung. Die Ströme hatten aber nicht ganz dieselbe Stärke und die Erscheinungen ließen es manchmal an Sicherheit und Regelmäßigkeit fehlen.

Beim Quecksilber schrieb ich das letztere zuerst dem Umstande zu, daß ich ein mit Kupfer sehr verunreinigtes Quecksilber anwendete, dessen ich mich in den Gefäßen des Stromwenders, zum Verquickern der Schließungshaken u. d. m. zu bedienen pflege, und welches sich in Häuten an die Finger hing. Aber bei näherer Prüfung zeigte es sich, daß diese Häute keine Störungen verursachten, und als ich die Versuche mit ganz reinem Quecksilber wiederholte, stieß ich mehrmals auf dieselben Unsicherheiten der Erscheinungsweise. Die größere Schwäche der Wirkungen im Vergleich zu den mit der ungleich warmen Lösung beobachteten erklärt sich übrigens wohl mit Leichtigkeit daraus, daß in der Lösung die Oberhaut durchfeuchtet wird, während sie im Quecksilber trocken bleibt, im heißen Sande wohl gar noch ausgetrocknet wird; und daß die Schicht heißer oder kalter Lösung, die die Finger aus den Hülfsgefäßen zweiter Ordnung mitnehmen, der Oberfläche der Finger länger die Temperatur erhält, die sie besitzen soll.

Aus Gründen, die in der Folge einleuchten werden, habe ich es nöthig gefunden, diese Versuche noch mit anderen Zuleitungsflüssigkei-

ten als mit Kochsalzlösung zu wiederholen, mit verdünnter Schwefelsäure nämlich und mit Brunnenwasser.

Die verdünnte Säure, die in der Folge noch mehrmals vorkommen wird, hatte bei $15^{\circ}.5$ C. 1.061 Dichte. Sie enthielt also etwa neun Gewichtsprocente Schwefelsäure mit einem Atom Wasser. Man kann sie nicht wohl stärker nehmen, da sie bereits so an zarten Hautstellen, z. B. der Volarfläche des Unterarmes, bei längerer Benetzung Schmerz und Röthe hervorbringt. Die Zuleitungsplatten waren Platinbleche von 14^{mm} Breite, und 44^{mm} hoch mit Fließpapier bekleidet. Es gelang sie hinreichend gleichartig zu erhalten. Die Erwärmung und Erkältung der Finger fand statt in Hilfsgefäßen zweiter Ordnung, die mit der verschieden warmen Säure angefüllt waren. Die Verbindung der Gefäße geschah in hergebrachter Weise durch Bäusche nach Art des Sattelbausches, die mit der verdünnten Säure getränkt waren. Ein ähnlicher Bausch versah die Dienste des Schließungsrohres. Die Erscheinungen waren völlig die nämlichen, wie mit der gesättigten Kochsalzlösung. Der Finger bei 0° verhielt sich auch in der Säure positiv gegen den bei 15° , 30° , 45° ; der bei 45° positiv gegen den bei 15° und 30° . Das Verhalten der Finger gegen einander bei 15° und 30° konnte, wegen allzu großer Stärke des Eigenstromes, nicht mit Sicherheit ermittelt werden.

Bei der Versuchsreihe mit Brunnenwasser war die Vorrichtung ganz die nämliche wie bei der mit Kochsalzlösung, nur dafs die eigentlichen Zuleitungsgefäße und die Hilfsgefäße erster und zweiter Ordnung statt Kochsalzlösung Brunnenwasser enthielten. Die Erkältung des Fingers auf 0° geschah in einem Brei von Brunnenwasser und zerstoßenem Eise. Die Erscheinungen waren dieselben wie mit der Kochsalzlösung. Nur fielen sämtliche Wirkungen schwächer aus, wohl nur wegen der geringeren Leitungsfähigkeit, die das Brunnenwasser, bei gleicher Durchfeuchtung, der Oberhaut erteilt. Der Strom bei 15° und 30° äußerer Temperatur der Finger konnte auch hier nicht ordentlich unterschieden werden.

Von dem elektromotorischen Verhalten anderer Körpertheile als der Finger bei ungleicher Erwärmung wird noch später die Rede sein.

Es giebt also, wie man sieht, wirklich Ströme durch ungleiche Temperatur der Haut; und wir können von Glück sagen, dafs wir uns nicht bei der Betrachtung beruhigt haben, wie höchst unwahrscheinlich es sei, dafs es solche Ströme gebe. Die elektromotorische Kraft dieser Ströme bei den geringen Temperaturunterschieden, die hier allein anwendbar sind, ist sogar keinesweges unbeträchtlich. Gleich der der NOBILI'schen Thon-Thermokette übertrifft sie bei weitem die der Kupfer-eisenkette bei mittlerer Temperatur ihrer einen und Erglügen ihrer anderen Löthstelle (S. oben S. 202).

Höchst auffallend aber ist das Gesetz, wonach sich diese elektromotorische Kraft mit der Temperatur ändert. Nach der Analogie der metallischen Thermoketten zu urtheilen, hätte man erwarten sollen, daß innerhalb so enger Grenzen der Temperatur die Richtung des Stromes die nämliche bleiben, und die elektromotorische Kraft dem Temperaturunterschied ungefähr proportional sein werde. Statt dessen sehen wir die Richtung des Stromes sich umkehren, und die Curve der elektromotorischen Kräfte von etwa 30° ab nach dem Nullpunkt hin sowohl als nach den höheren Temperaturen außerordentlich an Steilheit zu nehmen.

Noch auffallender aber wird dieser Umstand dadurch, daß er nur an dem Lebenden stattzufinden scheint. Ich habe nämlich versucht, dieselben Erscheinungen an den Fingern einer Leiche zu beobachten. Da meine Vorrichtungen keine Ortsveränderung zulassen, sah ich mich genöthigt, Finger einer und derselben Hand anzuwenden. Die Hand gehörte der Leiche eines vor dreimal vierundzwanzig Stunden verstorbenen Mannes an. Sie war im Handgelenk exarticulirt, sonst aber völlig unversehrt. Ihre Oberhaut war verhältnißmäßig zart. Mit Hülfe von Bändern und von passend angebrachten Keilen aus Kork gab ich der Hand die Stellung wie zum Schwur, nur daß Zeigefinger und Mittelfinger von einander entfernt gehalten wurden. Diese benutzte ich zum Eintauchen in die Zuleitungsgefäße, an Stelle meiner beiden Zeigefinger. Es zeigte sich, daß ein Eigenstrom vorhanden war, wie zwischen den Fingern eines Lebenden. Die ungleiche Erwärmung der Finger geschah in Kochsalzlösung. Zwischen je zwei Versuchen wurden die Finger mit Wasser gewaschen und mit Linnen getrocknet, gerade wie am Lebenden.

Das Ergebniss war, daß ein Finger bei 0° sich gegen einen Finger bei 15° , 30° , 45° wie am Lebenden, nur sehr viel schwächer, positiv verhielt. Aber damit hatte die Uebereinstimmung ein Ende. Ein Finger bei 15° verhielt sich nämlich nicht negativ gegen einen solchen bei 45° , sondern auch noch positiv. Ich glaubte nun, daß, wegen der niedrigen im Inneren der Leichenhand herrschenden Temperatur, vielleicht höhere Temperaturen angewendet werden müßten, um die Umkehr der elektromotorischen Kraft zu erzielen. Allein auch als ich den beiden Fingern die Temperaturen von 45° und 60° , dann von 60° und 75° ertheilte, verhielt sich noch stets der kältere Finger positiv gegen den wärmeren. Was bei Anwendung einer noch höheren Temperatur, nämlich der des Siedens, auf der einen Seite, stattfand, verschweige ich besser, weil ich meiner Sache nicht recht gewiß bin. Auch über die Stärke der Ströme will ich nichts weiter sagen, als daß sie durchgängig weit unter der am Lebenden blieb, indem ich über das Gesetz,

wonach sich bei beständigem Temperaturunterschiede diese Stärke mit der Temperatur ändert, noch nichts Sicheres beobachtet habe.

Immer noch in der Meinung, daß die abweichenden Erscheinungen an der Leichenhand einfach von ihrer geringeren inneren Wärme herühren möchten, stellte ich an einer zweiten Hand, die übrigens einer noch weniger frischen Leiche angehörte, folgenden Versuch an. Nachdem ich mich überzeugt hatte, daß auch an dieser Hand der Finger bei 15° und bei 30° sich positiv gegen einen solchen bei 45° verhielt, liefs ich die Hand 75' lang in warmem Wasser verweilen. Die Temperatur des Wassers betrug ursprünglich 44°, nach der angegebenen Zeit 36°. Die Hand mußte also im Inneren ziemlich die Temperatur haben, wie am Lebenden. Abermals prüfte ich jetzt das elektromotorische Verhalten zweier Finger gegen einander bei 15° und 45°. Allein ich stehe nicht an zu behaupten, daß es noch dasselbe war als an der kalten Hand, obschon, was freilich auffallend ist, der Strom schwächer erschien und auch noch sonst einige Unregelmäßigkeiten bemerkt wurden.

Ich habe diese Versuche nicht weiter verfolgt, theils, weil sie mich zu sehr vom Ziel ablenkten, theils, weil mir zur Zeit nicht mehr passende Leichenhände zu Gebote standen. Ich lasse demnach den Gegenstand in theoretischer Hinsicht ganz, was die Thatsachen betrifft, wenigstens noch zum Theil, in Dunkel gehüllt zurück. Nur die Erscheinungen am Lebenden sind, nach den oben S. 188 für diese Untersuchung aufgestellten Grundsätzen, genau genug erkannt, um uns später, wenn wir ihrer bedürfen sollten, eine sichere Grundlage darzubieten.

Ausdrücklich bemerke ich noch, daß, wenn ich hier von Thermoströmen am menschlichen Körper geredet habe und dies auch noch ferner thue, ich damit mehr eine kurze Ausdrucksweise bezwecke, als daß ich dadurch die Erscheinung mit den Thermoströmen der Metalle bereits für einerlei auszugeben gedächte. Ob die Ströme, von denen hier die Rede ist, eine Rolle gespielt haben in den verwickelten Versuchen EDUARD WEBER's, deren oben Bd. I. S. 488 Anm. Erwähnung gethan ist, bin ich aufser Stande zu sagen. Möglicherweise aber haben diese Ströme einen, wenn auch kleinen und unregelmäßigen Antheil an der ersten flüchtigen Wirkung, welche das erste Eintauchen zweier Finger in die Zuleitungsgefäße zu begleiten pflegt (S. oben S. 205).

(iv) Von der Verminderung des Leitungswiderstandes der Oberhaut durch Temperaturerhöhung.

Es hat sich mir, bei den vorigen Versuchen, noch ein Umstand zu erkennen gegeben, der, für die Versuche am unversehrten mensch-

lichen Körper, in praktischer Beziehung von Wichtigkeit ist. Ich habe seiner bisher nicht gedacht, um nicht die Darstellung allzusehr zu verwickeln. Er verdient es aber auch in theoretischer Beziehung wohl, jetzt auf einige Augenblicke unsere Aufmerksamkeit auf sich zu lenken.

Ich habe oben S. 204 auseinandergesetzt, daß man meistens zwischen zwei bestimmten Fingern einen beständigen, auf keine Art zu tilgenden elektromotorischen Unterschied wahrnimmt, der sogar, für bestimmte Finger eines und desselben Menschen, monatelang derselbe bleibt. Den Strom, den dieser Unterschied bedingt, habe ich den Eigenstrom der Finger benannt, und habe gesagt, daß er sich algebraisch summire zu den Strömen, die aus anderen Ursachen vorübergehend zwischen den Fingern auftreten.

Für die Ströme durch Unterschiede der Temperatur indessen bedarf dieser Ausspruch einer Einschränkung. Gleichviel nämlich, wie die Erwärmung des einen Fingers geschah, ob auf feuchtem Wege, in Kochsalzlösung u. d. m., oder auf trockenem Wege, in Sand oder Quecksilber, die Wirkung beim gleichzeitigen Eintauchen eines Fingers von mittlerer und eines Fingers von erhöhter Temperatur erscheint nicht, wie man vermuthen sollte, zusammengesetzt aus der Wirkung wegen ungleicher Temperatur und der beständigen Wirkung in ihrer gewöhnlichen Größe, sondern aus der ersteren Wirkung und der letzteren in sehr vergrößertem Mafsstabe. Z. B. beim gleichzeitigen Eintauchen der gleich warmen Finger entstehe ein Ausschlag von 20° nach links, der den linken Finger als positiv anzeigt. Der linke Finger wird erwärmt und das Eintauchen wiederholt. Es erfolgt Anschlagen an die Hemmung in demselben Sinne als vorher. Man sollte nun erwarten, daß wenn der Versuch mit dem rechten Finger wiederholt wird, wenn auch nicht Anschlagen an die rechte Hemmung, doch wenigstens ein starker Ausschlag nach rechts erfolgen müßte. Dies trifft nicht zu. Sondern der Ausschlag ist sehr klein, und auf dem Fuß gefolgt von einem viel stärkeren Ausschlage nach links; oder die Nadel bleibt anfangs in Ruhe, geht dann zögernd nach links bis auf 10° , schwingt zurück um wenige Grade und geht weiter nach links bis auf 40° u. s. f.

Diese Erscheinungen erklären sich offenbar nur unter der Voraussetzung, daß der Nullpunkt für die Wirkung des Temperaturunterschiedes, oder die Gleichgewichtslage der Nadel zwischen der Erdkraft und der ablenkenden Kraft des Eigenstromes, durch die Erwärmung des einen Fingers weiter vom Nullpunkt der Theilung verlegt worden ist. Mit anderen Worten, es muß durch die Erwärmung des Fingers der Eigenstrom an Stärke zugenommen haben. Bei der Erkältung des einen Fingers findet nichts ähnliches statt. Vielmehr scheint der Eigenstrom

dabei an Stärke abzunehmen. Die Zunahme des Eigenstromes durch die Temperaturerhöhung steht übrigens zu dieser in einem anderen Verhältniß als die durch den Temperaturunterschied bedingte elektromotorische Kraft. Denn jene ist bereits, oder noch sehr merklich, wenn diese beziehlich noch kaum in die Augen fällt, oder beinahe schon unwahrnehmbar geworden ist. Die größere Stärke des Eigenstromes bei erhöhter Temperatur der Zuleitungsflüssigkeit tritt noch deutlicher hervor, wenn man, statt nur einen Finger, beide Finger erwärmt und sie gleichzeitig in die Hülfsgefäße erster Ordnung überträgt. Nicht nur dafs alsdann die Verwickelung fortfällt, die bei der vorigen Versuchsweise aus dem Thermostrom entsprang, sondern die Verstärkung des Eigenstromes erscheint auch an sich noch bedeutender.

Aus der Gesamtheit dieser Umstände läßt sich bereits entnehmen, dafs die Verstärkung des Eigenstromes durch die Temperaturerhöhung nicht beruht auf einer Vergrößerung der ihm zu Grunde liegenden elektromotorischen Kraft, sondern auf einer Verminderung des Widerstandes des Kreises. Zur Gewifsheit brachte ich dies durch folgende Versuche.

In den Kreis einer GROVE'schen Kette der größeren Art (S. oben Bd. I. S. 446) wurden die Zuleitungsgefäße mit den Hülfsgefäßen erster Ordnung und die halbe Länge des Multiplicators für den Muskelstrom eingeschaltet. Die Empfindlichkeit des Multiplicators war durch einen MELLON'schen Berichtigungsstab (S. oben Bd. I. S. 189) hinreichend vermindert. Die GROVE'sche Kette wurde aufser durch die erwähnte Leitung noch durch einen langen und dünnen Kupferdraht (die inducirte Rolle meines Magnetelektromotors) beständig geschlossen gehalten.

Heifsen die Enden der Kette, abgesehen von ihrem beständigen Schließungsdrahte, k_1 , k_2 , die des Multiplicators m_1 , m_2 , die der Zuleitungsgefäße z_1 , z_2 ; so standen k_1 mit m_1 , m_2 und z_1 mit dem Gefäfs A des POHL'schen Stromwenders (S. oben Bd. I. S. 426. Bd. II. Taf. III. Fig. 108), z_2 mit dem Gefäfs a , k_2 mit dem α in Verbindung. Bei der Lage II der Wippe (S. oben Bd. I. ebendas. Bd. II. Taf. III. Fig. 109) bildeten also der Multiplicator und die Zuleitungsgefäße mit ihren Hülfsgefäßen und dem zwischen ihnen befindlichen menschlichen Körper eine Nebenschließung zum beständigen Schließungsdrahte der Kette. Der Widerstand dieser Nebenschließung war verhältnißmäfsig sehr groß. Durch Schließen und Oeffnen derselben konnte also der Zustand der Kette nicht merklich geändert werden. So war eine Bürgschaft mehr gegeben für die Beständigkeit ihres Stromes. Aufserdem wurden die Platinplatten der Zuleitungsgefäße nicht mit so starken Ladungen behaftet, als dies der Fall gewesen wäre, hätte ich die zur Schwächung des Stromes nöthige Nebenschließung am Multiplicator,

statt an der Kette, angebracht. Um aber die Platinplatten zu entladen, und der zuleitenden Vorrichtung nach jedem Versuch die Gleichartigkeit wieder zu ertheilen, war nichts weiter nöthig, als die Wippe aus der Lage II in die Lage I umzulegen. Alsdann nämlich öffnete sich die bis dahin vorhandene Nebenschließung zum Schließungsdrahte der Kette, dagegen wurden die Zuleitungsgefäße für sich zum Kreise geschlossen.

Die Hilfsgefäße wurden mit gesättigter Kochsalzlösung von gegebener Temperatur gefüllt. Damit diese Temperatur beständiger sei, wurden auch die in die Hilfsgefäße tauchenden Hälften der Verbindungs-bäusche mit Lösung von gleicher Temperatur getränkt. In die Hilfsgefäße wurden, bei der Lage I der Wippe, die beiden letzten Glieder des Zeigefingers jeder Hand getaucht, und so lange darin gehalten, bis man annehmen konnte, ihre Oberhaut sei vollkommen durchfeuchtet und habe die Temperatur des Mittels angenommen. Dann endlich wurde die Wippe umgelegt, der Ausschlag abgelesen, die Wippe in die Lage I zurückgebracht, und die Vorrichtung durch das Schließungsrohr entladen.

Zuerst wurde natürlich der Versuch mit Lösung von mittlerer Temperatur, oder der zeitigen Luftwärme, angestellt, um die Empfindlichkeit des Multipliers der Stromstärke anzupassen. In dieser Gestalt wurde aber der Versuch noch mehrmals, mitten in der Versuchsreihe und zu Ende derselben, wiederholt, um mich der Beständigkeit der Kette zu vergewissern. Zuletzt wurde die ganze Versuchsreihe nochmals mit der verdünnten Schwefelsäure von 1.061 Dichte (S. oben S. 210) wiederholt, um sicher zu sein, daß die Verminderung des Widerstandes der Haut nicht bloß in der Kochsalzlösung stattfindet. Als Zuleitungsplatten dienten dabei die oben ebendas. beschriebenen Platinbleche.

Die folgende Tabelle enthält die Zahlen der Versuche.

Grade C.	Gesättigte Kochsalzlösung.	Verdünnte Schwefelsäure.
0°	32° Ausschlag.	25°; 23.5 Ausschlag.
15	38; 38; 44.	35; 37; 36.
45	74; 74.	68; 65.

Man sieht, daß in beiden Flüssigkeiten eine sehr beträchtliche Zunahme der Stromstärke die Erwärmung begleitet. Sie kann unter diesen Umständen von nichts herrühren als von einer Verminderung des Widerstandes des Kreises. Denn der Quell der elektromotorischen Kraft ist dem Einfluß der Temperaturerhöhung dabei völlig entzogen.

Man könnte nun noch fragen, ob diese Verminderung des Widerstandes bloß auf der Erwärmung der Zuleitungsflüssigkeit beruhe, oder ob es die Oberhaut sei, welche hier an Leitungsgüte gewinne. Es kann wohl von vorn herein kein Zweifel daran sein, daß das letztere der Fall ist, wenn man die Größe der Wirkung bedenkt, und außerdem sich erinnert, daß wir auf die Spur dieser Widerstandsverminderung gekommen sind durch die auffallende Stromverstärkung in Versuchen, wo ein erwärmter Finger in Zuleitungsflüssigkeit von mittlerer Temperatur getaucht wurde. Der Beweis ist übrigens leicht geführt.

Wird nämlich der Versuch bei mittlerer Temperatur wiederholt, indem man die Hilfsgefäße fortläßt und die Finger unmittelbar in die Zuleitungsgefäße taucht, so hat der Ausschlag genau die nämliche Größe als wenn die Finger in die Hilfsgefäße getaucht werden. Es verschwindet also, gemäß der Angabe von LENZ (S. oben S. 196), der Widerstand der Zuleitungsflüssigkeiten überhaupt gegen den des Körpers, und es kann somit eine Verminderung jenes Widerstandes durch Temperaturerhöhung keine Vergrößerung der Stromstärke bewirken.

Es ist also die Oberhaut selber, welche bei der Erwärmung an Leitungswiderstand abnimmt. Diese Versuche stehen zu denen von EDUARD WEBER, wodurch er die Verminderung des Widerstandes der Haut durch die Wärme erwiesen zu haben glaubte (S. oben S. 195), in demselben Verhältniß wie die Versuche von OHM, HENRICI u. A. über den Einfluß der Wärme auf den Widerstand der feuchten Leiter zu den früheren Bestrebungen, dies Verhalten zu ermitteln, welche nicht zum Ziele führen konnten, weil dabei die Veränderung der Polarisation unberücksichtigt blieb (S. oben S. 193 Anm. 1).

Uebrigens scheint die Erklärung des Umstandes, daß der Widerstand des Körpers durch Erwärmung der Haut stark vermindert wird, keiner großen Schwierigkeit zu unterliegen. Ein erster Grund, der sich dafür anführen lassen würde, ist der, daß die Haut durch die wärmere Flüssigkeit wohl besser durchfeuchtet werden mag, als durch die kältere. Dieser Punkt kann jedoch von keinem großen Belang sein, da, wie bemerkt, die Verminderung des Widerstandes auch dann fühlbar wird, wenn die Erwärmung auf trockenem Wege geschah. Allein für's zweite und hauptsächlich ist wohl Folgendes zu erwägen. Die Haut ist der vornehmste Sitz des Widerstandes, den der Körper dem Strom entgegensetzt (S. oben S. 191. 194 ff.). Die Haut leitet aber, wie andere thierische Theile, nur vermöge der in ihr enthaltenen Flüssigkeit (S. oben S. 189). Der Widerstand dieser Flüssigkeit nimmt durch Erwärmung ab. Der Vorgang ist also ungefähr der nämliche, der er sein würde in einem sonst gut leitenden Kreise, in den ein

langes mit Wasser gefülltes Haarröhrchen eingeschaltet wäre und einer Temperaturveränderung unterworfen würde. Es ist nicht zu bezweifeln, daß auch in einem solchen Kreise, durch Erwärmen des Haarröhrchens, eine bedeutende Vergrößerung der Stromstärke herbeigeführt werden würde.

So nahe diese letztere Erklärung liegt, so schwer ist es doch, ihr eine thatsächliche Grundlage zu verleihen. Freilich wenn man erst die obigen Versuche so eingerichtet hätte, daß man ein wirkliches Maß der Stromstärke dabei erhielte, und wenn man zwei Flüssigkeiten von sehr verschiedenem Widerstande besäße, deren Widerstände aber bei verschiedenen Temperaturen stets in demselben Verhältniß zu einander ständen, oder zwar ungleich schnell mit der Erwärmung sanken, doch so, daß das schnellere Sinken der Flüssigkeit von kleinerem Widerstande zukäme: in diesem Falle hätte es keine Schwierigkeit, die Richtigkeit jener Ansicht zu erweisen. Es müßte sich nämlich alsdann zeigen, daß der Widerstand des Körpers in der besser leitenden Flüssigkeit durch Erwärmung der Haut weniger abnimmt, als in der schlechter leitenden. Denn der Widerstand der mit der ersteren Flüssigkeit durchtränkten Haut macht einen kleineren Bruchtheil des Gesamtwiderstandes aus, als der Widerstand der mit der letzteren Flüssigkeit durchtränkten Haut. Folglich muß auch der Gesamtwiderstand in dem letzteren Falle mehr als in dem ersteren vermindert werden durch eine Verminderung des Widerstandes der Haut.

Allein die Erfüllung der obigen Bedingungen ist vor der Hand zum Theil sehr schwer, zum Theil noch unmöglich. Es ist sehr schwer, Versuche nach Art der obigen in genau messende zu verwandeln, und es ist noch gänzlich unbekannt, welchem Gesetz die Veränderung des Widerstandes der Flüssigkeiten mit der Temperatur folgt, vollends, ob dies Gesetz bei zwei Flüssigkeiten von verschiedenem Widerstande das nämliche oder ein solches sei, wie es, nach dem Obigen, hier erfordert werden würde.

Was die Zahlen der obigen Tabelle betrifft, so will ich jetzt noch bemerken, daß die Zahlen in beiden Spalten auf keine Art mit einander zu vergleichen sind, und daher nicht daran zu denken ist, einen Schluß daraus zu ziehen in Bezug auf das Gesetz, wonach sich der Widerstand des Körpers bei Anwendung jener beiden Flüssigkeiten ändert. Der Polarisation nicht zu gedenken, die nicht nur wegen der Natur der Flüssigkeit, sondern auch wegen der verschiedenen Ausdehnung der Elektroden in beiden Fällen sehr verschieden auf das Ergebniß einwirken mußte, ist auch nicht einmal der Compensationszustand des Nadelpaares in beiden Versuchsreihen der nämliche gewesen.

4. Von der durch ungleichzeitiges Benetzen bedingten elektromotorischen Ungleichartigkeit der Haut des Menschen.

(i) Von den Ungleichzeitigkeitsströmen an verschiedenen Theilen des menschlichen Körpers und in verschiedenen Flüssigkeiten.

Wir kennen jetzt das elektromotorische Verhalten zweier unverletzten Finger, die man gleichzeitig in eine mannigfach beschaffene Zuleitungsflüssigkeit taucht und dauernd darin hält, sowohl bei gleicher, als bei ungleicher Temperatur der Finger. Wir schreiten nun dazu, Kenntnifs zu nehmen von der Erscheinung, um derenwillen bisher stets verlangt worden ist, dafs die Finger gleichzeitig eingetaucht werden sollten.

Ich wurde darauf geführt durch die oben S. 10 mitgetheilten Beobachtungen über den an der Froschhaut durch ungleichzeitige Benetzung bedingten elektromotorischen Unterschied. Ich habe versucht, ob etwas ähnliches sich auch an der Haut des lebenden unversehrten Menschen kund geben würde, und ich habe gefunden, dafs dies in der That der Fall ist.

Läfst man nämlich zwischen dem Eintauchen zweier Finger in die gesättigte Kochsalzlösung der Zuleitungsgefäße, gleichviel ob die Finger ganz trocken oder eben erst mit Seife gewaschen worden sind (S. oben S. 204), eine gewisse Frist verstreichen, so verhält sich stets der jüngst eingetauchte Finger negativ gegen den erstbenetzten, d. h. er spielt die Rolle des negativen Metalls eines Zinkplatinbogens, den man sich an Stelle des menschlichen Körpers über die Zuleitungsgefäße gebrückt denkt (Vergl. oben ebendas. Anm.). Der Strom ist bis zu einer gewissen Grenze um so stärker, eine je längere Frist man hat verstreichen lassen zwischen dem Eintauchen des ersten und dem des zweiten Fingers. Zwei Minuten Zeitunterschied im Eintauchen geben aber bereits ziemlich die stärkste Wirkung, wobei die Nadel des Multipliers für den Nervenstrom, in günstigen Fällen, an die Hemmung geführt wird. Läfst man nun abermals einige Minuten verstreichen, und untersucht mittelst des Schließungsrohres den Zustand der Platinplatten, so findet man entweder keine Ladungen vor, oder nur solche, welche auch nach gleichzeitigem Eintauchen und dauerndem Eingetauchthalten entstanden wären in Folge des Eigenstromes der Finger. Die Finger haben sich also wieder mit einander abgeglichen. Sie thun dies auch, ohne dafs die Gefäße, in die man sie getaucht hält, mit einander zum Kreise geschlossen sind. Taucht man beide Finger in zwei nicht mit einander leitend verbundene Gefäße mit gesättigter Kochsalzlösung, läfst sie eine

Zeit lang darin verweilen, und überträgt dann die Finger ungleichzeitig in die Zuleitungsgefäße, wobei man aber den zweiten Finger gleichfalls bis zuletzt in der Lösung halten muß, so wird nur der Eigenstrom beobachtet, der sich sonst stets algebraisch zu dem Ungleichzeitigkeitsstrom hinzufügt.

Sind die beiden Finger gleichartig geworden, und man taucht den einen tiefer ein, so entsteht von Neuem ein Strom in der Richtung von diesem Finger zum anderen im Körper, natürlich jedoch weit schwächer, als wenn der ganze Finger später eingetaucht wird. Zieht man aber einen Finger zum Theil aus der Lösung heraus, so giebt sich höchstens eine Spur von Stromabnahme wegen vergrößerten Widerstandes zu erkennen. Denn die Wirkungen sind in allen diesen Versuchen, in Uebereinstimmung mit der Angabe von LENZ und PITSCHELNIKOFF (S. oben S. 195), merklich um so stärker, eine je größere Fläche der Haut sich eingetaucht findet.

Diese Ungleichzeitigkeitsströme, wie ich sie nennen will, lassen sich, wenngleich mit abnehmender Stärke, mehreremal nach einander an denselben Fingern beobachten. Zieht man die Finger, nachdem sie gleichartig geworden sind, aus der Lösung heraus, so behalten sie zwar eine Zeit lang die Beschaffenheit, die ihnen durch den Aufenthalt in der Lösung ertheilt wird, so daß sie ungleichzeitig wieder eingetaucht nur den Eigenstrom zeigen, jeder von ihnen aber mit einem frischen Finger gleichzeitig eingetaucht, sich positiv gegen ihn verhält. Wäscht man aber dergestalt durch die Lösung oberflächlich veränderte Finger mit Wasser oder mit Seife, oder läßt sie auch nur einige Zeit an der Luft trocknen, so verhält sich, beim ungleichzeitigen Eintauchen, der jüngstbenetzte abermals negativ gegen den anderen. Bei öfterer Wiederholung des Versuches wird die Wirkung aber zuletzt doch sehr viel kleiner als sie ursprünglich war, und in demselben Mafse weniger sicher.

Ich habe ähnliche Versuche, wie mit den einzelnen Fingern, mit den ganzen Händen angestellt. Dazu dienten mir zwei cylindrische Gefäße aus Steingut von im Lichten ungefähr 16^{cm} Tiefe und 21^{cm} Durchmesser, die mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllt wurden. Diese Gefäße werde ich die Handgefäße nennen, im Gegensatz zu den gewöhnlichen Zuleitungsgefäßen, die in dieser Untersuchung fortan die Fingergefäße heißen sollen. In die Handgefäße liefs ich, ihrem Rande nahe, die gewöhnlichen mit Fließpapier bekleideten Zuleitungsplatten hineinhängen. Es wurde nämlich der wagerechte Messingstab, der die Platten trägt (S. Fig. 6. 12. Taf. I. 8. 9. 10. Taf. II. Bd. I. Fig. 129. Taf. IV. Bd. II), aus dem doppelt durchbohrten Klotz entfernt, mit dessen Hülfe er sonst an der senkrechten Säule der Zuleitungsvorrichtung (S. Fig. 6. Taf. I.

Bd. I) verstellt wird, und in die Korkklemme eines MAGNUS'schen Halters eingespannt. Die Platten liefs ich nur so tief in die Lösung hineinhängen, dafs wenn die Hand bis zum Handgelenk darin getaucht wurde, die Lösung eben den Saum der Bekleidung erreichte. Ein Bausch nach Art des Sattelbausches versah zwischen den Handgefäfsen die Stelle des Schliefsungsrohres.

Taucht man beide unversehrte Hände gleichzeitig und in gleichem Zustande in Bezug auf Beugung und Streckung der Finger¹ in die beiden Handgefäfsen, so zeigt sich ein Kreis von Erscheinungen, der demjenigen völlig gleicht, zu dem das Eintauchen zweier Finger Anlafs giebt (S. oben S. 203). Nur dafs, wegen der gröfseren benetzten Oberfläche, sämmtliche Wirkungen sich stärker darstellen. Auch zwischen den Händen findet man einen Eigenstrom, wie zwischen den Fingern. Ob derselbe stets dieselbe Richtung zeigt, wie der Eigenstrom zwischen beliebigen Fingern beider Hände, kann ich um so weniger mit Bestimmtheit sagen, als ich ja noch nicht einmal darüber völlig im Reinen bin, ob wirklich alle Finger einer Hand sich stets auf dieselbe Art elektromotorisch verhalten gegen alle Finger der anderen Hand (S. oben S. 205). Ich glaube aber doch in der That, dafs dem so ist.

Läfst man zwischen dem Eintauchen beider Hände einige Zeit verstreichen, so erfolgt, wie bei den Fingern, ein Strom, der die jüngst eingetauchte Hand negativ anzeigt gegen die erstbenetzte; und auch dieser Strom fällt hier, des geringeren Widerstandes halber, gröfser aus als mit den Fingern.

Um ferner die nämlichen Versuche mit den Füfsen anzustellen, bediente ich mich zweier parallelepipedischer Kästen aus irdener Waare, von etwa 43^{cm} Länge, 12^{cm}.5 Breite und 13^{cm} Tiefe im Lichten, wie man sie in Berlin käuflich findet, um Epheu vor den Fenstern darin zu ziehen. Um diese Kästen für Flüssigkeiten undurchgängig zu machen, bestrich ich sie mit geschmolzenem Kolophoniumkitt (S. oben Bd. I. S. 643), nachdem ich sie über einem Kohlenfeuer bis zum Schmelzpunkte des Kittes erhitzt hatte. Ich werde diese Kästen in der Folge die Fußgefäfsen nennen. Sie kamen natürlich, für gewöhnlich, auf dem Erdboden zu stehen. Sie wurden mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllt, und über eine ihrer kurzen Seitenwände die Zuleitungsplatten mittelst MAGNUS'scher Halter so tief in die Lösung hineingehängt, dafs beim Eintauchen der Füfse bis zum Fußgelenk die Flüssigkeit den Saum der Bekleidung nicht überstieg. Die Platten befanden sich stets an derjenigen kurzen Seitenwand, welche der Fußspitze gegenüberlag. Damit

¹ Die Folge wird lehren, worauf sich diese Einschränkung bezieht. S. unten, No. 6.

der Fuß allseits von der Zuleitungsflüssigkeit frei umspült und nicht die Sohle durch Andrücken an den Boden des Gefäßes aus dem Kreise gebracht werde, kittete ich zwei Querleisten auf den Boden an, wovon die eine der Ferse, die andere den Zehen zum Stützpunkte diene, so daß zwischen der Sohle und dem Boden noch einige Centimeter Abstand blieben. Die Ergebnisse der in diesen Gefäßen mit dem gleichzeitigen und ungleichzeitigen Eintauchen der Füße angestellten Versuche stimmten mit denen der Versuche an den Händen vollkommen überein.

Auch bei der Verbindung von Händen und Füßen zum Kreise werden wir später die Ungleichzeitigkeitsströme auftreten sehen. Jedoch mischt sich dabei noch eine andere Erscheinung ein, weshalb dieser Versuche hier noch nicht ausführlich gedacht wird.

Nicht alle Gegenden der Hautoberfläche des menschlichen Körpers sind gleich geeignet, die Ungleichzeitigkeitsströme zu zeigen.

Von den beiden Elbogen zwar, die man, bei etwas gebeugten Elbogengelenken, leicht in den Handgefäßen prüfen kann, verhält sich, in Kochsalzlösung, der jüngsteingetauchte stets stark negativ gegen den zuerst benetzten. Als ich aber, nachdem beide Hände in den zum Kreise geschlossenen Handgefäßen gleichartig geworden waren, von den beiden Unterarmen abwechselnd den einen und den anderen in das entsprechende Gefäß tiefer eintauchte, wobei sich stets der zuletzt versenkte hätte müssen negativ zeigen, erhielt ich nur unregelmäßige Spuren von Wirkungen, sowohl der Größe, als der Richtung nach.

Ich faßte nun den Verdacht, daß vielleicht auch an der Hand und den Fingern die Ströme wegen ungleichzeitigen Eintauchens bedingt sein möchten allein durch die innere Handfläche oder, wie ich sie nennen will, die Handsohle, deren Haut von besonderer Beschaffenheit ist. Dieser Verdacht fand sich in der That bestätigt.

Taucht man nämlich bloß die Handrücken ungleichzeitig in die Salzlösung der Handgefäße, so kommt es allerdings auch vor, daß sich die beiden Handrücken als jüngstbenetzte negativ verhalten. Eben so oft aber wird das Gegentheil beobachtet, sie verhalten sich beide positiv; oder auch der eine positiv, der andere negativ. Ueberzieht man die Volarfläche zweier entsprechenden Finger beider Hände, z. B. der beiden Zeigefinger, soweit sie gefurcht erscheint, mit SCHÖNBEIN'schem Klebäther (sogenanntem Collodium), so daß allein die Rückenfläche der Benetzung mit der Kochsalzlösung ausgesetzt bleibt, so finden beim Eintauchen nur schwache unregelmäßige Ströme statt; die Negativität des zuletzt eingetauchten Fingers ist nicht mehr deutlich vorhanden.

Berührt man hingegen die Oberfläche der Salzlösung in den Handgefäßen nur mit der Handsohle, so verhält sich stets die jüngstbenetzte

Handfläche stark negativ gegen die früher eingetauchte. Ueberzieht man die Rückenfläche der Finger mit Klebäther bis zur Grenze der gefurchten Gegend, so zeigen sich ebenfalls richtig die Ströme wegen ungleichzeitigen Eintauchens.

Auch die zuletzt benetzte Fußsohle verhält sich stark negativ gegen die früher eingetauchte.

Um die Versuche auf den Fußrücken, wie überhaupt auf solche Stellen des Körpers auszudehnen, welche man nicht eintauchen kann, wurde folgende Einrichtung getroffen. Die gewöhnlichen Zuleitungsgefäße kamen, jedes mit seinem Brettchen, zwischen Leisten auf einem besonderen etwas größeren Brett zu stehen, von dem sich, an der vorderen Seite des Gefäßes, eine Wand senkrecht erhob. Diese Wand hatte in der Höhe des Randes des Gefäßes ein vierecktes Fenster, durch welches ein Bausch nach Art des Sattelbausches gesteckt wurde. Der Bausch hatte 20^{cm} Länge, 2^{cm} Breite und 1^{cm}.5 Dicke. Zur inneren Seite des Fensters hing er in das Zuleitungsgefäß. In dem Fenster selbst war er durch einen Keil befestigt, und das lange freie Ende außerhalb des Fensters konnte nun mit Sicherheit gehandhabt und den zu untersuchenden Körperstellen angelegt werden.

Es zeigte sich indess, daß diese Art der Ableitung der Ströme vom menschlichen Körper nicht zweckdienlich ist. Die Bäusche schmiegen sich nicht hinlänglich an die Körperformen an. Wegen der geringen Benetzbarkeit der Haut mit den wässerigen Flüssigkeiten ist daher die Berührung weder ausgedehnt, noch innig genug, noch endlich hinreichend gleichmäßig. Die Oberhaut wird nicht hinlänglich von der Zuleitungsflüssigkeit durchdrungen und dadurch leitend gemacht. So ist, bei dieser Art der Ableitung, nicht allein der Widerstand eintheils zu groß, andertheils zu veränderlich, sondern auch über die elektromotorischen Kräfte der berührten Hautstellen erhält man ganz trügliche Auskunft. In der That es genügt, wenn die Bäusche zwei Stellen dauernd angelegt sind, den einen oder den anderen mehr oder weniger anzudrücken, um sogleich bedeutende Ablenkungen der Nadel, bald im einen, bald im anderen Sinne hervorzurufen. Es scheint, daß diese Ablenkungen nicht allein davon herrühren, daß der Bausch mit neuen Punkten der Haut in Berührung kommt, sondern auch das festere Andrücken des bereits dicht anliegenden Bausches erweist sich in der angegebenen Art wirksam. Vielleicht würde man mit Schwämmen glücklicher sein, die man an dicke baumwollene Schnüre befestigen könnte, wie man sich ihrer bedient, um die Fenstervorhänge seitlich einzureißen.

Wir werden aus diesen Gründen von dem Anlegen der Bäusche

an den Körper in der Folge fast gar keinen Gebrauch machen, sondern uns, so eng auch die Grenzen sind, die wir uns dadurch stecken, auf solche Anordnungen einschränken, wo die Zuleitungsflüssigkeit die zu berührenden Stellen der Körperoberfläche frei bespült. Die Folge wird lehren, daß dies noch auf andere Weise verwirklicht werden kann, als durch das Eintauchen der Körpertheile in die Flüssigkeit und demnach die Zahl der zu untersuchenden Fälle sich doch um etwas größer herausstellt, als man beim ersten Anblick glauben möchte.

Was die hier in Rede stehende Frage betrifft, die wir mittelst der Bäusche zu erledigen gedachten, so versteht es sich nach dem Vorhergehenden von selbst, daß die so erhaltene Antwort durch die dem Gebrauch der Bäusche anhaftenden Uebelstände gleichfalls verfälscht sein wird. Legt man die Bäusche ungleichzeitig dem Hand- oder Fußrücken, dem Arm, dem Ober- oder Unterschenkel an, so beobachtet man meist nur sehr schwache, stets, sowohl nach Größe als nach Richtung, höchst unregelmäßige Wirkungen. Es ist dabei gleichviel, ob die beiden berührten Stellen einer und derselben Gliedmaße angehören, in welchem Falle sie nicht leicht in gleicher Höhe daran angebracht werden können, oder ob sie in gleicher oder ungleicher Höhe an beiden Armen oder beiden Beinen gewählt sind. Man möchte also schließen, daß diese Hautgegenden unfähig sind, die Ströme wegen ungleichzeitiger Benetzung zu zeigen. Allein dieser Schluss, auf diese Thatsache gegründet, würde voreilig sein. Man erhält nämlich auch oft nicht viel deutlichere und regelmässige Ausschläge, wenn man die Bäusche der Handsohle anlegt, die jener Wirkungen gewiß fähig ist.

Nichtsdestoweniger scheint es, nach den Versuchen am Unterarm und dem Handrücken, doch gewiß zu sein, daß zwischen der eigenthümlich beschaffenen Haut der Hand- und der Fußsohle und der übrigen Haut ein Unterschied zu Gunsten der ersteren bestehe hinsichtlich ihrer Befähigung zum Hervorbringen der Ungleichzeitigkeitsströme.

Ich habe die Erscheinungsweise der Ungleichzeitigkeitsströme noch in anderen Flüssigkeiten ermittelt, als in der gesättigten Kochsalzlösung, deren wir uns für gewöhnlich bedienen. Alle übrigen Theile der Vorrichtungen blieben dabei unverändert, nur daß, wie natürlich, die Zuleitungsplatten für jede Flüssigkeit eine neue Bekleidung erhielten und in der Flüssigkeit mit Hülfe eines neuen damit getränkten Schließungsbausches abgeglichen wurden. Zuerst versuchte ich Brunnenwasser. Die Ungleichzeitigkeitsströme erschienen merkwürdigerweise darin gerade wie in der Kochsalzlösung, mit dem einzigen aber wohl ausgeprägten Unterschied, daß die beiden Elbogen sie in Brunnenwasser ebensowenig regelmässig zeigten als die Handrücken oder der Unterarm. Die Stärke

der Ströme war größer als in der Kochsalzlösung. Unter der Voraussetzung, die man beim ersten Blick für richtig halten sollte, daß der Widerstand des Kreises bei Anwendung von Brunnenwasser als Zuleitungsflüssigkeit größer sei als bei der von Kochsalzlösung, würde daraus zu schliessen sein, daß den Ungleichzeitigsströmen im Brunnenwasser eine größere elektromotorische Kraft zu Grunde liegt, als in der Kochsalzlösung. Indessen wäre es möglich, daß, wegen des langsameren Eindringens der Kochsalzlösung in die Oberhaut, der Widerstand des Kreises bei Anwendung von Brunnenwasser in den ersten Augenblicken doch kleiner ausfiele als bei der von Kochsalzlösung (Vergl. oben S. 210).

In der verdünnten Schwefelsäure (S. oben ebendas.) stellten sich die Erscheinungen ganz anders dar. Es zeigten sich allerdings, beim ungleichzeitigen Eintauchen der Finger, Ströme von ansehnlicher Stärke. Allein diese Ströme hatten die umgekehrte Richtung von der in der Kochsalzlösung und dem Brunnenwasser. Der zuletzt eingetauchte Theil, Finger, Handsohle, ganze Hand, verhielt sich nicht negativ gegen den erstbenetzten, sondern positiv. Wenigstens war dies der Fall am Anfang jeder Versuchsreihe, deren ich zu verschiedenen Zeiten mehrere anstellte. Hatte ich aber einige Zeit lang mit den Händen in der Säure gearbeitet, d. h. sie häufig eingetaucht, mit Wasser gewaschen, getrocknet und wieder eingetaucht, so wurden die Wirkungen unregelmäßig. Manchmal zeigte sich der Erfolg, wie er eben angegeben wurde. Manchmal der umgekehrte, d. h. derselbe wie in Kochsalzlösung. Endlich manchmal auch hatte der Strom beim ungleichzeitigen Eintauchen die nämliche Richtung im Multiplicatorkreise, gleichviel ob auf der rechten oder auf der linken Seite zuletzt eingetaucht wurde. Ueber das Verhalten von Elbogen und Handrücken bin ich nicht so klar geworden, daß ich ein Urtheil darüber abgeben möchte.

Endlich versuchte ich auch eine alkalische Flüssigkeit. Ich bereitete eine Lösung von Kali causticum siccum in Regenwasser von 1.026 Dichte bei 15° 5 C. Eine alkalimetrische Probe ergab einen Gehalt an Kalihydrat von ungefähr drittelhalb Gewichtsprocenten. Eine stärkere Lösung läßt sich nicht anwenden. Schon diese bringt bei längerer Einwirkung lästige Zufälle hervor. Die Haut der Hände geräth in den runzlig aufgequollenen Zustand, worin sie sich an den Händen der Wäscherinnen nach langer Arbeit befindet. Nach dem Trocknen wird sie spröde und rissig und schuppt sich nach ein paar Tagen ab wie nach einem acuten Exanthem. Zartere Hautstellen aber röthen sich sogar unter lebhaftem Schmerz, schwellen auf und sind noch am anderen Tage empfindlich.

Mit den Zuleitungsplatten in der Kalilauge unmittelbar hat es mir

nicht gelingen wollen, die Vorrichtung hinlänglich gleichartig zu erhalten. Um sie vor dem Zutritt von Kohlensäure zu schützen, sperrte ich die feuchte Kammer (S. oben Bd. I. S. 219), in die ich sie behufs der Abgleichung gestellt hatte, gleichfalls mit Kalilauge ab. Wenn die Vorrichtung so einige Zeit gestanden hatte, fand ich sie in leidlich brauchbarem Zustande vor. Aber kaum hatte ich angefangen, damit zu arbeiten, so entwickelten sich ungeheure Ungleichartigkeiten, so daß die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom auf 60—70° beständiger Ablenkung gehalten wurde. Unstreitig beruhten diese Ungleichartigkeiten darauf, daß die Kalilauge auf beiden Seiten in verschiedenem Maße Kohlensäure aufgenommen hatte. So gelang es auch FECHNER nicht, bei Messungen der Stromstärke einer Platineisenkette mit Kalilauge als flüssigem Leiter übereinstimmende Werthe zu beobachten.¹ Doch habe ich mich nicht unmittelbar davon überzeugt, daß sich mit Platinelektroden, kaustischer und kohlenaurer Kalilösung Ströme von solcher Stärke hervorbringen lassen.

Wie dem auch sei, diese Strömungen fanden sich, gemäß dem oben Bd. I. S. 135 erwähnten FECHNER'schen Grundsätze, so ziemlich beseitigt, als ich, anstatt die Zuleitungsgefäße selber mit der Kalilauge zu füllen, und so diese die Platinenden des Multiplicators unmittelbar bespühlen zu lassen, vielmehr in den Zuleitungsgefäßen wie gewöhnlich die Kochsalzlösung beibehielt, und mit der Kalilauge nur ein Paar Hülfsgefäße anfüllte, die mit jenen verbunden wurden durch heberförmige, zweimal rechtwinklig gebogene Röhren voll Kochsalzlösung. Die Röhren waren an beiden Enden durch Stopfen aus Fließpapier verschlossen. Der Stopfen auf Seiten der Kalilauge war, um die Verwechslung der Enden der Röhren zu verhüten, aus veilchenblauem Lackmuspapier gewickelt. Der Inhalt der Röhren und die Stopfen wurden erneuert, sobald das innere Ende dieses Stopfens sich blau gefärbt hatte.

Das Ergebniß der Versuche war kein ganz sicheres. Mit den Fingern nämlich gelang es mir unter diesen Umständen durchaus nicht, regelmäßige Ungleichzeitigkeitsströme zu beobachten. Ströme scheinbar wegen ungleichzeitigen Eintauchens erhielt ich zwar stets; aber bald zeigte sich der jüngstbenetzte Finger positiv, bald negativ; bald waren die Ströme stark, bald schwach. Merkwürdigerweise war der Erfolg beim ungleichzeitigen Eintauchen der beiden Handsohlen und der beiden Hände regelmäßiger, und zwar derselbe als in der verdünnten Säure, umgekehrt wie in Kochsalzlösung und Brunnenwasser, d. h. die jüngstbenetzte Handsohle oder Hand erwies sich positiv. Von den beiden

¹ POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVIII. S. 268.
II. 2.

Handrücken zeigte sich auch der zuletzt eingetauchte ziemlich regelmässig positiv; vielleicht nur durch einen Zufall, da ich diese, wie man sich leicht denken kann, sehr widerwärtigen Versuche eben nicht oft wiederholt habe.

Natürlich war es, wenn ich nicht fortwährend neue grosse Massen kaustischer Lauge bereiten wollte, unmöglich zu verhindern, dass im Laufe der Versuche die Kalilösung mehr und mehr kohlenauer wurde. Indessen glaube ich nicht, dass dadurch das Ergebniss wesentlich verändert worden ist. Ich hatte später Gelegenheit,¹ die Ungleichzeitigkeitsströme an den Fingern auch in einer gesättigten Lösung von essigsauerm Natron zu untersuchen. Das Ergebniss war, wie in der Kalilösung, eine vollkommene Unregelmässigkeit der Wirkungen.

Ich habe nicht unterlassen, auch die Finger der oben S. 211. 212 erwähnten Leichenhände in der gesättigten Kochsalzlösung auf die Ungleichzeitigkeitsströme zu prüfen. Dieser Versuch ging vielmehr an beiden Händen dem daselbst beschriebenen voraus. An der ersten Hand zeigten sich die Ungleichzeitigkeitsströme sehr schwach in der umgekehrten Richtung wie am Lebenden in derselben Flüssigkeit, d. h. der jüngstbenetzte Finger verhielt sich positiv. An der zweiten Hand dagegen hatten die Ströme die richtige Richtung, waren aber auch sehr schwach. Das wahre Verhalten bleibt demnach vorläufig unbekannt.

(n) Die Ungleichzeitigkeitsströme sind nicht blos Ströme wegen verschiedener Temperatur der eingetauchten Körpertheile.

Bei dem ersten Anblick der Ungleichzeitigkeitsströme am menschlichen Körper wird man sich leicht verleitet fühlen zu der Frage, ob nicht diese Ströme ganz einfach Ströme wegen ungleicher Temperatur der beiden benetzten Hautstellen seien. In der That wird unter den gewöhnlichen Umständen die Temperatur des zuletzt eingetauchten Fingers augenblicklich eine höhere sein als die des zuerst eingetauchten, insofern dieser durch die Flüssigkeit bereits abgekühlt ist, jener es erst wird; und auch die Richtung der Ungleichzeitigkeitsströme stimmt ziemlich gut mit dem, was wir von der Richtung der Thermoströme innerhalb der Grenzen der Temperatur wissen, worin sich unsere Versuche über die Ungleichzeitigkeitsströme bisher bewegt haben.

Die Temperatur der Oberfläche der Finger genau zu bestimmen, ist zwar sehr schwer, wenn nicht unmöglich. Ich glaube indessen nicht sehr zu irren, wenn ich sie bei mir, bei einer Lufttemperatur von etwa 15° C., auf etwa 28—30° C. veranschlage. Diese Schätzung be-

¹ S. unten, No. 7.

ruht darauf, dafs, wenn ich den Finger in Wasser von dieser Temperatur tauche und darin ruhig halte, ich durchaus kein Gefühl weder von Wärme noch von Kälte, oder überhaupt von der Gegenwart der Flüssigkeit habe. Die zeitige Lufttemperatur gebe ich mit an, weil ich bei 10° Lufttemperatur Wasser von 30° allerdings schon merklich warm empfinde.

Die Zuleitungsflüssigkeit theilte in unseren bisherigen Versuchen die mittlere Lufttemperatur von etwa 15°. Ein Finger bei 30° verhält sich, wie man sich erinnert, negativ gegen einen solchen bei 15°. Negativ aber, haben wir gefunden, verhält sich gerade auch der zuletzt eingetauchte, oberflächlich also noch 30° warme Finger, gegen den schon seit längerer Zeit eingetauchten, oberflächlich auf 15° erkälteten Finger.

So weit paßt die vorgeschlagene Erklärung auf die Erscheinungen. Auch würde damit gut der Umstand stimmen, dafs man die Ungleichzeitigkeitsströme viele Male nacheinander an denselben Fingern beobachten kann, wie auch, dafs sie in Wasser erscheinen, dem man doch die Fähigkeit nicht zuschreiben sollte, die Haut so zu verändern, dafs sie sich gegen noch unbenetzte Haut elektromotorisch ungleichartig verhält. Nichtsdestoweniger deckt eine nähere Betrachtung verschiedene Gründe auf, weshalb der Unterschied der Temperatur durchaus nicht die einzige Ursache der Ungleichzeitigkeitsströme sein kann.

Zuerst ist zu bemerken, dafs die Ungleichzeitigkeitsströme viel zu stark sind, als dafs man ihren Quell in dem vorhandenen Temperaturunterschied suchen dürfte. Ein Finger bei 30° gleichzeitig eingetaucht mit einem Finger bei 15° giebt einen Ausschlag von höchstens 20—30°. Hingegen die Ungleichzeitigkeitsströme führen nicht selten die Nadel an die Hemmung.

Zweitens ist, nach der hier in Rede stehenden Deutung der Ungleichzeitigkeitsströme, nicht zu begreifen, weshalb diese Ströme sollten in der verdünnten Schwefelsäure die umgekehrte Richtung haben von der in der Kochsalzlösung und dem Brunnenwasser, da doch die Thermoströme in allen drei Flüssigkeiten das nämliche Gesetz befolgen (S. oben S. 210).

Drittens müßten, wenn jene Deutung die richtige wäre, die Ungleichzeitigkeitsströme vermifst werden, oder sehr viel schwächer erscheinen, wenn man der Zuleitungsflüssigkeit die Temperatur ertheilt, welche, der zeitigen Lufttemperatur gemäß, der Oberfläche der Finger zukommt; nach dem oben angegebenen Merkmal also diejenige, bei welcher der eingetauchte Finger nicht Kälte, nicht Wärme empfindet. Dies trifft nicht zu. Vielmehr traten, wie ich mich ausdrücklich über-

zeugt habe, die Ungleichzeitigkeitsströme in der Kochsalzlösung sowohl als dem Brunnenwasser auch unter diesen Umständen in gewohnter Weise auf. In der Kalillauge wurden sie nicht regelmässiger, nur etwas stärker schienen sie mir zu sein. In der verdünnten Schwefelsäure ist der Versuch nicht angestellt.

Viertens, wenn die Ungleichzeitigkeitsströme nur auf dem Temperaturunterschied beruhten, so wäre nicht einzusehen, weshalb nicht alle Hautstellen in gleicher Weise befähigt sein sollten, sie zu zeigen, da doch die Bedingung einer über die der Zuleitungsflüssigkeit erhöhten Temperatur für alle in gleichem Mafse stattfindet. Man könnte aber fragen, ob nicht vielleicht die Hautstellen, welche die Ungleichzeitigkeitsströme versagen, z. B. die Handrücken, auch die Ströme wegen ungleicher Temperatur vermissen lassen. Dies ist jedoch, wie ich mich ausdrücklich überzeugt habe, nicht der Fall. Ich ertheilte dem einen Handrücken in gesättigter Kochsalzlösung die Temperaturen von 0° und 45° , und prüfte ihn gegen den anderen, auf 15° gehaltenen, in den mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllten Handgefässen. Beidemale wurde, wie es nach den Versuchen an den Fingern sein mußte, der erstere stark positiv gegen den letzteren gefunden.

Diese Gründe genügen wohl, um die fragliche Ansicht zu widerlegen. Der Temperaturunterschied ist die alleinige Ursache der Ungleichzeitigkeitsströme nicht. Ich sage die alleinige Ursache, weil eben so wenig zu bezweifeln ist, dafs zu der noch unbekanntem Ursache, welche den Ungleichzeitigkeitsströmen wirklich zu Grunde liegt, auch noch der Temperaturunterschied hinzutritt. Dies zeigt sich deutlich darin, dafs die Ungleichzeitigkeitsströme sehr an Stärke zunehmen, wenn man der Zuleitungsflüssigkeit die Temperatur von 0° ertheilt. Sie nehmen nicht minder an Stärke zu, wenn man diese Flüssigkeit 45° warm nimmt. In beiden Fällen muß sich, wie man leicht versteht, der zuerst eingetauchte Finger wegen des Temperaturunterschiedes positiv verhalten gegen den zuletzt eingetauchten. Im zweiten Falle kommt natürlich noch hinzu, dafs der Widerstand der Oberhaut vermindert wird. Doch ist leicht zu beweisen, dafs dies nicht allein der Grund ist, weshalb die Ungleichzeitigkeitsströme in der warmen Zuleitungsflüssigkeit stärker erscheinen. Dieser Beweis liegt darin, dafs die Ungleichzeitigkeitsströme in der verdünnten Schwefelsäure ihre Richtung umkehren, also mit denen in der Salzlösung gleichsinnig werden, wenn man der verdünnten Säure die Temperatur von 45° C. ertheilt. Dasselbe ist der Fall, wenn man der Säure die Temperatur von 0° , oder noch besser von einigen Graden unter Null, ertheilt. Diese Erscheinung der Umkehr der Ungleichzeitigkeitsströme in der heifsen und kalten Säure kann nicht anders

erklärt werden, als durch die Annahme, daß die Thermoströme, welche die wirklichen Ungleichzeitigkeitsströme begleiten, sie unter diesen Umständen überwiegen.

(m) Fernere Betrachtungen über die Ungleichzeitigkeitsströme.

Nachdem jetzt der Verdacht beseitigt ist, wonach die Ungleichzeitigkeitsströme am menschlichen Körper nur von dem Temperaturunterschied herrühren sollten, der sich zufällig in den Versuch eingemischt findet, wird es angemessen sein, uns zu erkundigen, wie weit denn diese Ströme mit den am Frosch übereinkommen, durch die wir zu ihrer Entdeckung geführt worden sind. Diese hatten wir, wie man sich erinnert, auf folgende Grundthatsache zurückgeführt: Die äußere Hautlamelle der nackten Amphibien nach CZERMAK ist der Sitz einer von außen nach innen gerichteten elektrischen Triebkraft, welche in der Berührung mit den verschiedenen von uns angewandten Zuleitungsflüssigkeiten, mit Ausnahme des Brunnenwassers, zu Grunde geht (S. oben S. 9 ff).

Beim ersten Blick kann es nun wirklich den Anschein haben, als ob beide Erscheinungen, die am Menschen und die am Frosch, von einerlei Art sein müßten. Am Frosch, wie am Menschen, verhielt sich die jüngstbenetzte Stelle negativ gegen die erstbenetzte; und wenn man sich erinnert, daß wir oben S. 19 fast nicht umhin konnten, uns zu fragen, ob nicht eine Beziehung obwalte zwischen der elektromotorischen Kraft, die die Ungleichzeitigkeitsströme an der Haut der nackten Amphibien bedingt, und dem in dieser Haut stattfindenden ausgezeichneten Absonderungsvorgang, so ist es schwer, jetzt nicht etwas Bedeutsames in dem Umstand zu sehen, daß am menschlichen Körper auch gerade die Hand- und Fußsohle zur Erzeugung solcher Ströme besonders befähigt erscheinen, zwei Hautstellen, an denen die Schweifsdrüsen in ungewöhnlich großer Anzahl verbreitet sind.¹

Indessen erweist sich bei näherer Betrachtung dieser Anschein doch als trügerisch, und die Aehnlichkeit zwischen den Ungleichzeitigkeitsströmen am Frosch und am Menschen als eine mehr äußerliche.

Ein erster Unterschied, der aber noch nicht zu diesem Ausspruch berechtigen würde, besteht darin, daß beim Frosch die Ungleichzeitigkeitsströme an einer und derselben Stelle nur einmal beobachtet werden können, während beim Menschen dies viele Male nach einander in fast gleicher Art von statten geht. Dieser Unterschied ist genau genommen

¹ S. KRAUSE, in RUD. WAGNER'S Handwörterbuch der Physiologie u. s. w. Artikel „Haut“. Bd. II. Braunschweig 1844. S. 131.*

nur ein gradweiser. Denn auch am Frosch kann man die Ungleichzeitigkeitsströme mehrmals von derselben Stelle erhalten, wenn man nur das sonst unversehrte Thier in Wasser setzt und ihm Zeit gönnt, den normalen Zustand seiner Haut wieder zu erlangen (S. oben S. 20). Der Unterschied würde also im Grunde bloß darauf hinauslaufen, daß die menschliche Haut schneller als die des Frosches ihren normalen Zustand wieder erlangte, ganz in Uebereinstimmung mit dem, was man von der Lebhaftigkeit der Ernährungsvorgänge in warmblütigen Thieren im Vergleich zu der in kaltblütigen weiß, wie auch mit dem Umstand, daß die für Flüssigkeiten undurchgängige menschliche Haut durch die ätzenden Zuleitungsflüssigkeiten nicht so tief angegriffen werden kann, als die feuchte leicht durchdringliche Froschhaut, deren Ungleichzeitigkeitsströme denn auch viel stärker erscheinen, als die der menschlichen Haut.

Ein anderer Unterschied, der auch noch nicht als maßgebend erscheint, ist der, daß die menschliche Haut in Brunnenwasser die Ungleichzeitigkeitsströme zeigt, während die Froschhaut sie bei Anwendung dieser Zuleitungsflüssigkeit vermissen läßt. Denn das Wasser könnte gewissermaßen für die Haut des Menschen ein Aetzmittel darstellen, wie es dies ja z. B. für Muskelfleisch thut, während die Froschhaut zweifellos einen solchen Bau hat, daß sie vom Wasser keine schädliche Einwirkung erfährt.

Der Umstand aber, der eine strenge Grenze zieht zwischen den Ungleichzeitigkeitsströmen am Frosch und denen am Menschen, ist folgender. Am Frosch behalten diese Ströme einerlei Richtung, gleichviel welcher Art die angewandte Zuleitungsflüssigkeit sei, ob sauer oder alkalisch oder eine gesättigte Lösung eines neutralen Salzes. Dies war die Thatsache, die uns zu der Annahme zwang, daß die elektrische Triebkraft, die die Ungleichzeitigkeitsströme erzeugt, nicht zu suchen sei an der Grenze der Haut und der Zuleitungsflüssigkeit, nicht erst gesetzt werde durch die Berührung der Haut mit der Flüssigkeit, sondern in der Haut vorbestehe, und durch diese Berührung vielmehr vernichtet werde. Anders an der menschlichen Haut. Hier haben die Ströme in der Schwefelsäure, um von der Kalilauge zu schweigen, die umgekehrte Richtung von der in den übrigen Flüssigkeiten. Es kann also hier, so scheint es, nicht die Rede sein von der Vorstellung, die wir uns von dem Sitz der Triebkraft an der Haut der nackten Amphibien gemacht haben. Die elektromotorische Kraft, welche die Ungleichzeitigkeitsströme an der menschlichen Haut hervorbringt, kann nicht als darin vorbestehend gedacht werden. Sondern sie rührt mehr oder weniger unmittelbar von der Benetzung mit der Zuleitungsflüssigkeit her.

Es würden also diese Ungleichzeitigsströme, statt denen der Froschhaut, vielmehr denen der Metalle zu vergleichen sein. Um sie aber, von diesem Gesichtspunkt aus, einer physikalischen Zergliederung zu unterwerfen, erscheint es jedenfalls nothwendig, zuvor noch Kenntnifs zu nehmen von einer anderen Reihe elektromotorischer Erscheinungen der Haut, welche zu den Ungleichzeitigsströmen unzweifelhaft die engste Beziehung haben. Von diesen handelt die folgende Nummer. Hier mag nur noch bemerkt werden, dafs sich uns in den Ungleichzeitigsströmen ein neuer Grund zu erkennen gegeben hat für die unregelmäßigen flüchtigen Wirkungen, welche bei dem scheinbar gleichzeitigen Benetzen symmetrischer Hautstellen aufzutreten pflegen; indem man natürlich annehmen kann, dafs die Bedingung der Gleichzeitigkeit des Eintauchens sich niemals ganz genau erfüllt finden werde (S. oben S. 205).

5. Von Strömen bedingt durch vorgebildete elektromotorische Ugleichartigkeiten der menschlichen Hautoberfläche.

Wir haben uns nun unterrichtet, wie sich symmetrisch am Körper gelegene Hautstellen unter verschiedenen Umständen elektromotorisch zu einander verhalten. Auf symmetrische Hautstellen haben wir uns bisher deshalb beschränkt, weil wir noch nicht wissen können, ob nicht bei Verbindung asymmetrischer Stellen sich der Muskelstrom der Glieder in das Ergebnifs einmischt, und auch weil die Möglichkeit vorhanden ist, dafs sich am Menschen, wie am Frosch, asymmetrische Hautstellen an und für sich elektromotorisch ungleichartig verhalten. Es zeigt sich nun in der That, dafs man fast immer starke und ihrer Richtung sowohl als ihrer Gröfse nach beständige Ströme erhält, wenn man verschiedene Körpertheile durch den Multiplicator in leitende Verbindung bringt. Ich beschreibe auch hier die Erscheinungen zuerst, wie sie sich bei Anwendung von Kochsalzlösung als Zuleitungsflüssigkeit gestalten.

(i) Versuche mit gesättigter Kochsalzlösung als Zuleitungsflüssigkeit.

Was ich über das elektromotorische Verhalten verschiedener Finger gegeneinander bisjetzt ermitteln konnte, findet sich oben S. 205 bereits angegeben.

Berührt man mit der Sohle der einen Hand die Oberfläche der Kochsalzlösung in dem einen Handgefäfs, mit dem Rücken der anderen Hand die Oberfläche der Kochsalzlösung in dem anderen Handgefäfs,

so fliegt die Nadel an die Hemmung, indem sie die Handsohle als negativ anzeigt gegen den Handrücken. Es ist dabei für die Richtung des Stromes gleichgültig, ob man die Lösung zuerst mit der Sohle oder mit dem Rücken berührt. Die Wirkung ist beständig, d. h. sie hält abgesehen von der Schwächung durch die Polarisation so lange an, als man Lust hat sie zu beobachten.

Sie ist übrigens so entschieden, dafs man sie auch leicht und unzweifelhaft mittelst der Bäusche nachweisen kann. Man wendet dazu die oben S. 222 beschriebene Vorrichtung an, indem man die beiden Hälften derselben einander gegenüberstellt, die eine Hand mit ihrer einen Fläche auf den einen Bausch, und den anderen Bausch auf die andere Fläche derselben Hand legt. Stets geht der Strom in der Hand von der Handsohle zum Handrücken. Diese Erscheinung habe ich nicht allein an mir selber, sondern auch an meinem Freunde, Herrn G. KIRCHHOFF beobachtet. Ich habe denselben Versuch an den oben S. 211. 212. 226 bereits erwähnten Leichenhänden angestellt. An der ersten Hand zeigte sich der Strom nicht; wenn eine Spur da war, hatte sie die umgekehrte Richtung von dem Strom am Lebenden. An der zweiten Hand, die einer viel älteren Leiche angehörte, fand ich dagegen den Strom in der richtigen Richtung und in ziemlicher Stärke vor. Es ist bemerkenswerth, dafs die erste Hand auch die Ungleichzeitigkeitsströme vermissen liefs, die zweite hingegen sie zeigte.

Man kann den fraglichen Versuch noch dahin abändern, dafs man auf der einen Seite die ganze Hand eintaucht, auf der anderen nur die Oberfläche der Kochsalzlösung mit dem Handrücken oder mit der Handsohle berührt. Die ganze Hand verhält sich negativ gegen den Handrücken, positiv gegen die Handsohle. Oder man kann auch beide Hände ganz eintauchen, nachdem man die Sohle der einen mit Klebäther bestrichen hat. Diese verhält sich positiv gegen die andere, jedoch schwächer, als wenn man wirklich nur den Handrücken eintaucht. Es scheint danach, dafs die dünne Schicht Klebäther doch nicht vollkommen isolirt oder nicht vollkommen zusammenhängend herzustellen ist.

Nicht blos der Handrücken ist positiv gegen die Handsohle. Mittelst der Bäusche findet man, dafs auch die verschiedenen Punkte des Unterarms sich positiv dawider verhalten. Taucht man in das eine Handgefäfs den Elbogen des einen Armes, und berührt man die Oberfläche der Kochsalzlösung in dem anderen Handgefäfs mit der Handsohle des anderen Armes, so entsteht, unabhängig von der Reihenfolge des Eintauchens, ein überaus starker Strom in der Richtung von der Handsohle zum Elbogen im Körper, der also aufsteigend im Unterarm ist. Der Versuch läfst sich zur Noth auch mit Elbogen und Handsohle des

nämlichen Armes anstellen, wenn man das Handgefäß für den Elbogen etwas tiefer stellt als das für die Handsohle.

Es ist aber nicht allein die Handsohle, die sich negativ gegen den Elbogen verhält. Auch der Handrücken thut dies gegen den Elbogen derselben sowohl als gegen den der anderen Seite. Doch ist der Strom dabei merklich schwächer; ob wegen größeren Widerstandes oder geringerer elektromotorischer Kraft, weiß ich noch nicht mit Bestimmtheit zu sagen. Auch die ganze Hand verhält sich demgemäß negativ gegen den Elbogen und zwar so stark, daß die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom fast beständig an die Hemmung gelehnt bleibt. Der Strom hat demnach eine Stärke ungefähr wie der eines mit künstlichem Querschnitt aufgelegten Muskels (S. oben Abth. I. S. 492), und schiebt sich sehr gut zur Beobachtung am Multiplicator für den Muskelstrom. Man kann auch in das eine Handgefäß den Elbogen, in das eine der Fingergefäße einen Finger eintauchen. Auch so erhält man in dem Arm einen starken aufsteigenden Strom von nahe beständiger Kraft.

Natürlich ist ein solcher Strom im höchsten Grade geeignet, unsere Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Gleichviel welche Bewandniß es mit dem Strom zwischen Handsohle und Handrücken haben möge, der sich nicht wohl dieser Auffassung fügt, was liegt näher als der Gedanke, daß der aufsteigende Strom im Unterarm ganz einfach der Muskelstrom ist? Nichts dringenderes können wir danach zu thun haben, als den Versuch zu machen, die Gegenwart eines solchen Stromes auch im Oberarme und dem ganzen Arm, sodann im Bein zu ermitteln.

Hierzu ist es nöthig, den einen Ableitungspunkt des Stromes an den Rumpf selbst zu verlegen, und es tritt somit eine große experimentelle Schwierigkeit ein, da mit Bäuschen, die man dem Körper anlegt, nach dem oben S. 222 Gesagten hier nun einmal nichts anzufangen ist. Auf folgende Art ist es mir, nach mancherlei vergeblichen Bemühungen, zuletzt geglückt, diese Schwierigkeit zu überwinden.

Aus einer starken Platte geschwefelter Guttapercha verfertigte ich ein vierseitig prismatisches Gefäß von 75^{mm} Länge, 35^{mm} Breite und 75^{mm} Höhe. Das Gefäß hatte nur drei Seitenwände. Es fehlte ihm nämlich die eine lange Seitenwand. Diese sollte durch den menschlichen Körper selbst gebildet werden, indem das seitlich offene Gefäß ihm mit seinen drei Rändern, wovon zwei senkrecht, und einer, der untere, waagrecht, fest angedrückt würde. Man übersieht nun bereits den Plan des Versuches. In das Gefäß sollte Kochsalzlösung gegossen werden, welche die Haut innerhalb des Gefäßes gerade so frei bespühlte, als ob diese darin eingetaucht wäre. Von der Lösung aus konnte alsdann die Ableitung des Stromes auf verschiedene Weise ohne Schwierigkeit geschehen.

Das Mißliche war die Herstellung des Verschlusses. Um diesen zu erzielen, waren die drei freien Ränder des Gefäßes, die dem Körper angelegt werden sollten, nicht scharf abgeschnitten, sondern in 15^{mm} Breite nach außen umgebogen, so daß sie eine ausgedehnte Berührungsfläche darboten. Als Ort, um das Gefäß daselbst anzubringen, wählte ich die Mitte der Brust. Der untere Rand des Gefäßes kam etwa in der Höhe des Schwertfortsatzes des Brustbeins zu liegen. Es hielt nicht schwer, den Rändern des Gefäßes eine solche Gestalt zu geben, daß sie sich möglichst genau den Körperformen anschlossen. Dazu war nur nöthig, diese Ränder in heißem Wasser zu erweichen, sie der Brust an der Stelle, die sie später einnehmen sollten, fest anzudrücken, und in dieser Lage erkalten zu lassen. Die Ränder wurden nun mit Oel bestrichen und das Gefäß mittelst eines starken Gurtes an den Körper geschnallt. Es zeigte sich, daß, wenn nicht durch Nachlassen des Gurtes, Gleiten des Gefäßes, heftige Bewegungen des Rumpfes u. d. m. die Güte des Verschlusses beeinträchtigt wurde, das Gefäß so dicht hielt, daß kein Tropfen Flüssigkeit daraus verloren ging.

Das Füllen des Gefäßes war natürlich leicht zu bewerkstelligen. Schwieriger war das Entleeren ohne Verschüttung eines Theils des Inhaltes ausführbar, namentlich da ich an mir selber, großentheils ohne Gehülfen, diese Versuche anzustellen genöthigt war. Ich brachte daher in einer der beiden vorderen Ecken des Gefäßes ein bis auf den Boden reichendes Rohr aus geschwefeltem Kautschuk an, welches lang genug war, um außerhalb des Gefäßes, wo es mit der Röhre eines kleinen Glastrichters verbunden war, über den Boden des Gefäßes herabzuhängen. Sollte das Gefäß entleert werden, so sog ich das Rohr voll Flüssigkeit, wobei der kleine Glastrichter als Mundstück diente, presste es an seinem mit dem Trichter verbundenen Ende mit den Fingern zusammen, bog es im gefüllten Zustande über, und hatte so einen Heber hergestellt, der das Gefäß bis auf wenige Tropfen schnell und sicher entleerte.

Ich werde dies Gefäß in der Folge das Brustgefäß nennen. Um mittelst desselben z. B. den Strom zwischen Hand und Brust zu untersuchen, wurde folgendermaßen verfahren. Es wurde das eine der gewöhnlichen Zuleitungsgefäße auf die oben S. 222 beschriebene Art mit einem Bausch versehen und durch den Bausch zuerst mit dem einen Handgefäß behufs der Abgleichung verbunden. Dann wurde das Brustgefäß voll Lösung gegossen, und die Hand in das Handgefäß getaucht. Endlich wurde das Zuleitungsgefäß mit seinem Bausch dem Brustgefäß gegenüber passend aufgestellt, und durch den Bausch die Verbindung beider Gefäße bewerkstelligt. Nach Beobachtung des sich etwa kundgebenden Stromes wurde der Bausch des Zuleitungsgefäßes wieder in

das Handgefäß hincingehängt, um sich der Gegenwart von Ladungen zu versichern und ihnen Gelegenheit zur Abgleichung zu geben.

Das Ergebnifs der Versuche war, dafs, gleichviel ob nur die Handsohle oder nur der Handrücken die Oberfläche der Lösung im Handgefäß berührten, oder ob die ganze Hand in die Lösung getaucht wurde, stets ein überaus starker aufsteigender Strom dauernd im Arme gegenwärtig war. Auch hier gab indessen der Handrücken einen schwächeren Strom als die Handsohle, vollends die ganze Hand. Eine ungemeine Heftigkeit erlangte der Strom, als ich beide Hände in beide Handgefäße tauchte, deren jedes durch ein Paar Platinplatten, gleich denen meiner Zuleitungsgefäße, mit dem einen Multiplicatorende verbunden war, während das andere Multiplicatorende mit dem Brustgefäß zusammenhing.

Um zu erfahren, ob auch der Oberarm, gleich dem Unterarm, sich als den Sitz eines aufsteigenden Stromes erweisen würde, tauchte ich, statt der Hand, den Ellenbogen in das eine Handgefäß, während die Ableitung am Rumpfe dieselbe blieb. Ich gelangte jedoch zu keinem recht befriedigenden Ergebnifs. Zu Anfang des Versuches war der Strom wirklich mehrmals aufsteigend im Oberarm. Häufig aber war er absteigend, und, wenn er auch anfänglich aufsteigend gewesen war, schlug er zuletzt doch fast in allen Fällen in die absteigende Richtung um.

Nun wendete ich mich zu der Erforschung ähnlicher Ströme am Bein. Zuerst suchte ich auch hier das elektromotorische Verhalten zwischen Sohle und Fußrücken zu ermitteln. Da der Fußrücken nicht eingetaucht werden kann, mußte ich mich mit den Bäuschen behelfen, die auf die oben S. 222 beschriebene Art angewendet wurden; oder auch es wurde die Oberfläche der Lösung in dem einen Fußgefäß mit der Sohle des einen Fußes berührt, und der eine Bausch dem Rücken desselben oder des anderen Fußes angelegt. Die Bäusche müssen bei diesen Versuchen eine nichtleitende Handhabe, etwa aus Guttapercha, besitzen, damit nicht der Strom zwischen Hand und Fuß, von dem später die Rede sein wird, sich in das Ergebnifs eindränge.

Stets zeigte sich die Sohle stark negativ gegen den Fußrücken, d. h. es ging ein Strom von der Sohle im Fuß nach dem Fußrücken, gerade wie in der Hand bei der entsprechenden Anordnung ein Strom von der Handsohle zum Handrücken ging. Legte ich den einen Bausch, statt dem Fußrücken, dem Unterschenkel, oder dem Knie, oder dem Oberschenkel an, während die Sohle des einen Fußes oder der ganze eine Fuß in die Lösung des einen Fußgefäßes tauchten, so wurde gleichfalls, jedoch nicht sehr regelmäßig, ein aufsteigender Strom beobachtet.

Hingegen zwischen Fußsohle oder ganzem Fuß und der Brust

findet sich wieder ein ausnehmend starker aufsteigender Strom vor, gerade wie zwischen Hand und Brust. Er verdoppelt seine Heftigkeit, wenn man beide Füße in beide Fußgefäße setzt, diese mit dem einen und das Brustgefäß mit dem anderen Multiplicatorende verknüpft.

Es war nicht ohne Wichtigkeit, auch das elektromotorische Verhalten von Fuß und Hand gegeneinander zu erforschen. Es wurden also das eine Handgefäß und das eine Fußgefäß so nebeneinander aufgestellt, daß man zugleich die Hand in's Handgefäß tauchen und den Fuß in's Fußgefäß setzen konnte, und daß die beiden Gefäße, zur Beobachtung der Ladungen und zur Abgleichung, durch einen Bausch verbunden werden konnten. Die letztere Bedingung verlangt, daß die Ränder der beiden Gefäße in derselben wagerechten Ebene liegen. Die erstere Bedingung war bei mir erfüllt, wenn diese Ebene etwa 50^{mm} über dem Fußboden gewählt wurde.

Das elektromotorische Verhalten von Hand und Fuß zueinander in gesättigter Kochsalzlösung ist kein ganz unabänderlich bestimmtes. Manchmal geschieht es, daß man den Fuß negativ findet gegen die Hand, d. h. der Strom ist im Arm absteigend, im Bein aufsteigend. In der Mehrzahl der Fälle indess verhält sich der Fuß positiv gegen die Hand, und zwar erreicht diese Wirkung nicht selten eine außerordentliche Heftigkeit. Beide Stromesrichtungen zeigen sich übrigens im Verlauf einer und derselben Versuchsreihe, indem anfangs die aufsteigende Richtung im Bein obwaltet und dann plötzlich der absteigenden Richtung Platz macht, ohne daß irgend ein Grund dafür ersichtlich würde. Den umgekehrten Fall, daß nämlich der absteigende Strom im Bein in den aufsteigenden umschlüge, habe ich nicht gesehen. Es kann vorkommen, daß, während eine Hand mit einem Fuß zusammen die eine Stromesrichtung zeigt, sie mit dem anderen Fuß zusammen im anderen Sinne wirksam ist; und dasselbe kann der Fall sein für einen und denselben Fuß bei seiner Verbindung mit beiden Händen. Beide Hände gegen beide Füße verhielten sich in dem Fall, als ich den Versuch anstellte, negativ, und der Strom war von solcher Heftigkeit, daß die Astasie des Nadelpaares gefährdet erschien.

Die Richtung des Stromes bleibt dieselbe, gleichviel ob man die ganze Hand eintaucht, oder ob man nur die Lösung im Handgefäß mit der Handsohle oder dem Handrücken berührt. Der Handrücken giebt aber freilich den schwächeren Strom, wenigstens wenn der Strom im Bein absteigend ist. Ob dies auch dann der Fall ist, wenn der Strom im Bein ansteigt, habe ich noch nicht mit Bestimmtheit ermittelt. Der Strom erscheint auch, wenn man nur mit den Fingern einen Bausch ergreift, der durch das eine Zuleitungsgefäß mit dem einen Multiplicator-

ende zusammenhängt, während der Fuß in das mit dem anderen Multiplicatorende verbundene Fußgefäß eingetaucht ist. Daher die oben gegebene Vorschrift in Bezug auf die Handhabung des Bausches bei der Erforschung des elektromotorischen Verhaltens von Sohle und Fußrücken.

Endlich sei noch gesagt, daß sich die Hand negativ verhält gegen das Knie, welches sich, wenn auch mit einiger Unbequemlichkeit, in stark gebeugtem Zustande in das eine Fußgefäß tauchen läßt. So verhält sich auch der Fuß negativ gegen den Ellbogen. Knie und Fuß sind nicht zusammen in dieser Weise geprüft worden.

Bei den Versuchen an Fuß und Hand giebt sich deutlich ein Einfluß auf die Stärke des ersten Ausschlages zu erkennen von Seiten der Reihenfolge des Eintauchens (Vergl. oben S. 221). Herrscht z. B. der im Bein absteigende Strom zwischen Hand und Fuß, so ist der erste Ausschlag heftiger, wenn die Hand zuletzt, als wenn der Fuß zuletzt eingetaucht wird. Das umgekehrte ist der Fall, wenn der Strom im Bein aufsteigt. Bei den übrigen Anordnungen habe ich den Einfluß der Reihenfolge des Eintauchens noch nicht sorgfältig genug erforscht, um mit Sicherheit darüber urtheilen zu können.

(11) Erörterung der vorigen Versuche.

Diese Ergebnisse scheinen mit der Ansicht, von der wir oben S. 223 ausgegangen sind, beim ersten Anblick im besten Einklang zu stehen: daß es uns nämlich gelungen sei, in dem aufsteigenden Strom des Unterarmes wirklich den Muskelstrom am Menschen selber nachzuweisen. Wir haben nunmehr ähnliche Ströme auch am Oberarm, dem ganzen Arm, dem Unterschenkel und dem ganzen Bein entdeckt; Ströme von beständiger, meist aufsteigender Richtung, beständiger Kraft, und auch an und für sich von angemessener Stärke, wie man sie wohl von den beträchtlichen Muskelmassen des menschlichen Körpers im Vergleich zu denen des Frosches erwarten kann.

Ein Umstand zwar, der einigen Anstofs erregen könnte, ist der der schwankenden Richtung des Stromes zwischen Hand und Fuß. Dieser Strom würde der Unterschied sein des aufsteigenden Stromes im Arme und desjenigen im Beine. Indessen haben wir am Frosch in Erfahrung gebracht, daß die palelektronische Schicht an den Muskeln eines und desselben Thieres sich nicht nur zu verschiedenen Zeiten, sondern auch zu einer und derselben Zeit auf sehr verschiedenen Stufen der Ausbildung befinden kann. Von der verschiedenen Ausbildung der palelektronischen Schicht also an den Muskeln des Armes und des Beines kann man die Ueberlegenheit des Stromes bald der ersteren, bald der letzteren Gliedmaße füglich ableiten.

Diese Erklärung scheint freilich auf den Fall nicht zu passen, wo sich die Richtung des Stromes zwischen Hand und Fuß im Lauf einer nicht allzulangen Versuchsreihe umkehrt, um so weniger, als diese Umkehr stets den im Bein aufsteigenden Strom betrifft, während man den im Bein absteigenden Strom seine Richtung nicht dergestalt wechseln sieht. Indessen wissen wir leider so wenig von den Bedingungen der Ausbildung und Rückbildung der parelektronomischen Schicht, daß dies noch kein Grund sein würde, die Zulässigkeit der obigen Deutung zu bezweifeln. Von der Langsamkeit insbesondere, mit der bei kaltblütigen Thieren, wie den Fröschen, die parelektronomische Schicht ihren Zustand verändert, auf eine gleiche Trägheit des Wechsels auch in warmblütigen Thieren zu schliessen, möchte schwerlich gerechtfertigt sein.

In derselben Art läßt sich das Verhalten des Stromes zwischen Brust und Elbogen beurtheilen.

Allein andere Betrachtungen stellen sich ein, wonach es noch ganz zweifelhaft erscheint, ob die Ströme, die wir hier vor Augen haben, wirklich der Muskelstrom sind. Erstlich ist zu bemerken, daß zwar die beständige Kraft, nicht aber Richtung und Stärke eines Stromes, ein Erkennungsmerkmal für den Muskelstrom abgeben können. Wer den im dritten Kapitel dieser Untersuchung mitgetheilten Erörterungen gefolgt ist, sieht ohne weiteres ein, wie durchaus keine Nothwendigkeit da ist, daß der Muskelstrom an den Gliedmaßen des menschlichen Körpers dieselbe Richtung habe, wie an den Froschgliedmaßen. Nicht einmal, daß überhaupt ein Strom vorhanden sei, ist nothwendig, und zwar ganz abgesehen von dem Zustande der parelektronomischen Schicht, der Nebenschließung durch die Lederhaut und dem Widerstande der Oberhaut (Vergl. oben S. 187). In jeder Richtung an jeder einzelnen Abtheilung einer Gliedmaße, und, unterhalb einer gewissen Grenze, in jeder denkbaren Stärke, mit Inbegriff der Null, kann der Strom vorhanden sein. Es will also gar nichts sagen, wenn man an den Gliedmaßen einen Strom vorfindet in beständiger, und zwar aufsteigender Richtung, und von einer Stärke unter jener Grenze. Dieser Strom kann freilich der Muskelstrom sein, aber der Beweis dafür muß noch geführt werden. So lange dieser Beweis nicht geführt ist, kann jener Strom mit ganz demselben Rechte für einen Strom der Art genommen werden, wie sie sich am nicht enthäuteten Frosch bei Anwendung von Wasser als Zuleitungsflüssigkeit gleichfalls in beständiger Richtung und Größe zeigen, und doch sicherlich nichts sind, als bloße Hautströme, da man sie auch noch an der abgetrennten Haut beobachten kann.

Um zu ermitteln, ob wir es hier nur mit einem solchen Hautstrom,

oder wirklich mit dem Muskelstrom zu thun haben, stehen uns zwei Wege offen.

Der eine besteht darin, zu untersuchen, wie sich jene Ströme bei der Zusammenziehung verhalten. Sind sie einerlei mit dem Muskelstrom, so müssen sie bei der Zusammenziehung eine negative Schwankung von angemessener Gröfse erleiden. Sollte also diese Schwankung sehr klein sein, oder ganz vermifst werden, oder gar im entgegengesetzten, d. h. im positiven Sinne auftreten, so können die Ströme im Wesentlichen der Muskelstrom nicht sein. Im ersten und im letzten Falle würde nur zu schliesen sein, dafs diese Ströme einen Antheil in sich bergen, der von den Muskeln ausgeht und ihnen beziehlich entweder gleich oder entgegengesetzt gerichtet ist.

Der zweite Weg besteht darin, dafs wir jene Ströme bei Anwendung verschiedener Zuleitungsflüssigkeiten untersuchen. Bleiben alsdann diese Ströme stets sich selber gleich, bis auf Unterschiede, die füglich durch den ungleichen Widerstand der verschiedenen Kreise zu erklären sind, so können diese Ströme der Muskelstrom sein. Sie brauchen es darum noch nicht nothwendig zu sein, da uns z. B. die Ungleichzeitigkeitsströme an der Haut des Frosches ein Beispiel von Hautströmen gegeben haben, die in jeder Art von Zuleitungsflüssigkeit einerlei Richtung behalten. Verändern aber jene Ströme in Zuleitungsflüssigkeiten ihre Richtung, oder auch ihre Stärke auf eine Art, die sich nicht blos aus einer Widerstandsveränderung ableiten läfst, so ist es klar, dafs sie nicht der Muskelstrom sein können.

Den erstangegebenen Weg zur Entscheidung werden wir später betreten. Die Versuche, die er erfordert, sind, wie man sieht, einerlei mit denen, zu welchen wir ohnehin gedrängt werden durch den Wunsch, die negative Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung am lebenden menschlichen Körper sichtbar zu machen. Hingegen auf den zweiten Weg wollen wir uns sogleich begeben. Wir erforschen also jetzt die im Vorigen beschriebenen Ströme bei Anwendung verschiedener Zuleitungsflüssigkeiten, wobei dieselben Bemerkungen gelten, die bereits oben S. 222 gemacht worden sind.

(m) Versuche mit verdünnter Schwefelsäure als Zuleitungsflüssigkeit.

Mit Ausnahme einiger unwesentlichen Punkte, nämlich der Versuche mit Ableitung des Stromes von der Haut durch Bäusche, der Versuche mit Klebäther, der mit Brustgefäfs und Elbogen, mit Hand und Knie, endlich mit Fufs und Elbogen, habe ich die ganze vorige

Versuchsreihe mit der verdünnten Schwefelsäure von 1.061 Dichte statt mit Kochsalzlösung als Zuleitungsflüssigkeit durchgemacht.

Gleich im Anfang stiefs ich auf eine wesentliche Abweichung der Erscheinungen von denen, wie sie sich in der Kochsalzlösung darstellen. Es verhielt sich nämlich in der Säure die Handsohle nicht negativ, sondern im Gegentheil positiv gegen den Handrücken. Damit ist also der Strom von der Handsohle zum Handrücken entschieden als ein blofser Hautstrom bezeichnet. Auch hatten wir ihn kaum für etwas anderes genommen, da nicht einzusehen ist, woher ein so starker Muskelstrom durch die Dicke der Hand rühren sollte (S. oben S. 233). Da sich uns aber sonst bisher gar kein Grund dargeboten hat, diesen Strom als seiner Natur nach verschieden anzusehen von den übrigen Strömen, welche hier in Rede stehen, so erwartete ich jetzt mit Bestimmtheit, auch diese in der verdünnten Schwefelsäure ihre Richtung umkehren zu sehen.

Allein dies war nicht der Fall. Zwar erhielt ich zu Anfang mancher Versuchsreihen zwischen Elbogen einerseits und Handsohle oder ganzer Hand andererseits, statt eines aufsteigenden Stromes, einen absteigenden Strom im Unterarm. Aber bald schlug der Strom in den aufsteigenden um, und so verhielten sich auch Hand und Fuß aufs heftigste negativ gegen das Brustgefäß. Zwischen Hand und Fuß war der Strom im Bein absteigend.

Es hat demnach jetzt den Anschein, als wenn es uns gelungen wäre, mit Hülfe der verdünnten Schwefelsäure als Zuleitungsflüssigkeit zwei verschiedene Arten von Wirkungen von einander zu trennen, von denen die eine entschieden nur der Haut angehört, die andere hingegen noch als mit dem Muskelstrom einerlei angesehen werden kann. Die erste würde nicht allein zwischen Handsohle und Handrücken stattfinden, sondern sich auch noch zwischen Handsohle und Elbogen zu dem hier aus anderen Gründen bereits vorhandenen aufsteigenden Strom algebräisch summiren, in Kochsalzlösung hinzufügen, in verdünnter Säure abziehen. In dieser würde sie zuerst den aufsteigenden Strom überwiegen, in einem späteren Zeitraum des Versuches ihm unterliegen.

(IV) Versuche mit Brunnenwasser als Zuleitungsflüssigkeit.

Sämmtliche Versuche, die ich mit der verdünnten Säure als Zuleitungsflüssigkeit angestellt habe, wurden auch mit Brunnenwasser als solcher wiederholt. Hier verhielt sich der Handrücken wieder positiv gegen die Handsohle; Handrücken, Handsohle und ganze Hand negativ gegen das Brustgefäß, alles wie in der Kochsalzlösung. Die Stärke der Ströme war geringer als in der Kochsalzlösung und der

Säure, wie natürlich, wegen der geringeren Leitungsfähigkeit. Als ich aber nun Hand und Fuß miteinander prüfte, stieß ich auf eine merkwürdige Abweichung. Es zeigte sich nämlich, daß die im Bein aufsteigende Richtung des Stromes zwischen Hand und Fuß, die in der Salzlösung nur ausnahmsweise beobachtet wurde, und auch dann meist sehr bald der absteigenden Richtung wich, hier vielmehr die Regel ist. Um diesen, wie man leicht begreift, nicht unwichtigen Unterschied in der Erscheinungsweise der Ströme in beiden Flüssigkeiten ganz sicher zu stellen, verfuhr ich folgendermaßen.

Das eine Handgefäß und Fußgefäß wurde mit gesättigter Kochsalzlösung, das andere Handgefäß und Fußgefäß mit Brunnenwasser gefüllt, beide Gefäßpaare in der oben S. 236 beschriebenen Art nebeneinander aufgestellt. In jedes Gefäß hing mit Hilfe eines MAGNUS'schen Halters, in der oben S. 219. 220 angegebenen Weise, ein Paar Zuleitungsplatten, gleich denen meiner Zuleitungsgefäße herab. Die Platten in dem Brunnenwasser standen mit den Gefäßen α und β , die in der Lösung mit den Gefäßen A und B , die Multiplicatorenden endlich mit den Gefäßen α und b des POHL'schen Stromwenders in Verbindung, dessen Kreuz ausgenommen war (S. oben Bd. I. S. 426. Bd. II. Taf. III. Fig. 108). Durch bloßes Umlegen der Wippe konnte ich also abwechselnd die Gefäße mit Wasser und die mit Salzlösung mit dem Multiplicator verknüpfen. Während dies für die einen Gefäße der Fall war, wurden die anderen Gefäße durch einen Kupferbügel zum Kreise geschlossen, den ich am Stromwender beziehlich zwischen α und β , und A und B anbrachte.

So konnte ich mit der größten Bequemlichkeit die Richtung des Stromes zwischen Hand und Fuß bald in der Lösung, bald im Wasser untersuchen. Ich fand in dicht aufeinanderfolgenden Versuchen in der Lösung stets die im Bein absteigende, im Wasser stets die im Bein aufsteigende Strömungsrichtung vor.

Dies ist, wie ich nicht erst zu bemerken brauche, ein Unterschied, der sich nicht durch Ungleichheit des Widerstandes erklären läßt. Eben so wenig ist es denkbar, daß die parelektronomische Schicht an den Muskeln der Arme und Beine sich im Lauf derselben Versuchsreihe mehrmals so verändere, daß jedesmal, wenn mit Salzlösung versucht wird, der Muskelstrom des Armes, wenn mit Brunnenwasser, der des Beines die Oberhand erlangen sollte. Die oben S. 237. 238 ergriffene Ausflucht ist also hier nicht mehr möglich. Mit dem Muskelstrom können wir es in dem Strome zwischen Hand und Fuß der Hauptsache nach füglich nicht zu thun haben. Ein Theil der Wirkung mag immerhin auf Rechnung des Muskelstromes kommen. Aber er ist im Versuch nicht auszuschneiden. Im Wesentlichen ist jener Strom ein Hautstrom, die ihm zu Grunde

liegende elektromotorische Kraft ist bedingt durch die Benetzung der Haut mit den Zuleitungsflüssigkeiten.

(v) Versuche mit Kalihydratlösung.

In der Kalihydratlösung (S. oben S. 224) habe ich nur folgende Hautstellen miteinander geprüft: Handsohle mit Handrücken, Hand mit Elbogen, Hand oder Fuß mit Brust. Die Zuleitung geschah in der oben S. 225 angegebenen Art, d. h. die Platinenden des Multipliers tauchten nicht unmittelbar in die Gefäße mit Kalilauge, sondern in die gewöhnlichen, mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllten Zuleitungsgefäße, und diese standen durch heberförmige Röhren in Verbindung mit den, die Kalilauge enthaltenden, zum Eintauchen bestimmten Gefäßen.

Ueber das Verhalten von Handsohle und Handrücken bin ich nicht ganz klar geworden. Manchmal zeigte sich ein Strom in der Richtung wie in Kochsalzlösung und Brunnenwasser, d. h. die Handsohle war negativ gegen den Handrücken. Andere Male hatte der Strom dieselbe Richtung, gleichviel, welche Hand die Lauge mit der Sohle, und welche mit dem Rücken berührte.

Zwischen Hand und Elbogen habe ich mit hinreichender Sicherheit folgendes beobachtet. Die Hand verhielt sich zu Anfang stark negativ gegen den Elbogen. In einigen Fällen zeigte auch der Strom eine ziemliche Beständigkeit, so daß die Erscheinung fast ganz so war wie in Kochsalzlösung und Brunnenwasser. Allein in anderen Fällen nahm diese elektromotorische Kraft bald sehr ab, so daß die Nadel sich dem Nullpunkt nahe einstellte, und nur sehr schwache Ladungen hinterblieben. Endlich in noch anderen Fällen geschah dies Sinken der Kraft sogar so schnell, daß der erste Ausschlag auf dem Fuße gefolgt ward von einem Ausschlag im Sinne der Ladungen, der die Nadel an die entgegengesetzte Hemmung führte. Darauf kam die Nadel auf Null zurück, Ladungen fehlten entweder ganz, oder sie hatten bei großer Schwäche die entgegengesetzte Richtung von der gebührenden, d. h. sie waren dem ersten Ausschlag gleich gerichtet.

Dadurch ist offenbar nun auch der Strom zwischen Hand und Elbogen, dessen Erscheinungsweise in der Kochsalzlösung uns zuerst glauben machte, wir hätten den Muskelstrom am lebenden unversehrten Körper nachgewiesen, auf einen bloßen Hautstrom zurückgeführt. Ich versuchte daher schließlichs auch noch den Strom von Hand oder Fuß zur Brust mit Kalilauge als Zuleitungsflüssigkeit zu beobachten, in der Erwartung, daß auch dieser irgend eine Aenderung seiner Erscheinungsweise erleiden würde, wodurch er als Hautstrom bezeichnet würde. Indessen gelang dies nicht. Der Strom von Hand oder Fuß zur Brust

erschien in derselben Richtung, wie in den anderen drei Zuleitungsflüssigkeiten, und obschon ich die Versuche so lange fortsetzte, daß ich an der zarten Haut der Brust zahlreiche kleine Brandschorfe davontrug, wollte der Strom doch nicht in auffallender Weise an GröÙe verlieren, geschweige Null werden oder sich umkehren, wie der Strom zwischen Hand und Elbogen.

(vi) Fortgesetzte Erörterung der in Rede stehenden Versuche.

Die Ströme von Hand oder Fuß zur Brust haben in allen Zuleitungsflüssigkeiten, in denen sie untersucht worden sind, dieselbe Richtung gezeigt, ohne dabei andere Unterschiede ihrer Stärke wahrnehmen zu lassen, als solche, die auf entsprechende Unterschiede des Widerstandes gedeutet werden können. Sie haben somit die eine der beiden Proben bestanden, durch die es uns oben S. 239 thunlich schien, darüber zu entscheiden, ob die beständigen Ströme an den Gliedmaßen des lebenden menschlichen Körpers aus den Muskeln stammen oder nicht. Nicht entfernterweise ist aber dadurch bereits bewiesen, daß diese Ströme wirklich der Muskelstrom seien. Jene erste Probe ist, wie auch daselbst sogleich bemerkt wurde, nur der Art, daß zwar ein Strom sie bestehen muß, um für den Muskelstrom gelten zu können, daß aber darum noch nicht jeder Strom, der sie besteht, auch nothwendig der Muskelstrom ist. Vielmehr steht die Sache folgendermaßen.

Zunächst ist klar, daß, gleichviel ob zwischen Hand oder Fuß und Brust der Muskelstrom wahrnehmbar sei oder nicht, zwischen den genannten Hautstellen auch Hautströme herrschen müssen. Nach den Erfahrungen, die uns jetzt vorliegen, ist es undenkbar, daß die Haut an der Hand und dem Fuß sich sollte gleichartig verhalten mit der Haut an der Brust. Auf alle Fälle könnte die letztere Hautstelle sich nur gleichartig verhalten entweder mit der Hand, oder mit dem Fuß, weil nämlich Hand und Fuß untereinander ungleichartig sind. Im ersten Falle also müßte doch immer zwischen Fuß und Brust, im zweiten zwischen Hand und Brust, ein Strom herrschen in derselben Richtung, wie zwischen Fuß und Hand. Viel annehmbarer aber scheint es, sich zu denken, daß Fuß und Hand sich beide, nur mit verschiedener Stärke, negativ verhalten gegen die Brust, wie sie dies ja auch gegen Elbogen und Knie thun. Die elektromotorische Kraft, die dem Strom zwischen Hand und Fuß zu Grunde liegt, würde dann gleich sein dem Unterschiede der elektromotorischen Kräfte, welche den Strömen von der Hand zur Brust und vom Fuß zur Brust zu Grunde liegen. Daß der Strom zwischen Hand und Fuß uns dennoch eben so stark, ja manchmal stärker erschienen ist, als der von Fuß oder Hand zur Brust, erklärt sich

aus dem größeren Widerstande, den die benetzte Hautstelle an der Brust, im Vergleich zur Haut des Fusses oder der Hand, dem Strome darbietet (S. oben S. 197), Und dafs, z. B. bei negativem Verhalten des Fusses gegen die Hand, uns der Strom vom Fufs zur Brust nicht, wie es der Fall sein müfste, schwächer erschienen ist als der von der Hand zur Brust, rührt daher, dafs die Natur der Versuche hier überhaupt gar keine Vergleichung von Stromstärken zuläfst, wenn es sich nicht um ganz ungeheure Unterschiede handelt.

Man kann folglich, ohne den Thatsachen irgend welchen Zwang anzuthun, die Ströme zwischen Hand oder Fufs und Brust zurückführen auf blofse Hautströme. Diese Deutung ist um so wahrscheinlicher, als andere Ströme von ganz ähnlicher Erscheinungsweise, die wir auch anfangs geneigt waren für den Muskelstrom zu halten, wie der Strom zwischen Hand und Elbogen, sich zuletzt in Hautströme aufgelöst haben. Ferner ist noch zu erwägen, wie keinesweges mit aller Sicherheit zu behaupten ist, dafs nicht unter Umständen auch der Strom von Hand oder Fufs zur Brust in Kalilauge verschwinde. Beobachtet ist es freilich nicht. Aber auch der Strom zwischen Hand und Elbogen hielt manchmal der längsten Benetzung mit der Lauge Stich, und bei der grofsen Unannehmlichkeit der Versuche mit dieser Flüssigkeit, namentlich bei Anwendung des Brustgefäfses, habe ich die Versuchsreihen doch vielleicht nicht hinlänglich vervielfältigt, um auf diese Erscheinungsweise zu stofsen, die sich mir bei zahlreicheren Versuchen möglicherweise zuletzt noch dargeboten hätte. So gelangt man also auf diesem Wege zu der Vorstellung, dafs eigentlich jeder Grund mangelt, die Ströme von Hand und Fufs zur Brust nicht auch für blofse Hautströme anzusehen, in denen höchstens, wie in den anderen Hautströmen auch, ein größerer oder geringerer Bruchtheil verborgen sein mag, der aus den Muskeln entspringt.

Auf der anderen Seite könnte man der Meinung, die fraglichen Ströme seien der Muskelstrom, dadurch zu Hülfe zu kommen suchen, dafs man die Bedeutung der Versuchsreihe in verschiedenen Zuleitungsflüssigkeiten überhaupt in Frage stellte. Man könnte nämlich muthmaßen, dafs die verschiedene Erscheinungsweise der Ströme in den verschiedenen Flüssigkeiten nicht davon herrühre, dafs die elektromotorische Kraft dieser Ströme selbst eine Aenderung erleide. Sondern während diese Ströme, die in der That nichts anderes seien, als der Muskelstrom, an und für sich beständig blieben, entwickelten sich an der Grenze der Haut und der Zuleitungsflüssigkeiten elektromotorische Kräfte, welche denen jener Ströme das Gleichgewicht hielten oder gar sie überwögen, und dadurch die Erscheinungsweise der Ströme von der Natur der Zuleitungsflüssigkeit abhängig erscheinen liefsen.

Diese Vermuthung ist zwar aus der Luft gegriffen; um so schwieriger ist es, sie zu widerlegen. Mit Hülfe der bisherigen Thatsachen gelingt dies nicht. Indessen wird eine spätere Folge hier sichere Entscheidung bringen. Aus den Versuchen, um die negative Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung am lebenden unversehrten Menschen nachzuweisen, wird sich ergeben, dafs von allen hier beschriebenen Strömen kein einziger die zweite Probe besteht, durch welche er sich als Muskelstrom zu beurkunden hätte (Vergl. oben S. 239). Kein einziger von allen diesen Strömen unterliegt nämlich bei der Zusammenziehung einer verhältnifsmäßigen negativen Schwankung, wie es der Fall sein müfste, sollte er der Muskelstrom sein. Alle diese Ströme, auch die von Hand und Fuß zur Brust, sind also im Wesentlichen wirklich nur Hautströme, und die Beobachtung des ruhenden Muskelstromes an den Gliedmaßen des lebenden menschlichen Körpers ist nicht verstattet.

Nachdem wir auf diese Art, durch Vorwegnahme eines erst später zu erweisenden Hülffsatzes, zur Entscheidung gelangt sind hinsichtlich der Natur der hier in Rede stehenden Ströme, die wir fortan, mit Bezug auf ihre Erscheinungsweise in der Kochsalzlösung, und im Gegensatz zu den Ungleichzeitigkeitsströmen, die beständigen Hautströme nennen werden, wollen wir nunmehr zusehen, wie weit es uns gelingen mag, uns auf Grund der vorliegenden Erfahrungen eine Vorstellung zu bilden über den Zusammenhang der elektromotorischen Erscheinungen, zu denen die Haut in Berührung mit den Zuleitungsflüssigkeiten Anlaß giebt.

Zuerst ist die Vermuthung zu beseitigen, auf die Einer oder der Andere gerathen könnte, dafs die beständigen Hautströme auf Temperaturunterschieden der Haut der verschiedenen Körpertheile beruhen.

Aus der Richtung der Ströme läfst sich kein Grund weder für noch wider diese Vermuthung entnehmen. Dazu kennen wir nicht genau genug die Temperatur, bei der die elektromotorische Kraft der Thermoströme ihr Zeichen wechselt (Vergl. oben S. 211). Allein erstens sind gar keine solche Temperaturunterschiede der Körperoberfläche bekannt, ausgenommen wo eine örtliche Abkühlung durch die Luft und die Verdunstung sie bedingt. Davon kann hier nicht die Rede sein, wo die Hautstellen in Flüssigkeitsmassen von gleicher Temperatur dauernd versenkt werden. Auch sind die beständigen Hautströme viel zu stark, um diese Deutung zuzulassen. Innerhalb der Gegend der Thermometertheilung, wo unsere Versuche sich bewegt haben, entspricht einem Temperaturunterschiede der Hautstellen um mehrere Grade noch keine merkliche elektromotorische Kraft. Und höchstens um Zehntel-Grade könnte

es sich doch hier handeln, wo wir Ströme beobachtet haben, die die Nadel dauernd auf 70—80° Ablenkung hielten. Man könnte einwenden, daß dafür auch der Widerstand in unseren jetzigen Kreisen ein viel kleinerer gewesen sei, als bei den Versuchen über die Thermostrome. Im Allgemeinen ist dies richtig. Allein die beständigen Ströme behaupten ihre Ueberlegenheit über die Thermostrome doch auch in Fällen, wo der Unterschied des Widerstandes kaum noch in Betracht kommen kann. Solche Fälle sind der, wo man den Strom von Handsohle und Handrücken, Fußsohle und Fußrücken durch Bäusche ableitet, ferner den Strom des Unterarmes von Elbogen und Finger.

Zu diesen theoretischen Gründen habe ich nicht unterlassen wollen, noch den thatsächlichen Beweis hinzuzufügen. Ich habe nämlich den Strom zwischen Handsohle und Handrücken, zwischen Hand und Elbogen, zwischen Hand oder Fuß und Brust in Kochsalzlösung auch in der Art beobachtet, daß ich abwechselnd der Lösung in dem einen Gefäß die Temperaturen von 15° und 30° ertheilte, während die Lösung in dem anderen Gefäße beziehlich die von 30° und 15° erhielt. Ich konnte aber keinen Unterschied der Erscheinungsweise der beständigen Hautströme unter diesen Umständen auffassen, wodurch sie sich ausgezeichnet hätte vor der bei gleicher und mittlerer Temperatur der Lösung in beiden Gefäßen, es sei denn eine etwas größere Stärke aller Wirkungen. Diese größere Stärke rührte unstreitig davon her, daß der Widerstand der Haut in der warmen Lösung vermindert war (Vergl. oben S. 212 ff.).

Es ist somit klar, daß von einem thermoelektrischen Ursprunge der zuletzt beschriebenen Ströme ebensowenig die Rede sein kann, als von einem solchen der Ungleichzeitigsströme (S. oben S. 228). Es muß folglich nach einer anderen Deutung der Erscheinungen gesucht werden. Und das vortheilhafteste wird sein, wenn diese Deutung sich nicht auf die letztbeschriebenen, in der Kochsalzlösung, dem Brunnenwasser, der verdünnten Säure verhältnißmäfsig beständigen Ströme beschränkt, sondern zugleich die eben erinnerten Ungleichzeitigsströme umfaßt. Denn daß die letzteren Ströme mit den ersteren in irgend einem wesentlichen Zusammenhang stehen, dafür scheint zu zeugen die wechselseitige Abhängigkeit der Richtung beider von einander, die wir in zwei Fällen beobachtet haben; einmal in den Versuchen mit der verdünnten Schwefelsäure, wo sowohl die Ungleichzeitigsströme als der Strom zwischen Handsohle und Handrücken die umgekehrte Richtung zeigten von der in der Salzlösung und dem Brunnenwasser (S. oben S. 224. 240); das zweitemal in den Versuchen an den Leichenhänden, an deren einer die Ungleichzeitigsströme und der Strom zwischen Hand-

sohle und Handrücken sich beide verhielten wie am Lebenden, an der anderen beide umgekehrt (S. oben S. 226. 232).

Es hält nicht schwer, eine allgemeine Vorstellungsweise zu ersinnen, welche von den beständigen Hautströmen und den Ungleichzeitigkeitsströmen als Wirkungen Einer Ursache Rechenschaft giebt. Man hat sich nur zu denken, daß die Hautoberfläche, in Berührung mit den Zuleitungsflüssigkeiten, der Sitz einer elektromotorischen Wirkung ist, welche an verschiedenen Hautstellen verschiedene Größe hat, so sind die beständigen Hautströme erklärt, physikalisch ganz ebenso, wie sie oben S. 14 an der Haut des Frosches von uns erklärt wurden. Um aber zugleich einen Grund für die Ungleichzeitigkeitsströme zu haben, muß man noch die Annahme hinzufügen, daß jene elektromotorische Wirkung auch der Zeit nach keine ganz beständige ist, sondern vom Augenblick der Benetzung an bis zu einer gewissen Grenze der Zeit ihre Größe verändert.

Daß sich auf diese Weise die Erscheinungen darstellen lassen, unterliegt keiner Frage. Man nehme z. B. an, in der Kochsalzlösung oder dem Brunnenwasser, um zunächst bei diesen Flüssigkeiten stehen zu bleiben, sei die elektromotorische Kraft von Außen nach Innen gerichtet, oder die Haut verhalte sich darin negativ, die Kraft sei aber an der Handsohle größer als am Handrücken, hier größer als am Fuß (bei im Bein absteigendem Strom zwischen Hand und Fuß), am Fuß größer als am Elbogen, dem Knie und der Brust, so sind die beständigen Hautströme erklärt, wie sie beobachtet sind. Man denke sich noch, daß die Kraft mit der Dauer der Benetzung bis zu einer gewissen Grenze abnimmt, so folgen auch die Ungleichzeitigkeitsströme, gleichfalls wie sie beobachtet sind. Oder man nehme im Gegentheil an, die Kraft habe die Richtung von Innen nach Außen, d. h. die Haut verhalte sich in der Kochsalzlösung positiv. Alsdann braucht man nur in der obigen Reihe von Hautstellen jeder erstgenannten die kleinere, jeder folgenden die größere Kraft zuzuschreiben, die Kraft aber mit der Dauer der Benetzung, statt abzunehmen, in Gedanken vielmehr bis zu einer gewissen Grenze zunehmen zu lassen, um die Erscheinungen gleichfalls genau dargestellt zu haben.

Wer im Gebiete des Galvanismus bewandert ist, wird hier leicht völlig den nämlichen Kreis von Beziehungen wiedererkennen, auf den FECHNER bei der Erforschung des elektromotorischen Verhaltens der Metalle und der Flüssigkeiten geführt worden ist. Eine innere Verwandtschaft der Erscheinungen ist allerdings noch nicht zu behaupten. Die elektromotorische Kraft, die sich in der Berührung der Metalle und der Flüssigkeiten entfaltet, rührt, nach FECHNER, wenn nicht ausschließ-

lich, doch in den meisten Fällen zum größten Theil davon her, daß die Metalle durch die Flüssigkeiten eine Oberflächenveränderung erleiden, vermöge deren sie gleichsam in ein zusammengelöthetes Plattenpaar ungleichartiger Metalle verwandelt werden. Wir haben noch keinen Grund, die elektromotorische Wirkung in der Berührung der Haut mit den Leitungsflüssigkeiten auf Rechnung eines ähnlichen Vorganges zu bringen. Die Aehnlichkeit der Erscheinungen ist daher zunächst nur eine rein formelle. Aber so ist sie eine vollkommene, wie folgende Darlegung zeigen mag.

Die Grenze von Metallen und Flüssigkeiten, gleichviel ob diese eines chemischen Angriffes auf jene fähig sind, oder nicht, wird der Sitz einer elektromotorischen Kraft, deren Richtung im Allgemeinen von der Natur der Flüssigkeit, nicht aber des Metalles, abhängt. Diese Kraft ist es, auf der die Wirksamkeit der Ketten aus Einem Metall und mehreren Flüssigkeiten wesentlich beruht, wovon die BECQUEREL'sche Säure-Alkali-Kette ein Beispiel abgiebt, in der die Berührung zwischen der Salpetersäure und dem Kali nur einen sehr geringen Theil der Gesamtwirkung liefert. Jene elektromotorische Kraft an der Grenze der Metalle und Flüssigkeiten ist nicht unabhängig von der Zeit. Sondern in manchen Fällen wächst sie vom Augenblick der Benetzung an bis zu einer gewissen Grenze. In anderen nimmt sie umgekehrt von diesem Augenblick bis zu einer gewissen Grenze ab. Dadurch entstehen beim folgweisen Eintauchen zweier scheinbar gleichartigen Metallstücke die bekannten Ungleichzeitigkeitsströme der Metalle (S. oben Bd. I. S. 210). Die Richtung dieser Ströme wird nicht allein bestimmt durch die Richtung der elektromotorischen Wirkung an der Grenze von Metall und Flüssigkeit, sondern zugleich durch den Verlauf dieser Wirkung in der Zeit vom Augenblick der Benetzung an. Sie kann daher dieselbe sein für dasselbe Metall in zwei Flüssigkeiten, in Berührung mit denen das Metall in verschiedener Richtung elektromotorisch wirkt, wofern nur die Kraft in der einen Flüssigkeit eine abnehmende, in der anderen eine zunehmende ist. Z. B. in Salpetersäure und Kalihydratlösung verhält sich späterbenetztes Platin in gleicher Weise positiv zu früher eingetauchtem. Doch ist die Kraft aus der Säure in's Platin, aus dem Platin in die Lauge gerichtet. Allein in der Säure ist die Kraft anfänglich noch im Wachsen, in der Lauge ist sie im Sinken begriffen.¹

¹ Vergl. FECHNER in seinem Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie. Leipzig 1829. S. 93; * — in POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1837. Bd. XLII. S. 499; * — 1838. Bd. XLIII. S. 438; * — Bd. XLV. S. 245; * — 1839. Bd. XLVI. S. 1; * — Bd. XLVIII. S. 1. 225. * — S. auch noch H. SCHRÖDER ebendas. 1841. Bd. LIV. S. 57. *

Die Frage, zu deren Beantwortung wir uns jetzt zunächst getrieben fühlen, ist natürlich die nach der Richtung, in der denn nun die Haut in den Zuleitungsflüssigkeiten, z. B. der Kochsalzlösung, als der gangbarsten unter denselben, wirklich elektromotorisch thätig ist; oder mit anderen Worten, welche von den beiden oben S. 247 hier als möglich erkannten Vorstellungsweisen die richtige sei. Bei den Metallen hat das Bestimmen der Richtung, in der sie mit einer gegebenen Flüssigkeit elektromotorisch wirken, keine andere Schwierigkeit, als die überall mit der Handhabung eines empfindlichen condensirenden Elektroskops verknüpft ist. An die Anwendung dieses Verfahrens ist hier begreiflich nicht zu denken. Wenn es uns nicht gelingt, aus Versuchen mit geschlossener Kette am Multiplicator die Richtung der Kraft zu entnehmen, muß auf diese Bestimmung verzichtet werden. Es läßt sich aber ganz allgemein zeigen, daß die Lösung der Aufgabe nur möglich ist unter Voraussetzungen, die schwerlich genehmigt werden können.

Es heißen k, k_1 die Kräfte zweier Hautstellen A und B , und der dazu symmetrisch gelegenen, A_1, B_1 , im ersten Augenblicke der Benetzung. Der Strom gehe im Körper von A zu B , und diese Richtung, wo also der Strom bei A aus der Flüssigkeit in die Haut, bei B aus der Haut in die Flüssigkeit tritt, wollen wir als die positive ansehen. n, n_1 seien die Coëfficienten, welche die Veränderung der Kräfte k, k_1 nach einer Dauer der Benetzung t ausdrücken. Mit W_1, W_2, W_3, \dots , sei der jedesmalige Widerstand des Kreises, endlich mit $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ die jedesmalige Stromstärke bezeichnet. Es soll das Zeichen und die Gröfse von k, k_1 gefunden werden; aufser k und k_1 sind aber noch n, n_1 unbekannt.

Unsere bisherige Beobachtungen lassen sich alsdann durch folgende drei Gleichungen ausdrücken. Erstens die Gleichung der beständigen Hautströme

$$W_1 \alpha = k - k_1 \dots \dots \dots (I).$$

Zweitens die Gleichungen der Ungleichzeitigsströme, deren vier sind, die sich zu zweien nur durch das Vorzeichen ihrer rechten und linken Seite von einander unterscheiden. Beim ungleichzeitigen Eintauchen von A, A_1 erhält man, wenn man A zuletzt eintaucht,

$$W_2 \beta = k(1 - n) \dots \dots \dots (II),$$

wenn man A_1 zuletzt eintaucht,

$$- W_2 \beta = -k(1 - n).$$

Beim ungleichzeitigen Eintauchen von B, B_1 erhält man, wenn man B zuletzt eintaucht,

$$- W_3 \gamma = -k_1(1 - n_1),$$

wenn man B_1 zuletzt eintaucht,

$$W_3 \gamma = k_1(1 - n_1) \dots \dots \dots (III).$$

Dabei hat man sich zu denken, daß A und B stets mit demselben

Multiplicatorende verknüpft bleiben, so dafs, wenn A, A_1, B, B_1 zum Kreise geschlossen werden, A_1 die Stelle von B, B_1 die von A einnimmt. Unter jenen vier Gleichungen der Ungleichzeitigsströme geben wir natürlich den Vorzug den mit II und III bezeichneten, deren linke Seite mit der der Gleichung I einerlei Vorzeichen hat.

Mit den Gleichungen I, II, III läßt sich, wie man sieht, nichts anfangen, da sie zu dreien vier Unbekannte enthalten. Eine der Gleichungen der Ungleichzeitigsströme mit der der beständigen Hautströme zusammen enthält drei Unbekannte auf zwei Gleichungen, und die Aufgabe erscheint somit unbestimmt. Dies ist beiläufig der schärfere Ausdruck von dem, was oben S. 247 gesagt wurde, dafs sich nämlich über die Richtung der Kraft an der Grenze von Haut und Flüssigkeit, über die Rangordnung der Hautstellen nach der Gröfse der Kraft, und über den zeitlichen Verlauf der Kraft während der Dauer der Benetzung zwei entgegengesetzte Muthmassungen mit gleichem Recht aufstellen lassen.

Es hält nun zwar nicht schwer, neue Gleichungen zwischen denselben Unbekannten aufzustellen. Taucht man die Hautstelle A die Zeit t nach der B ein, dann diese dieselbe Zeit nach jener, etwa wie wir dies oben S. 237 mit Hand und Fufs gethan haben, so erhält man

$$W_4 \delta = nk - k_1, \dots \dots \dots \text{(iv)}$$

$$W_5 \varepsilon = k - n_1 k_1. \dots \dots \dots \text{(v)}$$

Taucht man ferner beide Hautstellen die Zeit t über in zwei nicht in leitender Verbindung stehende Flüssigkeitsmassen ein und beobachtet erst dann die Stromstärke, so hat man auch noch

$$W_6 \zeta = nk - n_1 k_1, \dots \dots \dots \text{(vi)}$$

und somit sogar sechs Gleichungen mit nur vier Unbekannten, so dafs die Möglichkeit der Elimination gesichert erscheint.

Allein man sieht leicht, dafs durch die drei letzten Gleichungen keine neue Beziehungen zwischen den Unbekannten aufgedeckt werden. Gleichung IV erhält man, indem man II von I abzieht. Gleichung V, indem man III zu I hinzufügt. Endlich Gleichung VI entspricht der algebraischen Summe I + III - II. Die Elimination gelingt also nicht, und es giebt meines Wissens keinen Versuch, der geeignet wäre, eine wahrhaft neue vierte Gleichung zwischen den vier Unbekannten zu den drei ersten hinzuzugesellen. Die Aufgabe bleibt also unbestimmt selbst in dem Fall, den wir hier stillschweigend vorausgesetzt haben, dafs die Widerstände und Stromstärken genau beobachtet wären.

Anders stellen sich die Aussichten, wenn man sich die Annahme erlaubt, dafs $n = n_1$ sei, oder mit anderen Worten, dafs die Kraft an beiden Hautstellen sich proportional verändere. Alsdann reichen die drei ersten Gleichungen zur Bestimmung der Unbekannten k, k_1, n aus

und auch die übrigen Gleichungen bieten Mittel zur Elimination dar, die zwar vom analytischen Gesichtspunkt aus überflüssig erscheinen, hier jedoch wohl Beachtung verdienen, insofern sich darunter solche finden können, die mehr als andere geeignet sind, eine Anwendung im Versuch zuzulassen.

In der That ist zu bedenken, daß bei unserer mangelhaften Kenntniss der Stromstärken und Widerstände von einer wirklichen Ausführung der Rechnung nicht die Rede sein kann. Von den Stromstärken wissen wir nichts, als ob sie in dem einen Falle gröfser, im anderen kleiner sind. Von den Widerständen können wir eben auch nur ihre relative Gröfse aus Nebenumständen entnommen angeben. Es versteht sich danach, daß, selbst unter der Voraussetzung $n = n_1$, die Lösung der Aufgabe unmöglich sein würde, wenn es sich für uns darum handelte, die Unbekannten wirklich numerisch zu bestimmen. So weit hinaus wollen wir indess nicht. Alles, wonach wir streben, ist nur, das Zeichen der Kräfte zu ermitteln. Dazu reicht es aber aus, entweder das Zeichen des Unterschiedes $1 - n$ kennen zu lernen, oder in Erfahrung zu bringen, welche von den beiden Kräften k und k_1 die gröfsere sei. Mit Hülfe der Gleichungen der Ungleichzeitigsströme im ersten Falle, der der beständigen Hautströme im zweiten, läfst sich alsdann leicht das Zeichen von k , k_1 bestimmen. Dies erscheint nun, unter der Voraussetzung $n = n_1$, trotz der ausnehmend geringen Genauigkeit unserer Beobachtungen, allerdings ausführbar.

Wir wollen zunächst den Unterschied der Widerstände ganz aus dem Spiele lassen. Es wird zweckmäfsiger sein, ihn erst später, bei der Anwendung der allgemeinen Ergebnisse auf besondere Fälle, in Rechnung zu ziehen. Nehmen wir zunächst die Gleichungen I, II und III. Aus der Ungleichheit

$$W_2 \beta \geq W_3 \gamma \text{ oder } k(1-n) \geq k_1(1-n)$$

$$k \geq k_1.$$

folgt
Mit anderen Worten, die Beobachtung der Ungleichzeitigsströme erst mit den Hautstellen A, A_1 , dann mit den B, B_1 , bietet ein leichtes Mittel dar, über die relative Gröfse der Kraft an beiden Stellen zu entscheiden. Die Kraft ist gröfser an dem Stellenpaar, welches die stärkeren Ungleichzeitigsströme liefert. Gleichung I liefert dann das gesuchte Zeichen der Kräfte. Nehmen wir zweitens die Gleichungen I und VI, und entweder II oder III dazu. Aus der Ungleichheit

$$W_1 \alpha \geq W_6 \zeta \text{ oder } k - k_1 \geq n(k - k_1)$$

$$1 \geq n.$$

folgt
Wird also die Gröfse des beständigen Hautstromes zwischen A, A_1 und B, B_1 zuerst im Augenblick der Benetzung, sodann nachdem A, A_1, B, B_1

die Zeit t über eingetaucht waren, beobachtet, so erfährt man aus der relativen Gröfse beider Ausschläge, ob die Kräfte wachsen oder abnehmen, wonach sich das Zeichen der Kräfte aus den Gleichungen der Ungleichzeitigkeitsströme ergibt.

Andere im Versuch anwendbare Combinationen der sechs Gleichungen weifs ich nicht ausfindig zu machen. Es kann einen Augenblick scheinen, als könne man auch aus Gleichung iv und v das Zeichen des Unterschiedes $1 - n$ ziehen. Denn die Ungleichheit

$$W_s \varepsilon \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} W_4 \delta \text{ oder } k - nk_1 \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} nk - k_1 \dots \text{(vii)}$$

giebt

$$k + k_1 \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} n(k + k_1) \text{ oder } 1 \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} n.$$

Setzt man aber k, k_1 negativ, so folgt

$$-1 \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} -n, \text{ oder } n \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} 1.$$

Das Ergebnifs ist also nicht eindeutig, sondern, wie auch die durch Subtraction der Gleichungen iv und v entstandene Gleichung

$$W_s \varepsilon - W_4 \delta = (1 - n)(k + k_1),$$

zeigt es nur eine nothwendige Beziehung an zwischen dem unbekanntem Zeichen der Kräfte und dem gleichfalls unbekanntem des Unterschiedes $1 - n$. Der oben S. 237 mit Hand und Fufs angestellte Versuch, in welchem sich die Ungleichzeitigkeitsströme mit dem beständigen Hautstrome verbinden, und dessen Ergebnifs, wenn A die Hand, B den Fufs bedeutet, das obere Zeichen in der Ungleichheit vii entsprechen würde, ist folglich nicht geeignet, hier irgend einen Aufschluss zu geben. Sehen wir zu, wie weit es gelingen mag, die Bedingungen im Versuch zu verwirklichen, die den beiden erstangegebenen Verfahrensarten zu Grunde liegen.

Die Versuche, welche das erste Verfahren erfordert, haben wir bereits angestellt. Denn zwischen allen Hautstellen, die uns, bei ihrer Verbindung unter sich, die beständigen Hautströme geliefert haben, Brust, Knie und Fufsrücken ausgenommen, sind auch die Ungleichzeitigkeitsströme von uns untersucht worden. Leider eignen sich die Ungleichzeitigkeitsströme zu einem Vergleich ihrer Stärke sehr wenig. Sie zeigen in dieser Beziehung so viele Unregelmäßigkeiten, dafs auf kleinere Unterschiede, die sich etwa zwischen ihrer Stärke an den Händen, den Füfsen, den Elbogen kundgeben, so viel wie nichts zu geben ist, vollends wenn man noch den Einfluss des verschiedenen Widerstandes in den verschiedenen Kreisen erwägt. Es würde also, um die obige Schlussfolge anzuwenden, nur übrigbleiben der Vergleich der Ungleichzeitigkeitsströme zwischen den beiden Handsohlen einerseits, und den beiden Handrücken und Unterarmen andererseits. Die vollkommene Unregelmäßigkeit der Ungleichzeitigkeitsströme an den letzteren Stellen kann man auf eine so geringe ihnen zu Grunde liegende elektrische Triebkraft deuten, dafs

mannigfaltige andere elektromotorische Ungleichartigkeiten sie gänzlich zu verdecken vermögen. Danach würde also der Handsohle die gröfsere, dem Fufsrücken und Unterarm die kleinere elektromotorische Kraft zukommen. Die Kraft würde folglich aus der Flüssigkeit in die Haut gerichtet sein.

Man erkennt aber bald, dafs wir hier einen ganz unsicheren Weg gegangen sind. In der That, wäre jener Schlufs richtig, so müfste folgerecht auch jede Hautstelle, welche sich gegen den Handrücken positiv verhält (S. oben S. 204 Anm.), die Ungleichzeitigsströme vermissen lassen. Positiv gegen den Handrücken verhalten sich, abgesehen von der Brust, an der die Ungleichzeitigsströme nicht untersucht sind, die Elbogen und unter Umständen die Füfse (S. oben S. 236). Elbogen und Füfse lassen aber, die ersteren wenigstens in Kochsalzlösung, die Ungleichzeitigsströme auf's entschiedenste wahrnehmen. Es mufs also ein Fehler in unserer Schlufsfolge sein. Schwerlich ist er allein darin zu suchen, dafs, wie wir nicht in Betracht gezogen haben, der Widerstand der Haut am Handrücken vermuthlich gröfser ist als an der Handsohle, die von zahlreicheren Schweifscanälchen durchbohrt ist. Vielmehr liegt der Fehler wohl zum bei weitem gröfseren Theil darin, dafs wir willkürlich $n = n_1$ gesetzt haben. Die Handrücken lassen, aller Wahrscheinlichkeit nach, die Ungleichzeitigsströme deshalb vermissen, weil die Kraft an denselben sich nicht so in der Zeit verändert, wie an der Hand- und Fufssohle.

Die erste der beiden Methoden, die wir zur Bestimmung der Richtung der Kraft gefunden hatten, ist somit fehlgeschlagen und zwar wegen der Mangelhaftigkeit ihrer Grundlage, die sie mit der anderen Methode gemein hat, so dafs auch die Zulässigkeit dieser bereits in Frage gestellt erscheint. Wir wollen indess nicht unterlassen, auch noch die Versuche auszuführen, welche die zweite Methode verlangt. Es handelt sich darum, zu bestimmen, ob die Kraft des beständigen Stromes zwischen zwei gegebenen Stellen gröfser sei im ersten Augenblicke der Benetzung, oder nach Ablauf einer gewissen Zeit. Hier ist vorauszusehen, dafs die Veränderung des Widerstandes eine bedeutende Verwickelung des Versuches herbeiführen mufs. Es ist klar, dafs, wegen der vollkommneren Durchfeuchtung der Haut, bei längerer Dauer der Benetzung der Widerstand kleiner sein wird, als wenn die Hautstellen nur erst eben eingetaucht sind. Es scheint also, als ob nur in dem Fall, wo wir den Strom im ersten Augenblick stärker finden sollten, als nach längerer Benetzung, ein Schlufs auf eine Veränderung der Kraft, und zwar alsdann auf eine Abnahme derselben vom Augenblick der Benetzung an, gestattet sein würde. Im anderen Falle würde die Ver-

änderung der Stromstärke durch Veränderung der Kraft nicht zu unterscheiden sein von der durch Veränderung des Widerstandes. Auf die Gefahr hin, uns dergestalt vergeblich bemüht zu haben, muß der Versuch angestellt werden.

Die Hautstellen, deren ich mich dazu bediente, waren Hand und Fuß, Hand und Elbogen, Handsohle und Handrücken. Zwischen Hand und Fuß war der Strom sogleich absteigend im Bein (S. oben S. 236). Neben den Gefäßen a , b , in welche das Eintauchen geschah, dem Hand- und Fußgefäß im ersten, den beiden Handgefäßen in den beiden letzten Fällen, wurden die Fingergefäße, a_1 , b_1 , aufgestellt. Sie enthielten die Zuleitungsplatten des Multiplicators, und waren durch einen Bausch zum Kreise geschlossen. Eines derselben, a_1 , stand außerdem durch einen Bausch in Verbindung mit a . a und b waren also ursprünglich nicht zum Kreise geschlossen. Sie wurden es erst, und gleichzeitig wurde die Verbindung zwischen den Fingergefäßen abgebrochen, nachdem die betreffenden Hautstellen darin eingetaucht waren. Dies geschah entweder sogleich nach dem Eintauchen, wenn nämlich die Stärke des Stromes im ersten Augenblick beobachtet werden sollte, oder nach Verlauf von zwei Minuten, wenn es sich um die Beobachtung der Stromstärke nach einiger Dauer der Benetzung handelte. Der Wechsel der Verbindungen geschah, indem ein Gehülfe den Schließungsbausch, der bis dahin die beiden Fingergefäße zum Kreise geschlossen hatte, zwischen b_1 und b anbrachte. Der Multiplicator war der für den Muskelstrom, und einige Male mußte sogar mit der halben Länge desselben gearbeitet werden, damit die Ausschläge nicht in allzuhohe Breiten der Theilung reichten. Zwischen je zwei Versuchen wurden die Hautstellen mit Wasser abgespült und getrocknet.

Der Erfolg war anfangs, wie zu erwarten war, eine beträchtliche Ueberlegenheit des Stromes nach längerer Benetzung über den Strom nach nur augenblicklicher Dauer derselben. Indem aber die beiden Versuche abwechselnd mehreremal wiederholt wurden, zeigte sich eine merkwürdige Erscheinung. Der Ausschlag bei längerer Benetzung nahm nämlich von Versuch zu Versuch, jedoch immer langsamer, an Größe ab. Der Ausschlag bei kürzerer Benetzung dagegen nahm schnell an Größe zu, bis er eine Größe erlangt hatte, die der des Stromes bei längerer Benetzung zur selben Zeit entweder nahe kam, oder sie erreichte, oder gar sie übertraf. Das Letztere ist jedoch nur einmal, in einem Versuch mit Hand und Elbogen, beobachtet worden. Von hier ab fing die Stärke des Stromes bei kurzer Benetzung gleichfalls zu sinken an. Der Gang beider Stromstärken war fortan sehr übereinstimmend. In dem Fall, wo das Maximum des Stromes bei kurzer Benetzung

den Strom bei längerer Benetzung übertroffen hatte, blieb auch der erste Strom fortwährend über dem letzteren, so lange als die Beobachtung fortgesetzt wurde.

Aus diesen Versuchen ergibt sich auf alle Fälle mit Gewissheit, daß die elektromotorische Kraft der beständigen Hautströme mit wachsender Dauer der Benetzung abnimmt.

Von hier aus lassen sich die einzelnen Erscheinungen folgendermaßen auslegen. Es ist klar, daß der Widerstand des Kreises, vermöge der Durchfeuchtung der Oberhaut mit der Kochsalzlösung, nur bis zu einer gewissen Grenze abnehmen kann, und man wird leicht zugeben, daß er um so langsamer abnimmt, je mehr er sich bereits dieser Grenze genähert hat. Dies vorausgesetzt, stelle ich mir vor, daß in den Versuchen mit längerer Benetzung diese Grenze von Anfang an nahe erreicht wird. Die elektromotorische Kraft nimmt im Lauf eines jeden Versuches um eine gewisse Größe ab, und erholt sich dazwischen gar nicht oder nur unvollkommen. Man sieht daher, da der Widerstand derselbe bleibt, die Stromstärke von Versuch zu Versuch gleichfalls abnehmen. In den einzelnen Versuchen mit kurzer Benetzung hingegen bleibt der Widerstand von jener unteren Grenze anfangs weit entfernt. Daher zuerst die Ueberlegenheit der Stromstärke in den Versuchen mit längerer Benetzung, obschon die elektromotorische Kraft darin kleiner ist. Allein im Lauf der Versuche wird die Durchfeuchtung der Haut beständig. Auf den Gang der Stromstärke in den Versuchen mit längerer Benetzung übt dies keinen Einfluß aus, weil hier von Anfang an in jedem einzelnen Versuch der Widerstand nahe so klein wurde, als er werden kann. Dagegen wächst die Stromstärke in den Versuchen mit kurzer Benetzung, weil der Widerstand von Versuch zu Versuch schneller abnimmt, als die elektromotorische Kraft. Dies dauert jedoch nur so lange, bis, vermöge der immer größeren beständigen Durchfeuchtung der Haut, der Widerstand von der Dauer der Benetzung in jedem einzelnen Versuch beinahe unabhängig geworden ist. Ist er es ganz und gar, oder sinkt er wenigstens in jedem Versuch nur noch langsamer als die elektromotorische Kraft, so kann der Fall eintreten, den ich einmal beobachtet habe, daß die Stromstärke bei kurzer Dauer der Benetzung die bei langer übertrifft. Für die allgemeine Richtigkeit dieser Vorstellungsweise spricht übrigens der Umstand, daß es gelingt, die ungefähre Gleichheit und das gleichmäßige Sinken der Ausschläge bei kurzer und langer Benetzung statt durch oft wiederholtes Eintauchen auch dadurch sogleich herbeizuführen, daß man zuerst die beiden Hautstellen eine längere Zeit hindurch, zehn Minuten bis zu einer Viertelstunde, in die Lösung getaucht hält. Alsdann ist nämlich

auch in den Versuchen mit kurzer Benetzung der Widerstand seiner unteren Grenze nahe gebracht.

Die elektromotorische Kraft des Stromes zwischen Hand und Fuß, Hand und Elbogen, Handsohle und Handrücken nimmt also in Kochsalzlösung mit wachsender Dauer der Benetzung ab. Eine andere Frage ist es aber, ob daraus zu schliessen sei, daß eine jede der beiden Kräfte, als deren Unterschied jene Kraft aufzufassen ist, auch abnimmt. Mit anderen Worten, wir finden uns zurückgeworfen auf die Frage nach der Zulässigkeit der Voraussetzung $n = n_1$ in unserer obigen Zergliederung. Ist $n = n_1$ zu setzen, oder verändern sich beide Kräfte im gleichen Sinne proportional, so ist auch durch die letzten Versuche entschieden, daß sie beide abnehmen, woraus denn weiter folgen würde, daß die Kraft aus der Flüssigkeit in die Haut gerichtet ist, und daß sie größer an der Handsohle als am Handrücken, hier größer als am Fuß ist u. s. w. (Vergl. oben S. 247). Allein wir können uns nicht verhehlen, daß jene Voraussetzung hier so wenig gerechtfertigt ist, als vorhin in den Versuchen über die vergleichsweise Stärke der Ungleichzeitigkeitsströme.

Was die Versuche mit Handsohle und Handrücken betrifft, so haben wir bereits oben gesehen, daß aller Wahrscheinlichkeit nach die Kraft an dem Handrücken weniger sich mit der Dauer der Benetzung verändert als an der Handsohle, indem dies die einzige Art ist, die Abwesenheit der Ungleichzeitigkeitsströme an dem Handrücken in Einklang zu bringen mit ihrer Stellung in der Spannungsreihe der verschiedenen Hautstellen. Denkt man sich nun die Kraft aus der Haut in die Flüssigkeit gerichtet, und größer am Handrücken als an der Handsohle, allein langsamer mit der Dauer der Benetzung wachsend, so erklärt sich die Abnahme der Kraft zwischen beiden Hautstellen ebensogut als bei der Annahme der entgegengesetzten Richtung der Kraft, ihres Ueberwiegens an der Handsohle, und einer geringeren Abnahme der Kraft am Handrücken. Wir haben eben eine Unbekannte zu viel im Problem; es läßt sich aus der Ungleichheit

$$k - k_1 > nk - n_1 k_1 \text{ oder } k(1 - n) > k_1(1 - n_1)$$

kein Schluß auf die relative Größe von k , k_1 oder von 1 , n , n_1 ziehen.

Ein so großer Unterschied, wie zwischen Handsohle und Handrücken, wird zwischen Hand und Fuß nun zwar nicht obwalten hinsichtlich des zeitlichen Verlaufes der Kräfte beider bei wachsender Dauer der Benetzung. Beide lassen die Ungleichzeitigkeitsströme in gleicher Weise wahrnehmen. Nichtsdestoweniger giebt es doch für Hand und Fuß einen noch strengeren Beweis, daß n nicht $= n_1$, als für Handsohle und Handrücken. Er liegt in der oben S. 236 beschriebenen

Umkehr die Richtung des Stromes zwischen Hand und Fufs, die häufig in der Kochsalzlösung beobachtet wird. Der Strom erscheint häufig zuerst ansteigend im Bein, nimmt an Gröfse ab, und schlägt dann mit einem Male rasch in den absteigenden Strom um. Dieser Zeichenwechsel der Resultante ist durchaus nicht anders zu erklären, als durch eine ungleich schnelle Veränderung beider Componenten in der Zeit. Es muß entweder eine aus der Haut in die Flüssigkeit gerichtete Kraft erst an der Hand gröfser sein als am Fufs, aber am Fufs schneller wachsen als an der Hand, so dafs hier die Kraft durch die am Fufs überholt wird; oder es muß eine umgekehrt gerichtete Kraft erst am Fufs gröfser sein, aber auch schneller abnehmen, als an der Hand. In beiden Fällen müfste der zuletzt sich kundgebende absteigende Strom im Bein im Wachsen bleiben bis zu einer gewissen Grenze. Unser letzter Versuch an Hand und Fufs zeigt uns, dafs es sich anders verhält. Der absteigende Strom nimmt zuletzt wieder an Stärke ab. Dies zwingt zu neuen Voraussetzungen. Nimmt man an, dafs die Kraft aus der Haut in die Flüssigkeit gerichtet ist, und mithin, dafs $n, n_1 > 1$, so muß man sich denken, dafs, während anfangs die Veränderung der Kraft schneller am Fufs vor sich ging als an der Hand, in einem späteren Zeitraum das Entgegengesetzte stattfindet. Ertheilt man aber der Kraft die umgekehrte Richtung und den Unterschieden $1 - n, 1 - n_1$ das umgekehrte Zeichen, so kann man sich entweder noch dasselbe denken, oder man kann sich auch vorstellen, dafs in dem späteren Zeitraum $n = n_1$ wird.

Die Versuchsreihe an Elbogen und Hand unterliegt der nämlichen Zweideutigkeit. Unter der durch das Verhalten der Elbogen beim ungleichzeitigen Eintauchen in Brunnenwasser gerechtfertigten Annahme, dafs die Kraft am Elbogen sich durch dauernde Benetzung weniger verändert als die an der Hand, kann man aus dem Ergebnifs dieser Versuchsreihe abermals machen was man will.

Wie man sieht, muß somit die erste und wichtigste Frage, auf die man bei der Erörterung der beständigen Hautströme und der Ungleichzeitigkeitsströme der menschlichen Haut geführt wird, unbeantwortet bleiben. Ich wenigstens sehe dazu keinen Weg. Ich habe aber nicht unterlassen wollen, die Lage der Dinge, wie sie hier stattfindet, vollständig auseinanderzusetzen, theils um mich selber zu rechtfertigen, dafs ich jene Antwort-schuldig bleibe, theils um solchen, die diese Untersuchung selbstthätig aufnehmen möchten, wenigstens so viel Vorschub geleistet zu haben, als in meinen Kräften stand.

Bisher haben wir nur die Versuche mit der Kochsalzlösung als Zu-leitungsflüssigkeit im Auge gehabt. Die Versuche mit Brunnenwasser schliefsen sich ihnen, bis auf die Erscheinungsweise der Ungleichzeitig-

keitsströme der Elbogen und des beständigen Stromes zwischen Hand und Fuß, im Allgemeinen sehr treu an. Zwar scheinen, in dieser Flüssigkeit, die beständigen Hautströme mit der Dauer der Benetzung schneller an Stärke abzunehmen, als in der Kochsalzlösung. Als ich nämlich den oben S. 254 beschriebenen Versuch mit Hand und Elbogen in Brunnenwasser wiederholte, hatte der Strom nach nur augenblicklicher Benetzung sofort ein entschiedenes Uebergewicht über den Strom nach längerer Benetzung. Jener warf die Nadel an die Hemmung, dieser gab oft nur sehr schwache Ausschläge. Dies scheint zu zeigen, daß die oben S. 224 erwähnte größere Stärke der Ungleichzeitigkeitsströme im Brunnenwasser wirklich auf größerer elektromotorischer Kraft beruht. Obschon demgemäß zwischen der Erscheinungsweise der beständigen Hautströme in der Kochsalzlösung und der im Brunnenwasser einige Abweichungen obwalten, sind doch diese Abweichungen nicht der Art, daß man nicht die für die Lösung gewonnenen Ergebnisse ohne Anstand sollte auf das Brunnenwasser übertragen können. Die Versuche mit der Säure und dem Alkali dagegen führen zu neuen Verwickelungen.

Daß die Ungleichzeitigkeitsströme in der Säure die verkehrte Richtung zeigen von der in der Salzlösung, läßt sich auf zweierlei Art erklären. Man kann dies deuten auf verkehrte Richtung der elektromotorischen Kraft sowohl, als auf ein verschiedenes Gesetz der Veränderung der Kraft mit der Dauer der Benetzung. Sollte also z. B. in der Salzlösung die Kraft wirklich aus der Flüssigkeit in die Haut gerichtet sein und mit wachsender Dauer der Benetzung abnehmen, so braucht sie in der Säure nur, bei gleichem Sinne, mit der Dauer zuzunehmen, damit die Ungleichzeitigkeitsströme die verkehrte Richtung haben. Indessen derselbe Umstand, der uns am Eingang dieser Erörterung bewog, eine enge Beziehung zwischen den beständigen und den Ungleichzeitigkeitsströmen anzunehmen, daß nämlich auch der Strom zwischen Handsohle und Handrücken in der Säure seine Richtung ändert, dieser Umstand läßt auch die Meinung annehmbarer erscheinen, daß vielmehr die Kraft selber, bei gleichem Verlauf in der Zeit, die umgekehrte Richtung habe.

An und für sich liegt darin nichts Störendes. Allein unbegreiflich ist zunächst, daß diese Umkehr der Kraft nicht überall in gleicher Art stattfindet. Sie ist eingeschränkt auf den Strom zwischen Handsohle und Handrücken, und vorübergehend befällt sie auch den zwischen Hand und Elbogen. Aber bald kehrt hier die gewöhnliche Strömungsrichtung wieder, wie sie in der Kochsalzlösung und dem Brunnenwasser herrscht, und zwischen Hand und Fuß einerseits, andererseits der Brust, ist sie stets beobachtet worden. Dies scheint nicht anders zu verstehen, als

indem man, wie wir auch oben S. 240 gethan haben, zwischen Handsohle und Handrücken, Hand und Elbogen eine besondere Art von Wirkung annimmt, die sich in der Säure umkehrt, während eine andere Art von Wirkung zwischen Hand und Elbogen und Brust u. s. w. ihre Richtung unverändert beibehält. Die erste ist gewifs theilhaftig bei der Erzeugung der Ungleichzeitigsströme, da auch diese ihre Richtung umkehren. Dafs auch die zweite daran Theil habe, ist zwar sehr wahrscheinlich, insofern sie, damit dies nicht der Fall sei, von der Zeit ganz unabhängig sein müfste. Indessen läfst sich kein thatsächlicher Beweis dafür beibringen. Die Ergebnisse der Versuche mit der Kalilauge, so weit sie jetzt vorliegen, scheinen einer solchen Scheidung der beständigen Hautströme in zwei Klassen gleichfalls das Wort zu reden. Auch hier zeigt der Strom zwischen Handrücken und Handsohle Unregelmäßigkeiten, der zwischen Hand und Fufs und Brust bleibt unverändert.

Wendet man die oben S. 18 entwickelten Schlufsfolgerungen auf die hier in Rede stehenden Ströme an, so gelangt man zu dem Ergebnifs, dafs die Ströme, deren Richtung von der Natur der Zuleitungsflüssigkeit abhängt, wohl von einer Berührung der Haut mit der Flüssigkeit herrühren mögen; sei's, dafs die Haut selber mit den Flüssigkeiten elektromotorisch wirkt, sei's, was wenig wahrscheinlich ist, dafs sie, einem Metalle gleich, durch die Berührung eine oberflächliche Veränderung erleidet, die in den verschiedenen Flüssigkeiten von verschiedener Beschaffenheit ist, und vermöge deren die Haut an und für sich, einem zusammengelötheten Plattenpaar vergleichbar, elektromotorisch wirkt (S. oben S. 248). In beiden Fällen ist natürlich noch, um das Zustandekommen des Stromes zu erklären, eine vorgebildete Ungleichartigkeit der verschiedenen Hautstellen anzunehmen, in Folge welcher sie entweder bei der Berührung mit den Flüssigkeiten verschieden stark elektromotorisch wirken, oder dadurch in verschiedenem Mafse elektromotorisch verändert werden.

Was aber die Ströme betrifft, die ihre Richtung in den verschiedenen Flüssigkeiten unverändert beibehalten, so scheint es nicht, als könnten sie durch die Berührung derselben bedingt sein. Eben so wenig ist denkbar, dafs die Haut durch die Flüssigkeiten so verändert werde, dafs sie immer in demselben Sinne elektromotorisch wirksam werde. Es bleibt, um diese Ströme zu erklären, durchaus nichts übrig, als, wie am Frosch, in der Haut des Menschen eine vorgebildete elektromotorische Kraft anzunehmen, welche an verschiedenen Stellen verschieden grofs ist, und gegen deren Unterschied an zwei Hautstellen der Unterschied derjenigen Kräfte nicht in Betracht kommt, mit denen denn doch die Flüssigkeit, bei der Berührung der Haut, ihrerseits elektromo-

torisch zu wirken nicht umhin kann. Da aber auch hier ein der Berührung der Flüssigkeiten vorbestehender Unterschied in der Beschaffenheit der Haut zu Grunde liegt, so habe ich in der Aufschrift zu dieser Nummer (S. oben S. 231) beide Klassen von beständigen Hautströmen, im Gegensatz zu den Thermoströmen und Ungleichzeitigkeitsströmen, als Ströme bedingt durch vorgebildete Ungleichartigkeiten der menschlichen Hautoberfläche, zusammengefaßt.

Worin jene zuletzt erwähnte, vorgebildete elektromotorische Kraft der Haut begründet sei, darüber möchte es wohl noch zu früh sein, eine Vermuthung auch nur mit einem Schein von Recht aufzustellen. Wir lassen diese Erörterung damit auf sich beruhen. Ohnehin wird sogleich die nächste Folge lehren, daß das Füllhorn von Räthseln, welches hier über uns ausgeschüttet wird, noch nicht erschöpft ist. Wir werden noch zwei Klassen elektromotorischer Wirkungen der Haut kennen lernen, die gleichfalls von der Natur der Zuleitungsflüssigkeiten unabhängig sind, und deren Erforschung jeder weiteren theoretischen Bestrebung an dieser Stelle nothwendig voraufgehen müßte.

Hier würde übrigens der Ort sein, um den Versuch zu machen, in die Bedeutung der Erscheinung, die wir den Eigenstrom zweier Hautstellen genannt haben (S. oben S. 205), etwas tiefer einzudringen. Es liegt nahe, den Eigenstrom jetzt anzusehen als hervorgebracht durch einen, wenigstens dem Zeichen nach, beständigen Unterschied der elektromotorischen Kräfte beider Hautstellen. Man sieht jedoch, daß vor allen Dingen das Verhalten des Eigenstromes in verschiedenen Zuleitungsflüssigkeiten sicherer ermittelt werden müßte, als es bis jetzt geschehen ist (Vergl. oben S. 205). Sollte er in den verschiedenen Zuleitungsflüssigkeiten zur selben Zeit verschiedene Richtung haben, so würde jene Ansicht dadurch wohl der Gewißheit nahe gebracht sein, und der Eigenstrom würde der ersten der beiden Klassen von beständigen Hautströmen angehören, die eben von uns unterschieden worden sind. Sollte dagegen der Eigenstrom in allen Zuleitungsflüssigkeiten einerlei Richtung behalten, wie ich glaube, daß es in Wirklichkeit der Fall ist, so würde es zweifelhaft bleiben, ob er zur zweiten Klasse der beständigen Hautströme zu rechnen sei, oder ob er nicht vielleicht von den Muskeln ausgehe, und der Ausdruck sei der verschiedenen Ausbildung der parielektronomischen Schicht an den betreffenden Muskelgruppen. Mehr läßt sich vor der Hand nicht darüber sagen.

Schließlich sei bemerkt, daß es eine Art von Versuchen über die elektromotorische Beschaffenheit der Haut giebt, mit der ich mich noch nicht befaßt habe, die aber möglicherweise hier zu manchem Aufschluß führen könnte. Sie würde darin bestehen, die Ströme zu untersuchen,

zu denen die Benetzung zweier Hautstellen mit ungleichartigen Flüssigkeiten Anlaß geben muß. Bei der Erforschung wenigstens des oben S. 248 geschilderten Kreises von Erscheinungen an Metallen, der mit dem hier in Rede stehenden an der Haut so große formelle Aehnlichkeit hat, leistet diese Versuchsweise wichtige Dienste.

6. Von der durch das Ausdehnen der Haut bewirkten elektromotorischen Ungleichartigkeit derselben.

Was die elektromotorischen Wirkungen der unverletzten Haut betrifft, so bleibt mir nur noch übrig, eine Erscheinung zu beschreiben, die zwar ganz vereinzelt dasteht, die aber wegen ihrer bedeutenden Größe, ihrer vollkommenen Beständigkeit und der praktischen Wichtigkeit, die sie demnächst für uns erhalten wird, wohl geeignet ist, die Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen.

Es ist bereits oben S. 220 auf diese Erscheinung hingewiesen worden, als verlangt wurde, daß sich die beiden Hände bei den Versuchen mit denselben hinsichtlich der Beugung und Streckung der Finger in einerlei Zustand befinden sollten. In diesem Falle gelingt es leicht, wie ebendasselbst gesagt worden ist, die Hände nahe völlig gleichartig miteinander werden zu sehen. Es bleibt zuletzt der Eigenstrom zurück, und bei dauernder Schließung wird derselbe durch die Ladungen, die er auf den Platinenden entwickelt, bald völlig verdeckt. Wird aber jetzt die eine Hand, wenn auch nur ganz leise, zur Faust geballt, so sieht man plötzlich einen sehr starken Strom entstehen, der die Nadel an die Hemmung des Multiplikators für den Nervenstrom wirft, indem er die zur Faust geballte Hand als positiv anzeigt gegen die andere. Die Wirkung hält, jedoch mit abnehmender Stärke, so lange an, als die Hand zur Faust geballt bleibt. Oeffnet man die Hand, so fliegt die Nadel sofort an die entgegengesetzte Hemmung, und zeigt so die Ladungen an, die der erste Strom entwickelt hat.

Man kann den Versuch auf mancherlei Art abändern. Z. B. man taucht eine Hand im geballten, die andere im gewöhnlichen Zustande ein; die erstere verhält sich positiv gegen die letztere. Oder man taucht beide Hände im geballten Zustande ein, und wartet so das Gleichgewicht der Nadel ab. Oeffnet man jetzt die eine Faust, so entsteht ein Ausschlag, der die geöffnete Faust als negativ anzeigt gegen die andere. Schließt man sie wieder, so werden Ladungen frei u. s. w. Hat man anfänglich die Hände nur mit geringer Kraft geballt, und ballt nun die eine Faust heftiger, so erscheint die letztere Faust positiv gegen die erstere. Man kann auch, anstatt die Hände zur Faust zu machen, einen

in die Flüssigkeit versenkten Gegenstand, einen Stab z. B., umfassen. Die Hand, die ihn fester umschließt und drückt, verhält sich positiv gegen die, die ihn nur locker ergreift. Endlich braucht bei diesen Versuchen gar nicht der Kreis durch beide Hände geschlossen zu sein. Sondern auf der einen Seite kann die Ableitung auf irgend eine andere Art, durch den Elbogen, den Fuß, das Brustgefäß, kurz wie man will, bewerkstelligt sein. Ist die Nadel in der beständigen Ablenkung zur Ruhe gekommen, die dem im Kreise herrschenden Strom entspricht und es wird die Hand zur Faust geballt, so entsteht sogleich ein Ausschlag, welcher anzeigt, daß die Hand durch das Faustballen positiver geworden ist, als sie vorher war.

Der Strom durch Ballen der einen Hand zur Faust erscheint in allen vier Zuleitungsflüssigkeiten, deren wir uns in den beiden vorigen Nummern bedient haben: Kochsalzlösung, Brunnenwasser, verdünnte Schwefelsäure und Kalihydratlösung. Seine Richtung ist in allen die nämliche, und seine Stärke läßt keinen Unterschied erkennen, den man nicht auf Rechnung des verschiedenen Widerstandes bringen könnte.

Beim ersten Anblick dieser Thatsachen könnte man meinen, in dem Strom durch das Faustballen auf die negative Schwankung eines Theiles des Muskelstromes des Armes gestossen zu sein. Von der Hand zur Brust kreist, wie wir gefunden haben, ein starker Strom. Hier haben wir in dem Augenblicke, wo eine Zusammenziehung der Beugemuskeln der Finger erfolgt, einen Strom im umgekehrten, im absteigenden Sinne, eine Erscheinungsweise, die scheinbar ganz übereinkommt mit der an den Beinen des Frosches.

Diese Deutung würde indess ganz irrig sein. Trotzdem daß der Strom durch das Faustballen in den verschiedenen Flüssigkeiten einerlei Richtung behält, hat er ebensowenig etwas zu schaffen mit dem Muskelstrom, als der Strom zwischen Hand und Fuß einerseits und der Brust andererseits. Zwar wird die Folge zeigen, daß die Zusammenziehung der Beugemuskeln des Armes einen Strom erzeugt. Aber dieser Strom ist auch bei der äußersten Heftigkeit der Zusammenziehung jener Muskeln außerordentlich viel schwächer als der Strom beim Faustballen, der schon die Nadel an die Hemmung führt, wenn man auch nur ganz schwach die Faust macht. Er hat ferner die umgekehrte Richtung von der dieses Stromes, d. h. er ist aufsteigend im Arme. Er hat endlich noch ein anderes Merkmal, welches dem Strom beim Faustballen fehlt, und von dem gehörigen Orte die Rede sein wird. Uebrigens werden wir sogleich noch auf andere Umstände stossen, welche die in Rede stehende Annahme ganz unmöglich machen.

Der Strom beim Faustballen ist also ein bloßer Hautstrom. Natur-

lich entsteht nun die Frage, wie es möglich sei, daß durch das Ballen zur Faust die elektromotorische Beschaffenheit der Haut eine Veränderung in so ungeheurem Mafsstab erleide. Der erste Gedanke ist, daß vielleicht die Wirkung daher rührt, daß die gegen den Rücken negative Sohle der geballten Hand aus der Kette gebracht werde, indem sie nur noch durch die Spalten zwischen den Fingern mit der übrigen Zuleitungsflüssigkeit in Verbindung stehe. So verhalte sich die ganze eingetauchte Hand negativ gegen den Handrücken, oder gegen die gleichfalls eingetauchte andere Hand, an der aber die Handsohle mit einem Ueberzug von Klebäther versehen ist (S. oben S. 232). Diese Annahme hat das Lockende, daß durch ihre Bestätigung der Strom beim Faustballen mit dem gewöhnlichen Hautstrom zwischen Handsohle und Handrücken in Verbindung gebracht sein würde. Sie läßt sich auch auf den Fall ausdehnen, wo die Ableitung nur auf der einen Seite von der Hand geschieht, die alsdann, wenn sie zur Faust geballt wird, positiver erscheint, als sie vorher war.

Ohne Zweifel ist bei dem Strom durch Faustballen die eben dargelegte Ursache mit im Spiel. Allein es ist leicht zu zeigen, daß sie nicht allein den Grund der Wirkungen enthält.

Erstens ist zu erinnern, daß der Strom zwischen Handsohle und Handrücken in der verdünnten Schwefelsäure, um von der Kalilauge zu schweigen, seine Richtung umkehrt, der Strom beim Faustballen sie aber, wie oben gesagt wurde, unverändert beibehält.

Zweitens findet sich, daß der Strom beim Faustballen zu stark ist, um von dieser Ursache abgeleitet werden zu können. Ich tauche zuerst in die beiden mit Kochsalzlösung gefüllten Handgefäße eine Hand im gewöhnlichen Zustande mit halbgebeugten Fingern, und eine zur Faust geballte Hand, und verzeichne den Ausschlag am Multiplicator für den Nervenstrom, von dem aber, bei diesem Versuch, nur die halbe Länge in Anwendung kommen darf. Nachdem die Hände mit Wasser gehörig abgespült und getrocknet sind, tauche ich in die Handgefäße die Sohle der Hand, die ich vorher nur halbgebeugt hielt, und den Rücken der, die ich zur Faust geballt hatte. Obschon diesmal die Haut bereits durchfeuchtet ist, der Widerstand also geringer, fällt doch die Stromstärke weit geringer aus, als im ersten Falle, und so oft man den Versuch wiederholt, bleibt stets das Verhältniß der Stromstärken das nämliche. Man sieht aber leicht ein, daß es gerade das umgekehrte sein müßte, sollte unsere Deutungsweise sich bewähren. Wenn der Strom zwischen der halbgebeugten und der geballten Hand nur davon herrührte, daß die Sohle der geballten Hand aus der Kette gebracht wird, so müßte der Strom bei gleichem Widerstande augenscheinlich noch stärker sein,

wenn man statt der halbgebeugten Hand nur die Handsohle, und statt der geballten Hand nur den Handrücken mit der Lösung in den Handgefäßen in Berührung bringt.

Vollends entscheidend ist drittens nachstehender Versuch, der zugleich auf den rechten Weg führt, um den eigentlichen Sinn der Erscheinung zu erfassen. Taucht man nämlich in das eine Handgefäß nur den Handrücken der halbgebeugten Hand, in das andere den Handrücken der zur Faust geballten Hand, so findet man stets den letzteren stark positiv gegen den ersteren. Die Handsohle der halbgebeugten Hand braucht sich also gar nicht im Kreise zu befinden, damit sich die halbgebeugte Hand negativ verhalte gegen die zur Faust geballte Hand. Sie hat folglich mit der Wirkung, auf die es hier ankommt, nichts zu schaffen. Die Wirkung geht allein von den beiden Handrücken aus.

Untersucht man nun, welche Veränderung die Haut des Handrückens beim Faustballen erleidet, so findet man, daß sie stark ausgedehnt wird. Möglicherweise also verhält sich ausgedehnte Haut positiv gegen solche, die in ihrem natürlichen Zustande verharrt. Die folgenden Versuche lassen keinen Zweifel daran übrig.

Ich tauchte beide Hände im gewöhnlichen, halbgebeugten Zustand in die Handgefäße. In das eine Handgefäß hatte mein Gehülfe, Herr Stud. LINDNER, gleichfalls eine Hand eingetaucht, und ergriff damit, von der Volarseite her, die meine. Seine Hand berührte aber die meine nicht unmittelbar, sondern ein Stück Wachstaffent oder eine Kautschukplatte stellte eine nicht leitende Scheidewand zwischen uns her. Die Hand des Herrn LINDNER befand sich also nicht in der Kette. Nachdem die Nadel zur Ruhe gekommen war, liefs ich Herrn LINDNER meine Mittelhand in die Quere so zusammendrücken, daß die Haut des Handrückens stark ausgedehnt wurde in einer Richtung senkrecht auf diejenige, in der sie beim Faustballen durch die Hand selber ausgedehnt wird. Sofort setzte sich die Nadel in Bewegung, die Hand, deren Rückenhaut dergestalt ausgedehnt wurde, als positiv anzeigend gegen die andere. Geschah die Zusammendrückung in der Art, daß zwar Herrn LINDNER'S Hand dabei ganz auf dieselbe Weise angestrengt, hingegen die Dehnung der Rückenhaut meiner Hand vermieden wurde, was sehr leicht von statten ging, so blieb die Nadel in Ruhe.

Die Wirkung ging also ganz gewiß nicht aus von der in Kraftanstrengung begriffenen Hand des Herrn LINDNER, die die meine zusammendrückte, was ja auch durch die nichtleitende Schicht zwischen beiden unmöglich gemacht war. Somit liefert dieser Versuch zunächst den oben angekündigten Beweis, daß die elektromotorische Wirkung beim Faustballen nicht auf der negativen Schwankung eines Theiles des Muskel-

stromes des Armes beruht. Sodann zeigt er, daß das Faustballen eben nichts anderes zu bedeuten hat, als daß es ein bequemes und einfaches Mittel abgiebt, die Haut des Handrückens an der eigenen Hand auszu dehnen. Ausdehnen der Haut durch eine fremde Kraft und in beliebiger Richtung hat ganz denselben Erfolg.

Demgemäß findet es sich denn auch, daß noch eine andere Gestaltveränderung der Hand, als das Faustballen, die aber gleichfalls von einer Ausdehnung der Haut begleitet ist, die Hand positiver macht. Sie besteht darin, daß man an der flach ausgestreckten Hand die beiden ersten und die beiden letzten Finger möglichst weit von dem Mittelfinger entfernt oder abducirt. Taucht man beide Hände flach ausgestreckt in die Handgefäße, läßt die Nadel zur Ruhe kommen und spreizt dann die Finger der einen Hand in der beschriebenen Art aus, so erfolgt ein Strom in derselben Richtung, obschon weit schwächer, als ob man diese Hand zur Faust geballt hätte. Beim Aneinanderschließen der Finger geben sich Ladungen kund u. s. w.

Endlich zeigt es sich, daß noch andere Hautstellen als der Handrücken beim Ausdehnen dieselbe räthselhafte Wirkung wahrnehmen lassen. Man strecke das erste Glied der vier letzten Finger beider Hände, so daß es einen Winkel von zwei Rechten mit der Mittelhand macht, beuge das zweite Glied in einen rechten Winkel gegen das erste, das dritte in einen rechten Winkel gegen das zweite. Bei dieser Stellung der Hand kann man leicht die Oberfläche der Lösung in den beiden Handgefäßen nur mit der Rückenhaul des zweiten Gliedes berühren. Geschieht dies, indem man eben nur die beiden Hände ohne Kraftaufwand in der beschriebenen Stellung hält, so bleibt die Nadel verhältnißmäßig in Ruhe. Drückt man aber an der einen Hand die Volarfläche der dritten Glieder kräftig gegen die der ersten Glieder, wobei die Rückenhaul des zweiten Gliedes ausgedehnt wird, so verhält sich diese Hand positiv gegen die andere.

Die Rückenhaul des zweiten Gliedes der Finger steht der der Hand elektromotorisch vielleicht noch zu nahe, um in diesem Versuch eine wesentliche Abänderung des Versuches mit dem Faustballen zu sehen. Allein schon der Erfolg des Versuches mit dem Ausspreizen der Finger führt auf die Vermuthung, daß wohl auch die Handsohle der positiven Veränderung durch das Dehnen unterworfen sein könnte, insofern nämlich am Handrücken dabei im Grunde nur die Haut zwischen Daumen und Zeigefinger kräftig gespannt wird. Berührt man den Spiegel der Salzlösung in dem einen Handgefäß mit der Sohle der einen flach ausgestreckten Hand, deren Finger aneinandergeschlossen sind, den in dem anderen Gefäß mit der Sohle der anderen flach ausgestreckten Hand,

deren Finger aber auseinandergespreizt sind, so findet man diese ziemlich regelmässig schwach positiv gegen die erstere. Die Handsoble ist stark negativ gegen den Handrücken. Es wird nun von Wichtigkeit sein, zuzusehen, ob auch eine gegen den Handrücken stark positive Hautstelle sich beim Dehnen ebenso verhält. Eine solche, die zugleich leicht in verschiedenem Mafs angespannt werden kann, bietet sich uns am Elbogen dar. Sie zeigt aber gleichfalls auf das entschiedenste die durch das Ausdehnen der Haut bedingte Ungleichartigkeit. Taucht man in das eine Handgefäß den einen Elbogen im halbgebeugten, den anderen im starkgebeugten Zustande, so verhält sich dieser positiv gegen jenen.

Natürlich kann man auch an den Fingern, den Handsohlen und Elbogen den Versuch auf mannigfache Art abändern, wie oben S. 260 den Versuch an den ganzen Händen. Man kann, anstatt die einen Finger oder den einen Elbogen schwach, die anderen Finger oder den anderen Elbogen stark gebeugt einzutauchen, das Eintauchen bei gleichem Grade der Beugung auf beiden Seiten vornehmen, und erst später, nach beruhigter Nadel, den Grad der Beugung auf der einen Seite verändern, und so die Ausdehnung der Haut hier und dort ungleich machen. Ebenso kann man in dem Versuch mit den Handsohlen das Ausspreizen der Finger erst vornehmen, nachdem die beiden flach ausgestreckten Hände den Spiegel der Lösung berührt haben und die Nadel zur Ruhe gekommen. Doch ist in allen drei Fällen der erstbeschriebenen Gestalt des Versuches der Vorzug zu schenken, weil es bei der zweiten nicht leicht ist, die Höhe unverändert zu lassen, bis zu der die Haut benetzt war, so dafs sich dabei, wenn auch schwache und unregelmässige Ströme wegen ungleichzeitiger Benetzung in das Ergebnifs einmischen können.

Da die elektromotorische Wirkung durch das Dehnen der Haut ihre Richtung in den verschiedenen Zuleitungsflüssigkeiten nicht verändert, so kann diese Wirkung nicht von der Berührung der Flüssigkeiten mit der Haut herrühren, sondern sie mufs von der Haut selber ausgehen. Was aber die Frage betrifft, wie durch das Ausdehnen die Haut positiver gemacht werden könne gegen nicht ausgedehnte Haut, so versteht es sich bei dem Stande der Untersuchung von selbst, dafs wir die Antwort darauf schuldig bleiben müssen. Nur einer falschen Vorstellung, die Einer oder der Andere fassen könnte, möchte ich hier vorbeugen. Beim ersten Anblick, und wenn man nur die erste Gestalt des Versuches im Auge hat, worin von beiden eingetauchten Händen die eine zur Faust geballt wird, könnte man sich zu der Meinung verleitet fühlen, die elektromotorische Wirkung beim Faustballen rühre her von der Benetzung neuer Punkte der Hautoberfläche, die sich beim Ausdehnen der Rückenhaut der Hand erst entwickeln. Die Wirkung

sei also im Grunde eine solche wegen ungleichzeitiger Benetzung, einerlei mit den uns wohlbekanntem Ungleichzeitigsströmen. Es hält nicht schwer, diese Ansicht zu widerlegen.

Wie man sich erinnert, zeigen die Handrücken in Kochsalzlösung und Brunnenwasser die Ungleichzeitigsströme nur sehr unregelmäßig. Die Wirkung beim Ausdehnen der Haut ist aber ganz regelmäßig, die gedehnte Rückenhaut verhält sich stets positiv gegen die nicht gedehnte. Die Elbogen zeigen zwar in der Salzlösung regelmäßige Ungleichzeitigsströme, allein der jüngstbenetzte Elbogen verhält sich negativ gegen den erstbenetzten. Er müßte sich positiv verhalten, wenn ein Zusammenhang zwischen den Ungleichzeitigsströmen und den Strömen durch Dehnung der Haut annehmbar sein sollte. In der verdünnten Schwefelsäure kehren sich die Ungleichzeitigsströme um, in der Kalilauge werden sie unregelmäßig. Die Ströme durch Dehnung der Haut bleiben in beiden Flüssigkeiten unverändert. Mit anderen Worten, wenn die oben S. 258 hingestellte Eintheilung der Hautströme richtig ist in solche, deren elektromotorische Kraft durch die Berührung mit der Zuleitungsflüssigkeit erst gesetzt wird und deren Richtung demgemäß von dieser abhängt, und in solche, deren elektromotorische Kraft unabhängig von jener Berührung in der Haut selber entspringt, so gehören die Ungleichzeitigsströme, wie bereits oben a. a. O. bemerkt wurde, zu der ersten Klasse, die Ströme durch Dehnung der Haut dagegen sind der zweiten Klasse zuzurechnen.

Diese Betrachtung würde allein schon ausreichen, um die Unstatthaftigkeit der in Rede stehenden Deutung zu beweisen. Für's zweite ist aber auch die Stärke der Ströme durch Dehnung der Haut viel zu beträchtlich, um sie von ungleichzeitiger Benetzung ableiten zu können. Es ist klar, daß, wenn darin der Grund jener Ströme enthalten wäre, dieselben nie auch nur so stark werden könnten, als die Ungleichzeitigsströme; sie müßten stets weit unter ihnen an Stärke bleiben. Nicht nur aber, daß sie sie daran erreichen, sie lassen sie sogar nicht selten weit hinter sich.

Drittens sind die Ströme durch Dehnung der Haut beständiger Art. Wären sie Ströme wegen ungleichzeitiger Benetzung, so müßten sie bald verschwinden, ohne Ladungen zu hinterlassen, und es könnte z. B. nicht beim Eintauchen beider Fäuste und nachmaligem Oeffnen einer derselben, sich diese negativ verhalten gegen die geballt gebliebene.

Endlich viertens und zum Ueberflusse paßt ja die bekämpfte Deutungsweise gar nicht auf die Form des Versuches, wobei man den Spiegel der Zuleitungsflüssigkeit in dem einen Gefäß mit dem Rücken der einen halbgebeugten Hand, den in dem anderen mit dem Rücken der

zur Faust geballten anderen Hand berührt, und die entsprechende Versuchsförm mit den Fingern, den Handsohlen und Elbogen. Beruhte der Strom beim Ausdehnen der Haut auf ungleichzeitiger Benetzung, so dürfte er hier nicht stattfinden, wo die Benetzung auf beiden Seiten gleichzeitig ist.

Schliesslich ist zu bemerken, dass die elektromotorische Wirkung durch Dehnen der Haut vielleicht einen Antheil hat an den räthselhaften Strömen, welche durch festeres Andrücken eines bereits dicht anliegenden Bausches an die Haut entstehen, und grosstheils daran Schuld sind, dass wir auf den Gebrauch der Bäusche zur Ableitung der Ströme vom lebenden menschlichen Körper haben Verzicht leisten müssen (Vergl. oben S. 222).

7. Von dem elektromotorischen Verhalten der Wunden gegen die Oberhaut.

Es ist oben S. 203 verlangt worden, dass die Hautstellen, deren elektromotorisches Verhalten gegeneinander unter verschiedenen Umständen wir erforschen wollten, vollkommen unverletzt seien. Nachdem ich, in den vorigen Nummern, von dem elektromotorischen Verhalten der unversehrten Haut ein möglichst vollständiges Bild entworfen habe, komme ich jetzt endlich dazu, den Grund jener Vorschrift darzulegen.

Taucht man zwei Finger bei gleicher Temperatur und gleichzeitig in gesättigte Kochsalzlösung, von denen der eine auch nur die geringste Verletzung hat, den kleinsten Schnitt, Stich, die kleinste abgestoßene Stelle an der Haut oder die kleinste sogenannte Nagelwurzel, gleichviel ob frisch und blutend, oder nach gestillter Blutung, oder eine eiternde Fläche darbietend: so zeigt sich unabänderlich der verletzte Finger heftig positiv gegen den unverletzten,¹ so dass die Nadel des Multiplicators für den Muskelstrom bis auf 70° geht, die des Multiplicators für den Nervenstrom an die Hemmung fliegt. Der Strom ist von beständiger Kraft. Die Nadel des letzteren Multiplicators wird dadurch dauernd auf 60—70° gehalten. Bei diesem Stande der Dinge ist begreiflich fast jede andere Beobachtung untersagt. Ueberzieht man aber die Wunde mit Klebäther, so verschwindet sofort jede Spur des Stromes, und man kann, so lange der nichtleitende Ueberzug dicht hält, mit den Fingern arbeiten, als ob sie unverletzt wären. Bringt man an dem anderen Finger eine entsprechende Verletzung an, so verhalten sich auch die Finger wieder leidlich gleichartig.

¹ Vergl. DU BOIS-REYMOND in den Comptes rendus etc. 21 Mai 1849. t. XXVIII. p. 641.

Ich hatte mir, behufs später zu beschreibender Versuche,¹ an der Rückenfläche eines jeden Unterarmes über dem Knöchel des Handgelenkes eine Blasenpflasterwunde angelegt. Jede Wunde verhielt sich, bei der Untersuchung mit Salzbäuschen, stark positiv nicht allein gegen die Finger, sondern auch gegen die ihr selber wie auch der anderen zunächst benachbarte Haut. Zwei gleich frische Wunden der Art verhielten sich ziemlich gleichartig. In einem Falle waren aber die beiden Wunden nicht von gleichem Alter. Die eine war nämlich erst vierundzwanzig Stunden nach der anderen angelegt, und diese während der Zeit mit Unguentum Sabinae eiternd erhalten. Hier verhielt sich die frische Wunde positiv gegen die eiternde.

Ich habe versucht, dieselben Wirkungen an der Haut der Leiche wahrzunehmen, bin aber dabei auf einen merkwürdigen Widerspruch gestossen, den ich nicht zu erklären weifs. Nachdem mit den, oben S. 211. 212. 226. 232 erwähnten Leichenhänden alle früheren Versuche angestellt worden waren, feilte ich eine wunde Stelle an dem negativen der beiden zum Eintauchen bestimmten Finger, Zeige- und Mittelfinger, oder versetzte ihm eine Schnittwunde, und sofort verhielt sich dieser Finger stark positiv gegen den anderen. Er verhielt sich aber wiederum negativ, wenn ich die Wunde mit Klebäther schlofs. Soweit schien der Erfolg in der Ordnung, und zwar zu dem Schlusse berechtigend, dafs man es in dem Wundenstrom, so will ich den Strom zwischen einer verletzten Hautstelle und einer gesunden nennen, einfach zu thun habe mit einem gewöhnlichen Strom wegen Berührung ungleichartiger Flüssigkeiten, gleich dem der Säure-Alkali-Kette in dem Falle, wo die Elektroden in gleichartige Flüssigkeiten tauchen. Jetzt aber nahm ich ein Stück Haut von der Rückenfläche des Unterarmes einer drei Tage alten weiblichen Leiche, und brachte mit dem einen Zuleitungsbausch die Oberhaut, mit dem anderen die von der Fascia antibrachii abpräparirte Fläche der Haut in Berührung. Ich erwartete nicht anders, als dafs sich ein heftiger Strom, in der Haut von Aussen nach Innen, kundgeben würde. Allein gerade das Entgegengesetzte zeigte sich; die Oberhaut verhielt sich positiv gegen das Unterhautbindegewebe. Ich brachte beide Bäusche mit der Oberhaut in Berührung, nachdem ich an der Berührungsstelle des einen eine Wunde mit der Scheere angelegt hatte. Aber die Nadel blieb unbewegt. Am Lebenden verhalten sich Stichwunden des Unterarmes ebensowohl positiv gegen die benachbarte Oberhaut, als solche der Finger.

Weiter habe ich diese Versuche in dieser Richtung nicht verfolgt.

¹ S. unten, No. 8.

Von der Vorstellung aus, daß hier ein Strom gleich dem der Säure-Alkali-Kette vorliege, hatte ich aber bereits früher, jedoch mit eben so geringem Glücke, folgende Versuche unternommen. Ich dachte mir, die hier wirksamen Flüssigkeiten könnten sein einerseits die alkalisch reagirende Wundflüssigkeit, andererseits die sauer reagirende Hautabsonderung. Die Richtung des Stromes von der Säure zum Alkali in der Flüssigkeitskette schrieb ich unter dieser Voraussetzung dem Umstande zu, daß die beiden erregenden Flüssigkeiten zwischen Kochsalzlösung als Zuleitungsflüssigkeit eingeschaltet waren. So hat auch der Strom zwischen Salpetersäure und Kalihydratlösung die Richtung von der Säure zum Alkali in der Flüssigkeit, wenn man statt Salpeter Kochsalzlösung zur zuleitenden Flüssigkeit nimmt (S. oben S. 19).

Um die Richtigkeit dieser Vermuthung zu prüfen, verfuhr ich so. Ich nahm an, die alkalische Reaction der Wundflüssigkeit rühre her von doppeltkohlensaurem Natron, die saure Reaction des Schweifses von Essigsäure. Demgemäß untersuchte ich am Multiplicator für den Muskelstrom die Richtung des Stromes in nachstehenden Ketten aus mehreren Flüssigkeiten. Die zuleitenden Gefäße waren stets mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllt, und meine gewöhnlichen Zuleitungsgefäße. Die Verbindung mit den erregenden Gefäßen geschah, um nicht die Gleichartigkeit der Lösung zu gefährden, durch zweimal rechtwinklig gebogene, heberförmige Röhren, die mit Kochsalzlösung gefüllt und mit Stopfen aus Lackmuspapier verschlossen waren. Diese Stopfen nahmen verschiedene Farben an, so daß die Enden nie verwechselt werden konnten (Vergl. oben S. 225). Von den beiden erregenden Gefäßen enthielt stets das eine concentrirte Essigsäure (Acetum concentratum Ph. Bor.). Das andere wurde nacheinander gefüllt mit:

1. Verdünnter Essigsäure,
2. Destillirtem Wasser,
3. Verdünnter und gesättigter kohlensaurer Natronlösung,
4. Hühnereiweiß,
5. Menschlichem Serum.

Die Verbindung zwischen den erregenden Gefäßen geschah durch einen mit concentrirter Essigsäure benetzten Fließpapierstreifen. In allen Fällen ging der Strom in der Flüssigkeit von der concentrirten Essigsäure zur anderen erregenden Flüssigkeit. Hinsichtlich der Stärke der Ströme zeigte sich das Auffallende, daß der Strom mit verdünnter Essigsäure in dem einen der erregenden Gefäße merklich stärker war, als mit destillirtem Wasser und mit diesem stärker als mit der kohlensauren Natronlösung. Wenn hier nicht eine Täuschung obgewaltet hat, so hat man sich im ersten Falle wohl zu denken, daß der Widerstand des

Kreises durch den Zusatz der Säure zum Wasser mehr herabgesetzt wurde¹ als die elektromotorische Kraft der Kette. In dem zweiten Falle mag die Gasentwicklung an der Grenze der Säure und des kohlen-sauren Natrons den Widerstand mehr erhöht haben, als er durch den Zusatz des Salzes zum Wasser vermindert worden war, und zwar in dem Mafse, dafs dadurch sogar die Vermehrung der elektromotorischen Kraft überwogen werden konnte.

Nun wünschte ich eine Flüssigkeit zu besitzen, bei deren Anwendung als Zuleitungsflüssigkeit der Strom jener Ketten sich umkehrte. Nach dem Vorbilde der Salpeterlösung bei Salpetersäure und Kalihydratlösung als erregenden Flüssigkeiten, wählte ich die gesättigte essigsäure Natronlösung. Ich wiederholte daher alle vorigen Versuche, nur mit dem Unterschiede, dafs zwischen der Kochsalzlösung und dem erregenden Gefäfs jederseits noch ein Gefäfs mit gesättigter essigsaurer Natronlösung eingeschaltet wurde. Dies Gefäfs wurde mit den erregenden Gefäfsen auf die nämliche Art verbunden, wie vorher die gewöhnlichen Zuleitungsgefäße. Der Erfolg war der erwartete. Jetzt ging in allen Fällen der Strom in der Flüssigkeit von der anderen erregenden Flüssigkeit zur concentrirten Essigsäure.²

¹ FARADAY hat gezeigt, dafs geschmolzener Eisessig nicht leitet. (Experimental Researches in Electricity. Reprinted from the Philosophical Transactions. London. Vol. I. 1839. p. 116. Series IV. No. 405. 407. p. 228. Series VII. No. 675. 773;* — POGGENDORFF'S Annalen u. s. w. 1834. Bd. XXXI. S. 233;* — Bd. XXXIII. S. 309. 447.*) Ich habe bei dieser Gelegenheit dasselbe erfahren. Käuflicher Eisessig, welcher trocknes Lackmuspapier bereits röthete, leitete so schlecht, wie absoluter Alkohol. FARADAY scheint aber, nach der letztangeführten Stelle (No. 773.), der Meinung zu sein, als leite ein Gemisch von Essigsäure und Wasser nicht besser als reines Wasser. Doch hat mir BETZ sehr interessante Messungen mitgetheilt, aus denen folgt, dafs der Widerstand eines solchen Gemisches, gleich dem eines Gemisches von Schwefelsäure und Wasser, bei einem gewissen Verhältnifs der Gemengtheile ein Minimum hat.

² Ich hatte, bei Anstellung der beschriebenen Versuchsreihe vor mehreren Jahren, dem einfach vor dem doppelt kohlen-sauren Natron den Vorzug geschenkt, weil mir kein Zweifel daran zu sein schien, dafs das elektromotorische Verhalten beider Salze das nämliche sein müsse und ich bei dem doppelt kohlen-sauren eine zu stürmische Gasentwicklung fürchtete, wobei mir seine geringe Löslichkeit nicht gegenwärtig war. Ich habe neuerdings nun auch mit diesem Salze die obigen Versuche wiederholen wollen. Merkwürdigerweise aber habe ich die Umkehr des Stromes zwischen essigsauerm Natron nicht beobachten können, und bei Wiederholung des älteren Versuches mit dem einfach kohlen-sauren Natron fand ich einmal dasselbe, ein anderes Mal ging der Strom gar zwischen Kochsalz wie zwischen essigsauerm Natron vom Alkali zur Säure in der Flüssigkeit. Ich weifs mir diese Abweichungen nicht zu erklären, und es gebriecht mir an Zeit, um die Sache durch Versuche in's Reine zu bringen. Ich hätte daher vielleicht am besten gethan, sie ganz mit Still-

Ich rechnete nun fest darauf, daß auch der Wundenstrom seine Richtung umkehren würde bei Anwendung der essigsäuren Natronlösung als Zuleitungsflüssigkeit. Dies war aber nicht der Fall. Der verletzte Finger verhielt sich auch in dieser Lösung heftig positiv gegen den umgekehrten.

Nicht ohne besonderen Zweck eröffnete oben verdünnte Essigsäure die Reihe der Flüssigkeiten, die ich mit concentrirter Essigsäure zwischen Kochsalzlösung und essigsauerm Natron zur Kette verband. Zur Zeit, wo ich diese Versuche anstellte, war mir von den in der vorigen Nummer beschriebenen Erscheinungen erst der Strom zwischen Sohle und Rücken an der Hand und am Fuß in der oben S. 232 beschriebenen Gestalt bekannt geworden, bei der die Ableitung beiderseits durch Salzbäusche geschieht. Es war denkbar, daß dieser Strom herührte von der an der Handsohle reichlicheren Absonderung des freien Essigsäure und Milchsäure enthaltenden Schweißes. Ich wollte wissen, ob verdünnte Essigsäure sich gegen concentrirtere zwischen Kochsalzlösung wirklich negativ verhalte, und ob zwischen essigsaurer Natronlösung der Strom sich umkehren würde. Beides ist, wie man gesehen hat, der Fall. Ich versuchte daher, ob vielleicht der Strom zwischen Handsohle und Handrücken sich gleichfalls umkehren würde bei Anwendung von Bäuschen, die mit essigsaurer Natronlösung getränkt sind. Allein dies traf nicht zu. Abgesehen von einigen Unregelmäßigkeiten, zeigte sich an der Hand und am Fuß der Strom zwischen Sohle und Rücken wie mit den Kochsalzbäuschen. Bei dieser Gelegenheit war es übrigens, wo die oben S. 226 erwähnten Versuche über die Erscheinungsweise der Ungleichzeitigkeitsströme in der essigsäuren Natronlösung angestellt wurden.

Ich habe natürlich nicht versäumt, den Wundenstrom auch in den verschiedenen Zuleitungsflüssigkeiten zu prüfen, auf deren Anwendung ich im Lauf der Untersuchungen über die Hautströme geführt wurde. Dabei fing ich stets damit an, das Verhalten der beiden zum Versuch bestimmten Finger im gesunden Zustande zu ermitteln. Dann brachte ich dem negativen von beiden Fingern einen Stich mit der Lancette an der Rückenfläche des dritten Gliedes bei, und untersuchte

schweigen zu übergehen. Ich habe mir aber bei Darlegung dieser Untersuchungen zum Gesetz gemacht, gerade da, wo sie am wenigsten vollendet sind, den Stand der Fragen am genauesten zu schildern, und wenn ich trotz der jetzt dawider entstandenen Zweifel die ursprüngliche Versuchsreihe im Text habe stehen lassen, so ist dies geschehen, weil die damals beobachtete Uebereinstimmung der Versuche mit der verdünnten Essigsäure, dem destillirten Wasser, dem Eiweiß und dem Serum ihr ein größeres Gewicht zu geben scheint.

den Wundenstrom. Zuletzt überzog ich noch die Wunde mit Klebäther, und überzeugte mich so, daß der Finger sein früheres Verhalten gegen den unverletzt gebliebenen wieder annahm, daß also die bei offener Wunde beobachteten abweichenden Erscheinungen auch wirklich der Wunde zuzuschreiben seien.

Der Erfolg war, daß in der verdünnten Schwefelsäure sowohl als in der Kalihydratlösung der verletzte Finger sich gegen den gesunden positiv verhielt wie in der Kochsalzlösung, und anscheinend eben so stark. Dagegen im Brunnenwasser zeigte sich die Wirkung zwar auch noch in derselben Richtung, aber nicht nur an sich, sondern auch im Verhältniß zum Eigenstrom, ausnehmend viel schwächer. In den anderen Zuleitungsflüssigkeiten überwältigt der Wundenstrom unter allen Umständen den Eigenstrom; die Nadel fliegt immer an die Hemmung, die der im verletzten Finger absteigenden Stromesrichtung entspricht. In Brunnenwasser ist dies nicht der Fall, sondern höchstens erscheint der Eigenstrom durch Verletzung des negativen Fingers vermindert, selten wird er überwogen, so daß der negative Finger durch die Verletzung positiv wird. Es kann vorkommen, daß, wenn man den Versuch mit derselben Wunde nacheinander in Brunnenwasser und gesättigter Kochsalzlösung anstellt, der verletzte Finger sich in Brunnenwasser negativ, in der Kochsalzlösung dagegen positiv gegen den gesunden verhält. Bei alledem läßt sich noch nicht mit Bestimmtheit behaupten, daß die elektromotorische Kraft des Wundenstromes im Wasser eine kleinere sei als in der Salzlösung. Es könnte ebensogut die Kraft des Eigenstromes eine gröfsere sein.

Hier haben wir also zu den beständigen Hautströmen zwischen Hand und Fuß einerseits, der Brust andererseits, und den Strömen zu denen das Ballen der Hände zur Faust Anlaß giebt, versprochenemafsen (S. oben S. 259) eine dritte Klasse unzweifelhafter Hautströme, die ihre Richtung in Zuleitungsflüssigkeiten von der verschiedensten chemischen Beschaffenheit unverändert beibehalten. Und zwar erscheinen diese um so räthselhafter, als es hier nicht einmal mehr, wie bei den beiden vorigen Klassen ähnlicher Ströme, zulässig scheint, sich vorzustellen, daß eine in der Haut vorgebildete elektromotorische Kraft ihnen zu Grunde liegt. Weniger weil auch die Hand einer Leiche viele Tage nach dem Tode noch den Wundenstrom zu zeigen vermag. Sondern der wahre Grund ist der, daß eine Verletzung der Haut zwar an der Summe der Widerstände, nicht aber an der der elektromotorischen Kräfte im Kreise etwas ändern könnte. Nie also könnte durch eine Verletzung die eine Hautstelle positiver gegen die andere gemacht werden, wie es in Wirklichkeit der Fall ist. Es bleibt demnach hier nichts anderes übrig, als

sich zu denken, entweder, dafs durch die Verletzung selber eine elektromotorische Kraft an der Wundfläche erst gesetzt werde, oder, dafs die Wundfläche sich gegen alle Zuleitungsflüssigkeiten, selbst die Kalilauge, positiv verhalte.

Eins ist so schwer zu begreifen, wie das andere. Es ist nun zwar noch eine dritte Auslegung dieser Versuche möglich. Die Wunden darin waren frisch blutend. Die Zuleitungsflüssigkeiten kamen also möglicherweise gar nicht in Berührung mit der Wundfläche, sondern nur mit dem aus der Wunde hervorquellenden Blut. Vielleicht würde, ohne diesen Umstand, die Richtung des Stromes in den verschiedenen Flüssigkeiten eine verschiedene gewesen sein. Indessen ist man, durch diese Betrachtung, für die Erklärung der Thatsachen nicht günstiger gebettet. Das elektromotorische Verhalten des Blutes als Glied einer Kette mit mehreren Flüssigkeiten haben wir oben Bd. I. S. 486. 487 untersucht. Das Blut verhält sich wie eine schwach alkalische Flüssigkeit. Die Berührung der Zuleitungsflüssigkeiten und des Blutes kann also die Quelle des Stromes in den übrigen Versuchen nicht gewesen sein. Denn alsdann hätte der Strom sich in der Kalilauge umkehren müssen. Es müfste also der Strom in der Berührung des Blutes und der Wundfläche entsprungen sein. Und die Kochsalzlösung müfste sich gegen die Wundfläche gleich dem Blute verhalten, da in der Lösung auch nicht blutende Wunden als positiv erkannt worden sind. Wie aber soll wohl die Wundfläche sich so stark positiv gegen das Blut verhalten, dafs dadurch der Strom zwischen Blut und Kalilauge überwältigt wird?

Ich enthalte mich jeder weiteren Erörterung über diese dunklen Erscheinungen, indem ich mich wiederholt bescheide, mich in dem Labyrinth der menschlichen Hautströme zurechtzufinden.

Schließlich habe ich versucht, das elektromotorische Verhalten der Schleimhaut des Mundes und der Oberhaut auszumitteln. Dabei war stets das eine Zuleitungsgefäfs mit einem Bausch versehen, den ich mit der Zungenspitze berührte, während der Körpertheil, dessen Verhalten zur Zunge ermittelt werden sollte, in das andere Gefäfs getaucht wurde. In Kochsalzlösung verhielt sich die Zunge stark positiv gegen Finger, Handsohle, Handrücken und ganze Hand, negativ aber gegen den Ellenbogen. Die Richtung der Ströme zeigte sich unabhängig von der Reihenfolge des Eintauchens. In Brunnenwasser wurde die Zunge nur mit Handsohle, Handrücken und Ellenbogen geprüft. Das Ergebnifs war in Bezug auf die Richtung der Ströme einerlei mit dem in der Kochsalzlösung. Dabei folgten sich im Wasser die Ströme der Stärke nach in der Ordnung, wie sie genannt sind. In der Lösung ist die Stromstärke nicht Gegenstand der Aufmerksamkeit gewesen.

Man könnte, mit Hintansetzung des Ergebnisses am Ellbogen, aus diesen Versuchen den Schlufs ziehen wollen, dafs die Schleimhaut des Mundes sich positiv verhält gegen die Oberhaut. Die natürliche Schleimhaut würde gewissermassen, entsprechend der Lehre der allgemeinen Pathologie, dadurch ihre Verwandtschaft mit der künstlichen Schleimhaut bekunden, wie eine eiternde Wundfläche sie darbietet. Diese Vorstellungswiese scheint um so näher zu liegen, als die Mundschleimhaut und die Wundfläche beide alkalisch reagiren. ALEXANDRE DONNÉ hat bekanntlich behauptet, dafs, wenn man von den Platinenden des Multiplcators das eine der Mundschleimhaut, das andere der Oberhaut anlege, die Nadel einen im Draht von der sauren Oberhaut zur alkalischen Schleimhaut gerichteten Strom angebe.¹ Immer von demselben Gesichtspunkt aus könnte dieser DONNÉ'sche Versuch scheinen, zu dem unsrigen in demselben Verhältnifs zu stehen, wie die BECQUEREL'sche Anordnung der Säure-Alkali-Kette, wo die Platinenden unmittelbar in die ungleichartigen Flüssigkeiten tauchen, zu der bekanntlich einen entgegengesetzten Strom liefernden, wo die Platinenden in zwei Gefäfsse mit Kochsalzlösung tauchen, zwischen denen die ungleichartigen Flüssigkeiten eingeschaltet sind (S. oben S. 268).

Indessen würde diese Schlufsfolge voreilig sein. Es ist vielmehr nicht zu übersehen, dafs die Zunge in den obigen Versuchen sich völlig der Brusthaut ähnlich verhalten hat. Auch gegen die Brust, wie gegen die Zunge, verhielt sich in Kochsalzlösung der Ellbogen positiv, statt negativ, wie die anderen Hautstellen. Es mußte also zuerst das elektromotorische Verhalten von Brust und Zunge gegeneinander untersucht werden. Bei der Ableitung des Stromes mit Bäuschen von beiden Hautstellen, auf die oben S. 222 beschriebene Art, schienen sich beide gleichartig zu verhalten. Als aber an der Brust die Ableitung mittelst des Brustgefäßses geschah, verhielt sich die Zunge erst sehr schwach positiv, dann ganz entschieden, wenn auch noch immer nicht stark, negativ gegen die Brust. Hingegen die oben S. 267 erwähnten Blasenpflasterwunden an meinem Unterarm verhielten sich auf das stärkste positiv gegen die Brust, und die Zunge selber gegen die Wunden war so stark negativ, dafs die Nadel des Multiplcators für den Muskelstrom gegen die Hemmung geführt würde. Es scheint also nicht, als ob man in der angegebenen Art die Mundschleimhaut mit einer Wundfläche elektromotorisch gleich stellen dürfe.

¹ Annales des Sciences naturelles. Seconde Série. 1834. t. I. Zoologie p. 125; * — Annales de Chimie et de Physique. Décembre 1834. t. LVII. p. 405. * — BECQUEREL, Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme. t. IV. Paris 1836. p. 300. * — Vergl. oben Bd. I. S. 26. 111. 487.

8. Von den im lebenden menschlichen Körper durch Muskelzusammenziehung hervorgebrachten Strömen.

(1) Einleitung.

Wir sind jetzt hinlänglich vertraut mit den Mitteln, elektrische Ströme von der Oberfläche des lebenden menschlichen Körpers abzuleiten, und den elektromotorischen Erscheinungen, die sich dabei kundgeben während die Muskeln in Ruhe sind. Wir schreiten nunmehr zu der Untersuchung, ob diese Erscheinungen durch die Zusammenziehung der Muskeln eine Veränderung erleiden, die als der Ausdruck der negativen Schwankung des Muskelstromes angesehen werden könne. Vorher wird es zweckmäfsig sein, uns einige Begriffe klar zu machen, die bisher nur oberflächlich und im Vorübergehen haben berührt werden können.

Es ist oben S. 238 erinnert worden, dafs, abgesehen von dem Zustande der parelektronomischen Schicht, dem Widerstande der Oberhaut und der Nebenschließung durch die Lederhaut, und allein vermöge der Anordnung der Muskeln, der Muskelstrom an den Gliedmaßen unterhalb einer gewissen Grenze, in jeder beliebigen Stärke mit Einschlufs der Null vorhanden sein könne. Ebenso kann er sowohl auf- als absteigend sein. Die negative Schwankung des Muskelstromes hängt ihrer Richtung nach ab von der Richtung des ruhenden Stromes, der sie, wie ihr Name ausdrückt, eben stets entgegengesetzt ist. Ihrer Gröfse nach muß sie der Stärke des ruhenden Stromes stets proportional sein, in sofern diese Stärke bedingt wird durch die Anordnung der Muskeln, den Widerstand der Oberhaut, die Nebenschließung durch die Lederhaut. Allein diese Proportionalität wird dadurch aufgehoben, dafs die parelektronomische Schicht, mit ihren negativen Kräften von veränderlicher Gröfse, wie wir oben S. 147 gefunden haben, keinen Antheil nimmt an der negativen Schwankung. Die Kräfte dieser Schicht scheinen vielmehr bei der Zusammenziehung beständig zu bleiben, während die übrige, positiv wirkende Masse des Muskels in die negative Schwankung verfällt. Die Folge davon ist, dafs ein Muskel mit natürlichem Querschnitt während der Ruhe äufserst schwach wirksam, ja unwirksam, bei der Zusammenziehung dagegen stark negativ wirksam sein kann, und dafs daher auch die negative Schwankung selbst dann noch sichtbar werden kann, wenn sich Nebenschließungen und Widerstände der Wahrnehmung des ruhenden Stromes widersetzen.

Wir haben an den Gliedmaßen des lebenden menschlichen Körpers beständige Ströme meist in aufsteigender Richtung entdeckt. Von einigen dieser Ströme haben wir bereits ausgemacht, dafs sie nicht aus den

Muskeln stammen, sondern Hautströme sind. Sie haben bei der Prüfung in verschiedenen Zuleitungsflüssigkeiten ihre Richtung nicht bewahrt. Nichtsdestoweniger haben wir die Möglichkeit offen lassen müssen, daß diese Ströme einen Antheil in sich bergen, der dem Muskelstrom angehört. Hätten wir am Menschen, wie am Frosch, ein Mittel ausfindig gemacht, die Hautungleichartigkeiten zu zerstören, hätte sich z. B. die Kalihydratlösung, wie es einen Augenblick den Anschein hatte, zu diesem Behuf tauglich gezeigt, so würde es uns auch am Menschen vielleicht, wie am Frosch, gelungen sein, jenen Antheil rein darzustellen. Jetzt aber bietet sich uns dazu, in der Beobachtung der Ströme der Gliedmassen während der Thätigkeit der Muskeln, ein neues und wirksames Mittel dar. Es ist klar, enthalten jene Ströme einen Antheil, der von den Muskeln herrührt, so muß dieser Antheil bei der Zusammenziehung in die negative Schwankung verfallen. Diese Schwankung wird sich als eine Verminderung sowohl, wie auch als eine Vermehrung des Hautstromes kundgeben können, je nachdem der Muskelstrom dem Hautstrom gleich oder entgegengesetzt gerichtet ist. Gelingt uns die Beobachtung einer solchen Veränderung des Hautstromes bei der Zusammenziehung, und unter Umständen, wo sie nur als der Ausdruck der negativen Schwankung betrachtet werden kann, so können wir aus dem Sinn der Veränderung also leicht die Richtung des ruhenden Stromes entnehmen. Nicht so mit seiner Gröfse. Die Gröfse der negativen Schwankung würde sich, wegen der parelektronomischen Schicht, selbst dann nicht vorhersehen lassen, wenn wir mit Bestimmtheit wüßten, ein wie großer Bruchtheil des Stromes der ruhenden Gliedmasse aus den Muskeln stammt. Umgekehrt können wir also auch aus der etwa beobachteten Gröfse der negativen Schwankung keinen Schluß auf die Gröfse jenes Bruchtheils ziehen. Die Schwankung könnte sogar außerordentlich groß sein im Verhältniß zum Strom der ruhenden Gliedmasse, und wir dürften nicht einmal schliessen, daß jener Bruchtheil ein irgend merklicher gewesen sei.

Dies ist die theoretische Grundlage der bevorstehenden Untersuchung, bezüglich auf die Fälle, wo die bei ruhenden Muskeln beobachteten Ströme bereits zurückgeführt sind auf bloße Hautströme. Dies ist jedoch, wie man sich erinnert, noch nicht überall geschehen. Die Ströme von Hand und Fuß zur Brust haben die erste Probe bestanden, die ein Strom bestehen muß, um für den Muskelstrom gelten zu können. Sie haben, in den verschiedenen Zuleitungsflüssigkeiten, keinen Unterschied ihrer Erscheinungsweise erkennen lassen, der nicht einfach auf einen Unterschied des Widerstandes gedeutet werden könnte. Um die Erörterung über die Hautströme, so gut es angeht, zu Ende zu führen, haben wir uns zwar oben S. 245 gezwungen gesehen, den Ergebnissen der fol-

genden Untersuchung vorzugreifen, wodurch auch die Ströme von Hand und Fuß zur Brust in das Gebiet der reinen Hautströme verwiesen werden. Dies wollen wir indess jetzt als nicht geschehen betrachten. Wir wollen uns auf den Standpunkt zurückversetzen, auf dem wir uns daselbst befanden. Wir denken uns, wir schwebten noch in Ungewissheit darüber, ob nicht jene Ströme wirklich der Muskelstrom seien. Indem wir also jetzt darauf ausgehen, die Veränderung dieser Ströme bei der Zusammenziehung zu beobachten, betreten wir für sie zugleich den zweiten der beiden Wege, die oben S. 239 angegeben wurden, um zu entscheiden, ob ein Strom der Muskelstrom sein könne, oder ob er nur ein Hautstrom sei. Ist der Strom von Hand und Fuß zur Brust der Muskelstrom, so muß er bei der Zusammenziehung eine angemessene negative Schwankung seiner Stärke wahrnehmen lassen. Läßt er eine solche Schwankung vermissen, so kann er der Muskelstrom nicht sein.

Doch ist dies nicht so zu verstehen, als ob aus dem Erscheinen der negativen Schwankung in angemessener Größe nun auch mit Bestimmtheit folge, daß der fragliche Strom der Muskelstrom sei. Man denke sich, neben einem aufsteigenden Hautstrom, einen gleichfalls aufsteigenden Muskelstrom in der Gliedmaße vorhanden, aber durch die negativen Kräfte der parelektronischen Schicht vollständig aufgewogen, so daß kein merklicher Bruchtheil davon nach außen gelangt. Es hat keine Schwierigkeit, sich vorzustellen, daß die negative Schwankung dieses Muskelstromes bei der Zusammenziehung gerade so groß ausfalle, als sie sein müßte, wäre der Hautstrom ein Muskelstrom, und in negativer Schwankung begriffen. Diese letztere Bemerkung steht übrigens hier nur der Vollständigkeit halber. Wir werden keine Gelegenheit finden, sie anzuwenden. Der Strom von Hand und Fuß zur Brust läßt erwähntermassen bei der Zusammenziehung keine negative Schwankung von angemessener Größe erkennen.

Was die Verfahrensart bei den Versuchen betrifft, so sieht man leicht, daß wir uns hier, um Spuren der negativen Schwankung des Muskelstromes aufzufassen, in weit höherem Grade durch die Umstände begünstigt finden, als dies bei der Erforschung des ruhenden Stromes der Fall war.

Erstens werden wir die Leichtigkeit haben, die Hautströme durch die Methode der Compensation aus dem Spiel zu bringen, indem wir nämlich die Ableitung an symmetrischen Hautstellen, und dann die Zusammenziehung nur einseitig vornehmen. Also z. B. wir tauchen beide Hände ein, lassen die Nadel unter dem Einflusse des Eigenstromes dem Nullpunkt nahe zur Ruhe kommen, und ziehen dann die Muskeln des

einen Armes zusammen. Findet dabei eine elektromotorische Wirkung statt, so trifft sie die Nadel in der günstigsten Lage, damit sie möglichst stark abgelenkt werde. Es sind keine heftigen Ströme vorhanden mit starken Ladungen, durch deren leicht schwankende Gröfse man Gefahr liefe getäuscht zu werden. Mit einem Worte, diese Versuchsweise ist geeignet, uns einigen, wenn auch nicht vollen Ersatz zu bieten für das Hinderniß, welches für die Untersuchung hier im Allgemeinen aus dem bereits beklagten Umstand erwächst, daß es uns nicht gelungen ist, am Menschen, wie am Frosch, ein Mittel zur Vernichtung der Hautströme ausfindig zu machen.

Allein selbst in dem Falle, wo wir, auf jene Versuchsweise verzichtend, uns bequemen müssen, bei Gegenwart der ungeschwächten Hautströme auf die Spur der negativen Schwankung zu fahnden, sind wir hier doch viel günstiger gestellt, als bei der Aufsuchung des ruhenden Muskelstromes. Zwar wenn wir uns jetzt damit begnügten, die vorigen Versuche mit dem einzigen Unterschiede zu wiederholen, daß wir die Glieder statt wie bisher mit erschlafften, mit angespannten Muskeln in die Gefäße tauchten, in diesem Falle würde unstreitig die negative Schwankung des Muskelstromes demselben Schicksale verfallen wie der ruhende Strom selber. Sie würde sich verlieren in dem Gedränge der durch die Hautungleichartigkeiten bedingten heftigen Nebenwirkungen. Allein es liegt wohl nichts näher als die Einsicht, daß wir uns hier desselben Kunstgriffes zu bedienen haben, der uns schon bei der ersten Entdeckung der negativen Schwankung des Muskelstromes am Gastroknemius des Frosches so wesentliche Dienste geleistet hat. Auch hier wäre es uns schwer gewesen, den Einfluß zu erkennen, den die Zusammenziehung auf den Strom äußert, wenn wir einfach den zusammengezogenen, statt wie sonst den erschlafften Muskel, in den Multiplicatorkreis eingeführt hätten. Erst nachdem uns auf anderem Wege jener Einfluß bekannt geworden war, gelang es uns, ihn auch bei diesen Versuchen zu unterscheiden (S. oben Abth. I. S. 60). Jener andere Weg aber bestand darin, daß wir zuerst den Strom des erschlafften Muskels im Multiplicatorkreise einen beständigen Werth annehmen liefsen. Wurde dann der Muskel in Tetanus versetzt, und es fand, wie es wirklich der Fall ist, ein Einfluß des Tetanus auf die Stärke des Stromes statt, so mußte sich dieser Einfluß zu erkennen geben durch eine Veränderung des Standes der Nadel, von der sich mit tausend Gründen beweisen liefs, daß sie, gleichviel ob mittelbar oder unmittelbar, doch von nichts herrühren könne als von der Zusammenziehung des Muskels. Dies Verfahren mußte selbst dann sicher bleiben, wie es sich denn in Wahrheit auch erwies, wenn außer dem Strom des ruhenden Muskels

selber auch noch andere Ströme, z. B. der eines zweiten Muskels, im Kreise gegenwärtig waren.

Damit ist uns nun auch hier der Weg gezeigt. Wir werden also zuerst in hergebrachter Weise die Glieder mit erschlafte Muskeln in den Multiplicatorkreis einführen. Es werden sich dabei die bekannten elektromotorischen Wirkungen kundgeben. Wir werden den Zeitpunkt abwarten, wo die Hautströme im Multiplicatorkreise beständig geworden sind. Erst dann werden wir die Zusammenziehung vornehmen. Ist sie von einer elektromotorischen Wirkung begleitet, die in den Bereich der Empfindlichkeit des Multiplicators für den Nervenstrom fällt, so kann uns diese Wirkung nicht entgehen. Sie wird mit aller Sicherheit zu beobachten sein, wofern nur dafür gesorgt ist, daß die Hautströme bei der Zusammenziehung beständig bleiben.

Natürlich gelten diese beiden Bedingungen für die Erreichung unseres Zieles, hinlängliche Stärke der erfolgenden Wirkung und Beständigbleiben der Hautströme, auch bei der ersterwähnten Methode der Compensation. Auf die Verwirklichung dieser beiden Bedingungen kommt also jetzt Alles an.

Was die erste Bedingung betrifft, so können wir begreiflich nur soviel dazu thun, daß wir eben die Zusammenziehung in der Weise bewerkstelligen, in der von ihr die stärkste Wirkung auf die Nadel zu erwarten steht. Die Zusammenziehung werden wir hier natürlich durch den Willen hervorbringen. Aber so wenig als wir uns bei der auf elektrischem, mechanischem, chemischem, kaustischem Wege vermittelten Zusammenziehung begnügen konnten mit einer einmaligen Zuckung (S. oben Abth. I. S. 30 ff.), so wenig wird dies hier erlaubt sein. Vielmehr wird auch hier stets die Zusammenziehung tetanisch sein müssen, d. h. der Art, daß die Muskeln möglichst lange in möglichst starker Spannung beharren.

Doch liegt es in der Natur der Dinge, daß dies hier nicht, wie beim Frosch, stets wird für alle Muskeln der Gliedmaßen zugleich der Fall sein können. Denn der möglichst starken Anspannung sämtlicher Muskeln einer Gliedmaße entspricht eine bestimmte Stellung der letzteren, am Beine z. B., wegen des Uebergewichtes der Streckmuskeln, die Streckung. Es wird nun, wie man sich leicht denken kann, nicht immer zutreffen, daß diese Stellung der Gliedmaße sich auch zugleich zur bequemen Ableitung des Stromes schickt. Diese letztere Bedingung ist aber sichtlich eine so wesentliche zum Gelingen des Versuches, daß vielmehr sie es ist, wodurch vor Allem die Stellung der Gliedmaße bestimmt wird. Die zur Ableitung des Stromes bequemste Stellung muß also zuerst ermittelt, und es müssen alsdann den beiden antagonistischen

Muskelgruppen solche Spannungen ertheilt werden, daß sie in der so gegebenen Stellung einander das Gleichgewicht halten.

Hinsichtlich des zweiten Punktes, daß nämlich die Hautströme bei der Zusammenziehung unverändert bleiben sollen, ist nach dem oben S. 222 Gesagten zunächst klar, daß auf den Gebrauch von Bäuschen zur Ableitung der Ströme hier ganz und gar Verzicht zu leisten ist. Denn bei der Anspannung der Muskeln ändert sich die Gestalt der von den Bäuschen berührten Körperoberfläche, und die Haut verschiebt sich darunter. Es können also leicht Hautstellen der Berührung der Bäusche entzogen werden und andere zur Berührung damit kommen. Dies kann Anlaß geben zur Erzeugung von Strömen, welche um so leichter mit der negativen Schwankung zu verwechseln sind, als über die Richtung dieser letzteren, ob sie in Bezug auf einen herrschenden Hautstrom positiv oder negativ sei, gar nichts im Voraus bekannt ist. Es liegt nahe, um diesen Uebelstand zu vermeiden, die Bäusche auf irgend eine Art, z. B. mit Hülfe einer Rollbinde, so fest an die Körperoberfläche anzudrücken, daß sich bei einer Gestaltveränderung dieser Oberfläche weder Punkte der Bäusche von der Haut ablösen, noch neue Punkte derselben damit in Berührung kommen können. Allein auch dies ist eitel, denn bei der Zusammenziehung verändert der Querschnitt der Gliedmaße nicht nur seine Gestalt, sondern auch seine Größe. Die dadurch bedingte Veränderung der Kraft, womit die Bäusche der Körperoberfläche angedrückt werden, reicht allein schon hin, wie oben S. 222 gesagt wurde, um starke und unregelmäßige Ströme hervorzubringen.

Noch mehr wie bei den früheren Versuchen sind wir also bei den hier bevorstehenden auf die Methode des Eintauchens, auf den Gebrauch der gewöhnlichen Zuleitungsgefäße, der Hand- und Fußgefäße, und des Brustgefäßes beschränkt. Bei diesem Verfahren genügt es, so weit wir bis jetzt urtheilen können, damit die Hautströme bei der Zusammenziehung unverändert bleiben, daß dabei keine neuen Hautstellen benetzt werden. Es muß also die Tiefe dieselbe bleiben, bis zu der die Finger, die Hände u. s. w. in die Zuleitungsflüssigkeit tauchen.

Um diesen Zweck, bei den verschiedenen Anordnungen, von denen wir Gebrauch machen werden, besser zu erreichen, sind verschiedene Vorkehrungen nöthig, die gehörigen Ortes beschrieben werden sollen. Abgesehen von diesen Vorkehrungen, wodurch die Stellung der Gliedmaßen bei der Zusammenziehung gesichert wird, lassen sich noch verschiedene Kunstgriffe anwenden, um selbst bei einer stattfindenden Schwankung in der Tiefe des Eintauchens doch die Höhe beständig zu erhalten, bis zu welcher die eingetauchten Theile in leitender Berührung mit der Flüssigkeit sind. Diese Kunstgriffe sind die nämlichen, die wir bereits

oben Bd. I. S. 214 eronnen haben, um dasselbe für die Zuleitungsplatten des Multiplicators zu leisten. Man kann also die Finger in der Höhe, bis zu der sie eingetaucht sind, mit Klebäther in einer solchen Breite bestreichen, daß bei etwaigen Schwankungen der Finger doch unmöglich jemals weder der obere Rand des Klebätherringes unter, noch der untere über die Oberfläche der Zuleitungsflüssigkeit kommen kann. Oder man kann die Bekleidung der Zuleitungsplatten nachahmen, indem man die Finger mit Fließpapier umwickelt, welches sich mit der Lösung tränkt, und Ursach wird, daß die Finger auch beim Herausziehen stets in gleicher Art mit der Flüssigkeit benetzt bleiben. Dasselbe läßt sich an den Händen mit gewirkten Handschuhen, an den Füßen mit Socken erreichen.

Indessen sind nach meinen zahlreichen Erfahrungen diese künstlichen Versuchsweisen überflüssig. Es genügt vielmehr, ehe man die Zusammenziehung vornimmt, die Theile, von denen die Ableitung geschieht, etwas tiefer eingetaucht zu halten, als man es während der Zusammenziehung selber zu thun gedenkt. Wenn man dann diese Theile etwas aus der Flüssigkeit herauszieht und wieder eintaucht, jedoch so, daß keine neue Hautstelle benetzt wird, findet keine irgend in Betracht kommende elektromotorische Wirkung statt.

Die allgemeinen hier gegebenen Regeln sind, ohne daß es ausdrücklich gesagt werde, bei den jetzt zu beschreibenden Versuchen stets als befolgt vor auszusetzen.

Als Zuleitungsflüssigkeit bedienen wir uns zunächst nun wieder unserer gewöhnlichen, der gesättigten Kochsalzlösung.

(11) Von der elektromotorischen Wirkung des willkürlichen Tetanus an den verschiedenen Gliedmaßen des menschlichen Körpers.

Wir beginnen damit, den menschlichen Körper auf die nämliche Weise in den Multiplicatorkreis einzuführen, wie dies mit dem lebenden unversehrten Frosch zu geschehen pflegt, nämlich so, daß die Ableitung einerseits an beiden Füßen, andererseits am Rumpf stattfindet. Es werden also die Füße in die mit Kochsalzlösung gefüllten Fußgefäße gesetzt, und die über die eine kurze Seitenwand den Fußspitzen gegenüber in die Lösung herabhängenden Zuleitungsplatten mit dem einen Multiplicatorende verknüpft. Die Ableitung am Rumpfe geschieht allerdings nicht, wie beim Frosch, vom Rücken mit Hilfe des Sattelbauches, sondern von der Brust mittelst des Brustgefäßes. Dies pflege ich hier etwas anders anzuwenden, als früher, wo es sich darum handelte, die beständige elektromotorische Wirkung zwischen einem Punkte des Rumpfes und einem solchen der Gliedmaßen zu ermitteln. Dort mußte

man schnell, mit Ausschluß des Körpers, die ableitende Vorrichtung mittelst eines Bausches in sich schliessen können, um durch die Ladungen von dem Vorhandensein eines beständigen Stromes Bestätigung zu erhalten. Es geschah daher die Ableitung am Brustgefäß in der Art, daß das eine der gewöhnlichen Zuleitungsgefäße durch einen Bausch mit jenem in Verbindung gebracht wurde. Hier fällt diese Verwicklung fort. Die Zuleitungsplatten können unmittelbar in das Brustgefäß getaucht werden. Zu diesem Zweck werden sie in eine hölzerne Blechklemme eingespannt, wie sie in Fig. 88. Taf. I. Fig. 122. Taf. IV dieses Bandes abgebildet ist. Zugleich mit ihnen wird ein Streifen Blattkupfer von der Breite der Klemme, der sich über beide Platten fort erstreckt, und ein dünner überspannener und gefirniffter Kupferdraht eingespannt. Die nach unten gewendete Fuge der Klemme wird rings um die Platten mit Kolophoniumkitt verstrichen. Die Klemme selber paßt genau in Eindrücke in den seitlichen Rändern des Brustgefäßes, welche mit der Klemme gemacht wurden, nachdem die Ränder durch heißes Wasser in den knetbaren Zustand versetzt worden. Endlich ist an dem Brustgefäß eine Klemmschraube befestigt, an welche der von den Zuleitungsplatten herkommende Draht befestigt wird. Ein anderer langer Draht geht von dieser Klemmschraube zum anderen Multiplicator-ende. Diese Einrichtung hat vor derjenigen, welche früher nöthig war, den Vortheil, daß man dabei den Rumpf wenigstens so frei bewegen kann, als es die Rücksicht auf die Dichtigkeit des Verschlusses des Brustgefäßes verstattet (S. oben S. 234).

So ist also jetzt, gewissermaßen, das GALVANI'sche Präparat des lebenden menschlichen Körpers in den Multiplicatorkreis eingeschaltet. Von den beiden Füßen nach dem Brustgefäß ist im Körper ein heftiger aufsteigender Strom vorhanden, der die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom auf 60—80° beständiger Ablenkung hält. Es kommt jetzt nur noch darauf an, daß sämtliche Muskeln beider Beine anhaltend in möglichst starke Zusammenziehung versetzt werden. Die bequemste Stellung dazu ist für mich diejenige, wobei ich, die Füße in den Fußgefäßen, auf einem Gegenstande, z. B. einem Schraubessel, von solcher Höhe reite, daß die beiden Beine dabei im Kniegelenk in einen stumpfen Winkel gebeugt sind.

Sobald ich nun die Zusammenziehung vornehme, geschieht wirklich ein Ausschlag der Nadel. Durch diesen Ausschlag wird die Nadel näher an die Hemmung geführt.

Der Strom, der bei der Zusammenziehung im Bein entsteht, erscheint also als Verstärkung des bereits vorhandenen aufsteigenden Stromes, er ist selber aufsteigend. Der bereits vorhandene aufsteigende

Strom erleidet also bei der Zusammenziehung eine positive und keine negative Schwankung, geschweige eine solche von angemessener Größe. Er kann also der Muskelstrom nicht sein. Dies ist die Thatsache, auf deren Grund die Natur jenes Stromes als eines bloßen Hautstromes schon oben S. 245 behauptet worden ist. Wenn aber der positive Zuwachs des aufsteigenden Hautstromes bei der Zusammenziehung wirklich von der negativen Schwankung des Muskelstromes der Beine herrührt, so ist also dieser Strom in den Beinen, statt aufsteigend wie im Frosch, vielmehr absteigend.

Der Versuch gelingt natürlich auch mit nur einem Beine. Der Ausschlag fällt aber dabei noch kleiner aus. Aus dieser Kleinheit des Ausschlages beeile man sich nicht, auf eine gleiche Geringfügigkeit der Wirkung zu schliessen, die ihm zu Grunde liegt. Vielmehr ist zu bedenken, dafs der Ausschlag in einer so hohen Breite der Theilung vor sich geht, dafs ihm, so klein wie er ist, in Bezug auf die Empfindlichkeit des Multiplicators für den Nervenstrom doch eine ganz ansehnliche elektromotorische Wirkung entsprechen dürfte.

Dies zeigt sich sogleich bei Wiederholung des Versuches in einer Gestalt, die uns jetzt wohl sehr nahe liegt. Anstatt nämlich beide Fußgefäße mit dem einen, und das Brustgefäß mit dem anderen Multiplicatorende zu verbinden, lassen wir letzteres fort und verbinden von den beiden Fußgefäßen jedes mit einem Multiplicatorende. Jetzt stellt sich daher im Kreise, in dem die beiden Beine in entgegengesetzter Richtung eingeschaltet sind, ein mehr oder weniger vollkommenes Gleichgewicht her, je nach dem ein schwächerer oder stärkerer Eigenstrom der Füße vorhanden ist. Die Anordnung ist in Bezug auf den menschlichen Körper völlig dieselbe als die oben S. 185 beschriebene in Bezug auf den Frosch. Sie ist, für die Beine, die Verwirklichung des oben S. 278 entworfenen Versuchsplanes, der auf die Methode der Compensation gegründet ist.

Beim Frosch tetanisirten wir vom Rückenmark aus auf elektrischem Wege oder durch Strychnin, und mußten daher, da jetzt nur noch das eine Bein in Starrkrampf gerathen darf, das Sitzbeingeflecht der anderen Seite zerstören. Am lebenden menschlichen Körper, wo das Tetanisiren des einen Beines durch den Willenseinflufs geschehen kann, ist zur Beschränkung dieses Einflusses auf nur das eine Bein keine weitere Vorkehrung nothwendig.

Der Erfolg des Versuches ist im Wesentlichen der nämliche wie bei den vorher beschriebenen Gestalten desselben. Es entsteht, beim Anspannen sämtlicher Muskeln des einen Beines, ein Ausschlag, der einen in diesem Bein aufsteigenden Strom anzeigt. Da aber diesmal

der Ausschlag vom Nullpunkt oder von seiner Nachbarschaft aus entspringt, so fällt er, trotz dem weit größeren Widerstande des Kreises, doch viel größer aus, als bei der vorigen Anordnung. Er beläuft sich nun bei mir auf 40–60°.

Läfst man die Nadel zur Ruhe kommen, und spannt die Muskeln des anderen Beines an, so hat der Ausschlag die entgegengesetzte Richtung im Kreise. Spannt man beide Beine zugleich an, so müßten sich also im Grunde ihre Wirkungen aufheben. Dies ist indess nur selten der Fall. Meist erhält man auch so Ausschläge, allein bald in der einen, bald in der anderen Richtung, bald stark, bald schwach. Als Grund davon läßt sich angeben, daß zwar die Wirkungen beider Beine im Augenblick der Zusammenziehung einander entgegengesetzt sind, aber weder an Größe gleich, noch genau in demselben Augenblick eintretend, noch endlich denselben Verlauf in der Zeit nehmend.

Dieselben Versuche, die wir so eben mit den Beinen angestellt haben, lassen sich natürlich auch mit den Armen anstellen. Es bleiben alle Vorkehrungen die nämlichen, nur daß an Stelle der Fußgefäße die Handgefäße treten.

Bei dieser Versuchsweise ist jedoch die äußerste Obhut zu verwenden darauf, daß man nicht getäuscht werde durch die in der vorletzten Nummer (6) beschriebene räthselhafte Wirkung, vermöge welcher die zur Faust geballte Hand sich stark positiv verhält gegen die schwach gebeugte, und viel weniger negativ als diese gegen die Brusthaut. Da es nicht möglich ist, bei geballter Faust die Muskeln des Unterarmes anzuspannen, ohne dabei die Kraft zu verändern, mit der man die Hand zur Faust ballt, so muß man den Versuch mit schwach gebeugten Fingern anstellen. Daraus entspringt jedoch ein namhafter Uebelstand. Man fühlt nämlich durchaus, beim Anspannen sämtlicher Muskeln der Arme, das Bedürfnis eines Stützpunktes für die Hände, und es ist unglaublich, wie viel bei diesen Versuchen darauf ankommt, daß die größte Sicherheit und Bequemlichkeit für die vorzunehmende Muskelanstrengung obwalte. Zuerst hatte ich in folgender Weise gesucht, diesem Bedürfnis abzuhelfen. Von einander gegenüberliegenden Punkten des Randes des Handgefäßes liefs ich in's Innere desselben zwei Oesen hinabhängen, die aus einem starken Strang von Gutta-percha gebogen waren. In diesen Oesen ruhten die Enden eines gefirniften runden Holzstabes von etwa 30^{mm} Durchmesser, dessen Axe also in einem Durchmesser einer wagerechten Querebene des Gefäßes in einiger Höhe über dem Boden zu liegen kam. Diese Stäbe in beiden Gefäßen ergriff ich mit den Händen, und so liefs sich die Anspannung sämtlicher Armmuskeln sehr schön vollführen. Allein gerade bei

dieser Gelegenheit wurde ich auf die Beobachtung der elektromotorischen Wirkung beim Faustballen geführt. Es mußte also diese sonst so vortheilhafte Versuchsweise aufgegeben werden. Am besten würde sie vielleicht zu ersetzen sein dadurch, daß man im Inneren des Gefäßes einen Stab von nur etwa 10^{mm} Durchmesser in derselben Art anbrächte, wie vorher den dickeren, und die Hand darauf mit Daumen und Zeigefinger rittlings stützte.

Ich habe dies Verfahren nicht in's Werk gesetzt, sondern mich damit begnügt, die Spitzen der vier ersten Finger auf den Boden des Gefäßes zu stützen. Dabei stelle ich die Gefäße in solcher Höhe auf, daß ich, entweder im Stehen oder im Sitzen, bei erschläft herabhängenden Armen den Boden der Gefäße leicht mit den Fingern erreichen kann. So läßt sich das Anspannen sämtlicher Muskeln der Arme mit ziemlicher Bequemlichkeit und Sicherheit bewerkstelligen.

Der Erfolg des Versuches mit den Armen ist in jeder Hinsicht der nämliche wie mit den Beinen. Verbindet man das Brustgefäß mit dem einen und das eine oder beide Handgefäße mit dem anderen Multiplikatorende, so hat man einen starken aufsteigenden Strom dauernd im Kreise, und dieser Strom wird beim Anspannen sämtlicher Armmuskeln verstärkt.

Es gelten folglich hier dieselben Schlußfolgerungen, die oben S. 284 aus dem Ergebnifs des Versuches mit den Beinen gezogen wurden. Da der Strom von der Hand zur Brust eine angemessene negative Schwankung vermissen läßt, so ist er nicht der Muskelstrom, er kann nur ein Hautstrom sein. Ist aber die elektromotorische Wirkung, die den willkürlichen Tetanus der Arme begleitet, der Ausdruck der negativen Schwankung des Muskelstromes der Arme, so muß dieser Strom im Arm wie im Bein absteigend sein.

Läßt man das Brustgefäß fort, und verbindet jedes der beiden Handgefäße mit dem einen Multiplikatorende, so herrscht annähernd Gleichgewicht im Kreise, und beim Anspannen des einen Armes erfolgt ein Ausschlag von 40—60°, der für beide Arme die entgegengesetzte Richtung hat, indem er stets einen in dem angespannten Arme aufsteigenden Strom anzeigt. Spannt man beide Arme zugleich an, so erhält man, wie oben von den Beinen, der Größe und Richtung nach unregelmäßige Ausschläge, in denen sich der Widerstreit der in beiden Armen aufsteigenden Ströme zu erkennen giebt.

Ueber die Gestalt des Versuches, wobei man die Hände in den Handgefäßen hat, muß ich im Allgemeinen bemerken, daß sie mir stets, ich weiß nicht recht warum, als höchst unbequem erschienen ist. Nach meinem Gefühl lassen sich bei der Stellung des Körpers und der Arme,

die durch die übrige Anordnung geboten ist, die Muskelkräfte der Arme nicht recht entfalten. Ich gebe daher entschieden den Vorzug der folgenden Versuchsweise, obschon dabei der Widerstand des Kreises freilich größer ist.

An Stelle der Hände in die Handgefäße, taucht man einen oder mehrere Finger jeder Hand in die gewöhnlichen Zuleitungsgefäße. Diese werden am Rande des Arbeitstisches in geringer Entfernung von einander so aufgestellt, wie man es in Fig. 147. Taf. V. abgebildet sieht, und wie es mit Vortheil in allen Versuchen geschieht, wo die Finger eingetaucht werden sollen. Es ist gleichgültig, welche Finger und wieviel eingetaucht werden. Allein es ist bei weitem am vortheilhaftesten, sich der Zeigefinger zu bedienen. Diese kann man nämlich am weitesten vorstrecken, und daher beim Gebrauch derselben am leichtesten vermeiden, daß noch andere Punkte der Hand mit der Wand des Zuleitungsgefäßes in Berührung kommen, wodurch Ströme entstehen, sobald die Wand nicht völlig trocken ist. Um diesem Zufall um so sicherer vorzubeugen und um zu verhindern, daß die Tiefe schwanke, bis zu der man die Finger eingetaucht hält, ist es durchaus nothwendig, daß die Hände während der Muskelanstrengung einen Stützpunkt haben. Dies läßt sich auf verschiedene Art bewerkstelligen. Die Einrichtung, bei der ich stehen geblieben bin, sieht man in Fig. 147 abgebildet.

Zur Seite der Zuleitungsgefäße, nach außen von denselben, sind am Rande des Tisches Zwingen angeschraubt. Diese Zwingen sind aus einem einzigen Stück geschnitzt. In ihrem Rücken läuft ein drehrunder Stab senkrecht auf und nieder, und läßt sich mittelst Klemmschrauben in jeder Höhe feststellen. Jeder dieser Stäbe trägt ein Stück, welches einer Wetterfahne nicht unähnlich sieht. In dem Blatt der Fahne ist aber ein kreisförmiges Loch von etwas mehr als 32^{mm} Halbmesser ausgeschnitten, so daß das Blatt einen Ring vorstellt. Die Fahnen sind senkrecht auf den Rand des Tisches gestellt, mit ihren Ringen nach dem Tisch hinsehend. Durch die Ringe geht ein runder Stab von 43^{cm} Länge und 32^{mm} Durchmesser und ist mit Leichtigkeit darin drehbar. Knöpfe an seinen beiden Enden verhindern, indem sie gegen die Ringe stoßen, daß der Stab sich in der Richtung seiner Axe verschiebe. Der Stab wird wagerecht vor der Front der Zuleitungsgefäße aufgestellt, seine Axe etwas über ihrem Rande, und so nahe an dieselben, daß, wenn man sich die cylindrischen Gefäße in die Höhe fortgesetzt denkt, ihr Umfang den des Stabes gerade berühren würde. Man setzt sich an den Tisch, faßt den Stab mit beiden Händen, und indem man ihn, in seiner oberen Hälfte, von sich abdreht, taucht man die Zeigefinger in die Zuleitungsgefäße ein.

Der Elbogen wird beim Anspannen etwas in die Höhe gehoben (S. die Fig.). Die Finger dürfen den Grund der Gefäße berühren. Es tauchen dabei die beiden letzten Fingerglieder in die Lösung ein. So befindet man sich, nach meinem Gefühl, wie auch nach dem der zahlreichen Personen, welche diesen Versuch unter meiner Leitung angestellt haben, in einer überaus bequemen Lage, um die verschiedenen Muskelgruppen des Armes in die heftigste Spannung zu versetzen, welche die Stellung des Armes zulässt (S. oben S. 280), ohne dass man irgend Gefahr liefe, dabei die Tiefe des Eintauchens zu verändern, oder die Zuleitungsgefäße mit neuen Punkten der Hand zu berühren.

Ist jedes der beiden Zuleitungsgefäße mit einem Multiplicatorende verbunden, die Nadel unter dem Einflusse des Eigenstromes in größerer oder geringerer Nähe des Nullpunktes zur Ruhe gekommen und man spannt die Muskeln des einen Armes an, so entsteht sofort ein Ausschlag, der einen aufsteigenden Strom in dem Arm anzeigt, wie wir ihn bereits bei Anwendung der Handgefäße beobachtet haben. Der Ausschlag fällt auch, trotz des großen Widerstandes des Kreises, nicht viel kleiner aus, weil eben die Anordnung eine so sehr viel bequemere ist für die Entfaltung der Muskelkräfte der Arme. Er beträgt 30—40, ja sogar 50°. Das Ergebniss der gleichzeitigen Anspannung der Muskeln beider Arme ist das nämliche wie bei Anwendung der Handgefäße. Mit dem Brustgefäß als dem einen, und dem einen oder beiden Zuleitungsgefäßen als dem anderen Multiplicatorende, habe ich den Versuch nicht angestellt. Es ist aber keine Frage, dass er im Wesentlichen denselben Erfolg liefern würde, wie bei Anwendung der Handgefäße statt der gewöhnlichen Zuleitungsgefäße.

Wir haben nun die elektromotorische Wirkung des willkürlichen Tetanus in den oberen und in den unteren Gliedmaßen des menschlichen Körpers erkannt. Es giebt eine bequeme Art, bei einer und derselben Anordnung beide Versuche anzustellen. Sie besteht einfach darin, die beiden Füße in die beiden Fußgefäße zu tauchen, die mit dem einen Multiplicatorende verknüpft sind, die beiden Hände aber in die beiden Handgefäße, die mit dem anderen Multiplicatorende in Verbindung stehen. Dabei erhält man, wie man sich erinnert, einen starken Strom, der bei Anwendung der gesättigten Kochsalzlösung als Zuleitungsflüssigkeit im Bein manchmal aufsteigend, meist jedoch, und namentlich bei längerer Dauer des Eintauchens, fast stets absteigend ist (S. oben S. 236). Gleichviel welcher Strom herrsche, ist er im Multiplicatorkreis beständig geworden, und man spannt die Muskeln der Beine an, so erfolgt ein in den Beinen aufsteigender, in den Armen absteigender Ausschlag. Der Ausschlag hat die umgekehrte Richtung, wenn man die Muskeln der

Arme anspannt. Der in Bezug auf die herrschende Strömungsrichtung negative Ausschlag ist dabei natürlich der grössere. Ist z. B. der Strom in den Beinen absteigend, und die Nadel verweilt beständig auf etwa 60° , so kann es geschehen, daß sie beim Anspannen der Armmuskeln auf 80° , beim Anspannen der Beinmuskeln auf -40° getrieben wird. Man kann den Versuch auch nur mit einem Arm und einem Bein anstellen. Der Erfolg ist im Wesentlichen derselbe, nur daß die Wirkung etwas kleiner ausfällt. Man könnte auch den Versuch mit beiden Armen und Beinen noch dahin abändern, daß man das eine Hand- und das eine Fußgefäß mit dem einen, das andere Hand- und das andere Fußgefäß mit dem anderen Multiplicatorende verknüpfte. Dabei müßte sich bei ruhenden Muskeln ein leidliches Gleichgewicht im Kreise herstellen, nach demselben Grundsatz, der uns im Beginn unserer Untersuchung dazu geführt hat, zwei Zuleitungsplatten statt einer an jedem Multiplicatorende anzubringen (S. oben Bd. I. S. 207). Dann würden die Wirkungen bei der Zusammenziehung die Nadel in der Nähe des Nullpunktes treffen und auf beiden Seiten gleichmäßiger werden. Ich habe diesen Versuch, der nichts Neues lehren konnte, indess nicht ausgeführt.

Von größerer Wichtigkeit war es, jetzt noch den Versuch zu machen, die Wirkung der einzelnen Abtheilungen der Gliedmaßen beim Anspannen ihrer Muskeln von einander zu trennen, also die Wirkung vom Oberarm, dem Unterarm, dem Oberschenkel und dem Unterschenkel einzeln zu beobachten.

Es giebt dazu offenbar zwei Wege. Der eine besteht darin, während man die ganzen Gliedmaßen in den Kreis einführt, nur die einzelnen Abtheilungen derselben zusammenzuziehen. Der andere besteht darin, zwar die ganzen Gliedmaßen zusammenzuziehen, aber den Strom nur von ihren einzelnen Abtheilungen abzuleiten.

Ich habe von beiden Wegen Gebrauch gemacht. An den oberen Gliedmaßen nämlich gelingt es mir nicht, den Willenseinfluss gehörig entweder auf den Ober- oder auf den Unterarm einzuschränken. Allenfalls gelingt mir dies für den Oberarm. Wenn ich aber die Unterarmmuskeln anspanne, spanne ich auch immer zugleich die Oberarmmuskeln an. Hier habe ich daher suchen müssen, das zweite Verfahren in's Werk zu setzen, d. h. den Strom von dem Oberarm oder dem Unterarm allein abzuleiten, während ich alle Muskeln des Armes ohne Unterschied in Tetanus versetzte. An den Beinen dagegen vermag ich, wenn ich sitze, den Oberschenkel und den Unterschenkel gesondert anzuspannen, und hier kann also der erste Weg eingeschlagen, d. h. der Strom nach wie vor vom ganzen Bein abgeleitet, und nur die Zusammenziehung jedesmal auf die einzelne Abtheilung der Gliedmaße ein-

geschränkt werden. Es ist ein glücklicher Umstand, daß dies angeht; denn es würde nicht leicht sein, am Bein das erste Verfahren in's Werk zu setzen, d. h. den Strom allein vom Oberschenkel oder vom Unterschenkel abzuleiten.

Es tauche also jetzt wieder, bei sitzender Stellung des Körpers, der eine Fuß in das eine Fußgefäß, welches mit dem einen Multiplicatorende verknüpft ist, und das andere Multiplicatorende sei in Verbindung entweder mit dem anderen Fußgefäße, oder mit einem der Handgefäße, oder mit dem Brustgefäße. Nach Beruhigung der Nadel wird nur entweder der Ober- oder der Unterschenkel angespannt. Der Erfolg ist der Richtung nach der nämliche, wie beim Anspannen des ganzen Beines. Aber der aufsteigende Ausschlag, der somit in beiden Fällen erfolgt, ist, wie sich erwarten liefs, merklich schwächer, als bei gleichzeitiger Anstrengung sämtlicher Beinmuskeln.

Sogar bei Zusammenziehung einer einzelnen Muskelgruppe des Oberschenkels giebt sich eine elektromotorische Wirkung zu erkennen. Man kann nämlich im Stehen, indem man sich vorzugsweise auf das eine Bein stützt, und das andere, dessen Fuß im Fußgefäß befindlich ist, gestreckt vor sich hinsetzt, an diesem die Gruppe des Rectus femoris, Cruralis, Vastus internus und Vastus externus, und meist wohl auch des Tensor fasciae latae, in die heftigste Spannung versetzen, indess alle übrigen Muskeln in vollkommener Erschlaffung verharren. Auch dabei erfolgt ein im Bein aufsteigender Ausschlag, der sich in günstigen Fällen auf 30° beläuft.

Mehrmals, wenn ich diesen Versuch öfter hintereinander wiederholte, bekam ich einen Krampf in der bezeichneten Muskelgruppe, so daß die Zusammenziehung, abgesehen von dem ersten Anstofs, ganz unwillkürlich vor sich ging und einige Zeit sehr schmerzhaft anhielt, um sich zuletzt in eine Reihe immer schwächer werdender Zuckungen aufzulösen. Auch bei dieser unwillkürlichen Anspannung der Muskeln zeigte sich der im Bein aufsteigende Ausschlag.

Um den bei der Zusammenziehung entstehenden Strom allein von dem Oberarm abzuleiten, wird der Elbogen des betreffenden Armes in das eine Handgefäß getaucht. Die Ableitung auf der anderen Seite geschieht entweder durch das Brustgefäß, oder durch die Hand oder den Elbogen in dem anderen Handgefäße, oder durch einen oder beide Füße in den Fußgefäßen, genug wie man will. Ist die Nadel beruhigt, so werden sämtliche Armmuskeln, mit Inbegriff der Muskeln des Unterarmes, angespannt. Dabei darf natürlich der Beugungszustand des Elbogengelenkes, oder der Dehnungszustand der Haut des Elbogens nicht verändert werden, damit sich nicht die elektromotorische Wirkung wegen Ausdehnung der Haut in das Ergebnis einmische (S. oben S. 261). Der

Erfolg ist auch hier ein stets in dem angespannten Oberarm aufsteigender Ausschlag, der in günstigen Fällen eine ansehnliche Gröfse, bis 40°, erreichen kann.

Endlich, um nun auch dem Unterarm allein beizukommen, verfähre ich folgendermaßen. Das eine Multiplicatorende wird mit dem einen Fingergefäß, das andere mit dem einen Handgefäß verbunden. Das Fingergefäß wird am Rande des Tisches hinter dem mit der Hand zu fassenden Stabe gerade so aufgestellt, wie es oben S. 287 für beide Fingergefäße angegeben, Fig. 147 Taf. V abgebildet ist. Vor dem Stabe wird das eine Handgefäß in solcher Höhe und Entfernung aufgestellt, daß, wenn man nun mit der Hand den Stab ergreift und den Finger in das Fingergefäß taucht, man mit Bequemlichkeit zugleich den Elbogen in das Handgefäß tauchen kann. Begreiflich muß dazu der Spiegel der Lösung in dem Handgefäß um eine passende Gröfse tiefer liegen als der in dem Fingergefäß. Beim Schliessen des Kreises entsteht ein starker aufsteigender Strom im Vorderarme (S. oben S. 233). Hat sich die Nadel beruhigt, und man spannt sämtliche Muskeln des Armes an, so erfolgt ein aufsteigender Ausschlag, zwar nicht sehr groß, doch so, daß nie ein Zweifel darüber übrig bleibt.

(III) Von der elektromotorischen Nachwirkung des willkürlichen Tetanus an den Gliedmaßen des menschlichen Körpers.

Wir haben nunmehr an Arm und Bein, Ober- und Unterschenkel, Ober- und Unterarm, Ströme kennen gelernt, welche in dem Augenblick auftreten, wo sämtliche Muskeln dieser verschiedenen Glieder und Gliederabtheilungen in heftige Zusammenziehung gerathen. Wir haben aber bisher an diesen Strömen erst zweierlei beachtet; erstens ihre Richtung, die wir überall dieselbe, nämlich aufsteigend, gefunden haben, zweitens ihre verhältnißmäßige Stärke, so weit sie sich nach der Gröfse der Ausschläge beurtheilen läßt. Es ist jetzt an der Zeit, daß wir einem anderen Punkte in der Erscheinungsweise dieser Ströme unser Augenmerk zuwenden.

Es ist bisher stets nur die Rede gewesen von Ausschlägen durch jene Ströme, nicht von beständigen Ablenkungen der Nadel. Der Grund davon liegt auf der Hand. Er ist derselbe weshalb wir auch nie eine beständige Ablenkung durch die negative Schwankung des Stromes eines Gastrocnemius, oder eines auf elektrischem Wege oder durch Strychnin tetanisirten Frosches beobachtet haben. Die Muskeln sind erschöpft und der Tetanus hat ein Ende, ehe die Nadel Zeit gehabt hat, eine neue Ruhelage anzunehmen. So auch hier. Man vermag nicht, wie

es nothwendig wäre, damit eine beständige Ablenkung zu Stande käme, sämtliche Muskeln einer Gliedmaße mehrere Minuten lang auf dem Gipfel von Anspannung zu erhalten, der erfordert wird, damit eine merkliche Wirkung auf die Nadel ausgeübt werde.

Eine auffallende Erscheinung aber ist folgende. Man denke sich eine der vier Anordnungen des Versuches, wobei kein starker Hautstrom stattfindet, folglich die Nadel ursprünglich auf dem Nullpunkt oder in seiner Nähe verharret. Diese vier Anordnungen sind die, wo entweder die beiden Füße, oder die beiden Hände, oder die beiden Zeigefinger, oder endlich die beiden Elbogen mit den beiden Multiplicatorenden verbunden, und dem entsprechend die Beine, oder die ganzen Arme, oder auch nur die Oberarme, in entgegengesetzter Richtung in den Kreis eingeschaltet sind. Läßt man, bei solcher Gestalt des Versuches, mit der Anspannung der Muskeln nach, so schlägt die Nadel nicht, wie man erwarten sollte, durch den Nullpunkt hindurch, und zeigt jenseits die Ladungen an, die der Strom wegen des willkürlichen Tetanus entwickelt hat, sondern sie nähert sich allmählig dem Nullpunkte; oder wenn sie ihn auch in ihren Schwingungen überschreitet, so lehrt doch das Verhältniß ihrer Ausschläge in beiden Quadranten, daß die feste Gleichgewichtslage, um die sie schwingt, noch auf der Seite liegt, nach der sie bei der Zusammenziehung abgelenkt wurde.

Der Mangel an Ladungen kann nicht daran Schuld sein. Erstens ist kein Grund vorhanden, weshalb der Strom bei der Zusammenziehung keine entwickeln sollte; zweitens zeigt folgender Versuch, daß er wirklich dergleichen entwickelt. Indem man zwischen den Zuleitungsfäßen neben dem menschlichen Körper das Schließungsrohr anbringt, versichert man sich der Richtung, in der die Multiplicatorenden durch den Eigenstrom geladen sind. Man spannt die Muskeln auf der Seite an, wo die Richtung ihrer Wirkung mit der jener Ladungen zusammenfällt. Entweder noch während der Anspannung oder unmittelbar nachher bringt man die gutleitende Nebenschließung zum Multiplicator wieder an. Alsdann erfolgt ein Ausschlag in entgegengesetzter Richtung von den Ladungen des Eigenstromes, zum Beweise, daß der Strom bei der Zusammenziehung wirklich Ladungen entwickelt hat.

Um jene Erscheinung zu erklären, bleibt folglich nichts übrig als die Annahme, daß der Strom wegen der Zusammenziehung, wenn auch in geschwächtem Maße, diese selber noch etwas überdauert. Die Richtigkeit dieser Annahme ist leicht zu erweisen. Man taucht die Zeigefinger in die Fingergefäße, während sie noch mit dem Schließungsrohr überbrückt sind. Nach einiger Zeit läßt man das Schließungsrohr abheben. Es erfolgt der Ausschlag, den wir dem Eigenstrom zuschreiben,

und der stets dieselbe Richtung und auch nahe dieselbe Grösse behält, so oft man auch das Schliessungsrohr wieder hinlegen und wieder abheben läßt. Hat man sich sattsam davon überzeugt, so nimmt man, nachdem das Rohr wieder eine Zeitlang aufgelegt hat, die Anspannung der Muskeln auf der Seite vor, wo der durch den Tetanus erzeugte Strom die umgekehrte Richtung vom Eigenstrom hat. Plötzlich spannt man die Muskeln wieder ab, und unmittelbar darauf läßt man das Rohr abheben. Jetzt erfolgt ein Ausschlag auf derselben Seite, auf der er beim Anspannen der Muskeln in Abwesenheit des Rohres erfolgt sein würde. Der Strom, den dieser Ausschlag erzeugt, und der also den Eigenstrom überwiegt, ist bis zu einer gewissen Grenze um so stärker, je länger die Zusammenziehung gedauert hat. Hat sie nur wenige Augenblicke gewährt, so kann er so schwach sein, daß er nicht einmal den Eigenstrom zu besiegen, nur ihn zu schwächen vermag. Er kann aber auch, bei fortgesetzter kräftiger Anspannung, so stark werden, daß der Ausschlag dadurch demjenigen an Grösse wenig nachgiebt, der bei Abwesenheit des Schliessungsrohres durch den willkürlichen Tetanus zu erfolgen pflegt. Läßt man endlich, zwischen der Abspannung der Muskeln und dem Abheben des Schliessungsrohres, statt daß beide dicht aufeinander folgen, eine gewisse Frist verstreichen, so fällt der Ausschlag um so kleiner aus, je grösser die Frist war. Nach wenigen Minuten ist keine deutliche Spur mehr davon vorhanden.

Denselben Versuch habe ich mit gleichem Erfolge mit beiden Füßen in beiden Fußgefäßen wiederholt. Mit den Fingern in den Fingergefäßen ist er auch von meinem Freunde Herrn G. KIRCHHOFF an meinen Vorrichtungen angestellt worden.

Es ist klar, was wir von dieser Wirkung zu denken haben. Unter der Voraussetzung, daß der beim willkürlichen Tetanus entstehende Strom der negativen Schwankung des Muskelstromes entspricht, wie wir sie am Frosch beobachtet haben, erscheint diese nachträgliche Wirkung der Zusammenziehung am menschlichen Körper offenbar als einerlei mit der Nachwirkung, die wir oben S. 151 am Gastroknemius und den Oberschenkelmuskeln des Frosches beobachtet haben. Auch diese nahm, wie man sich erinnert, an Stärke zu mit der Dauer des Tetanus. Auch sie verschwand nach einiger Zeit von selber. Beim Tetanisiren eines Gastroknemius vom Nerven aus erscheint sie freilich im Verhältniß zur Wirkung des Tetanus selber sehr viel kleiner, als die Wirkung, die wir ihr jetzt am menschlichen Körper gleichstellen. Allein es ist nicht zu vergessen, daß die Stärke der Nachwirkung mit der Stärke und Dauer der Zusammenziehung wächst. Das Product aus diesen Factoren fällt nun wahrscheinlich grösser aus, wenn Muskeln im

lebenden Körper durch den Willen, als wenn sie, vom übrigen Körper getrennt, vom Nerven aus durch den elektrischen Strom tetanisirt werden. Viel näher mag der ersteren Gröfse des Products schon diejenige kommen, die beim Tetanisiren solcher Muskeln unmittelbar durch Wechselströme erreicht werden kann. Und in der That tritt auch unter diesen Umständen bereits eine so starke Nachwirkung des Tetanus auf, dafs sie der am menschlichen Körper so eben von uns beobachteten wohl vergleichbar ist. Ausserdem ist die Möglichkeit vorhanden, dafs die Nachwirkung an den Muskeln warmblütiger Thiere eine stärkere sei als an denen kaltblütiger. Es wird übrigens, in der Folge, noch einmal auf diesen Punkt zurückgekommen werden.

Der Mangel einer solchen Nachwirkung bei der durch das Faustballen u. s. w. hervorgebrachten elektromotorischen Wirkung ist der oben S. 262 verkündigte fernere Grund, weshalb diese Wirkung nicht der Muskelzusammenziehung zugeschrieben werden kann.

- (iv) Weitere Bemerkungen über das Verfahren, die Ströme beim willkürlichen Tetanus der menschlichen Gliedmaßen zu beobachten.

Die eben dargelegten Thatsachen gehören nicht zu den leichter wahrnehmbaren dieses Gebietes. Damit sie mit Klarheit und in gehöriger Stärke hervortreten, müssen sich verschiedene Bedingungen vereinigen, welche nicht alle gleich leicht zu beschaffen sind. Bei dem besonderen Interesse, welches sich für Viele an jene Thatsachen zu knüpfen scheint, halte ich es nicht für überflüssig, noch einiges Nähere über diese Bedingungen mitzutheilen, und über die Bestrebungen, an denen ich es nicht habe fehlen lassen, um die in Rede stehenden Versuche minder schwer anstellbar zu machen.

Zunächst ist zu sagen, dafs die beste Gestalt des Versuches diejenige ist, wobei die beiden Finger in die beiden Fingergefäße tauchen, deren jedes mit einem Multiplicatorende verknüpft ist. Die Wirkung fällt allerdings dabei schwächer aus, als bei mehreren anderen der oben beschriebenen Anordnungen. Allein dieser Nachtheil wird, meiner Meinung nach, reichlich aufgewogen durch die gröfsere Bequemlichkeit und Sicherheit der Versuchsweise. Diese Versuchsweise wird daher im Folgenden stets stillschweigend vorausgesetzt, wo von der Ablenkung der Multiplicatornadel durch willkürlichen Tetanus die Rede ist, ohne dafs die Art der Ableitung des Stromes vom menschlichen Körper sich näher angegeben findet. In dieser Gestalt ist beiläufig der Versuch schon früher bekannt geworden. Eine grofse Menge Physiker und Physiologen

haben sich mit seiner Wiederholung, Ausbildung und Deutung beschäftigt. Von diesen Bemühungen wird später die Rede sein.¹

Was die Art und Weise betrifft, die Gleichartigkeit des durch den menschlichen Körper bei erschlafteu Muskeln gebildeten Kreises zu erzielen und zu bewahren, und die Grenzen, bis zu welchen dies unter verschiedenen Umständen ausführbar ist, so haben wir, was darüber zu wissen nöthig ist, bereits oben S. 281 abgehandelt, insofern es nicht bereits durch den früheren Gang unserer Untersuchung gegeben war. Wir setzen also diese Seite der experimentellen Schwierigkeiten als überwunden voraus.

Demnächst liegt die wichtigste Bedingung zum Gelingen der in Rede stehenden Versuche in der Tüchtigkeit der Muskelzusammenziehung selber. Fehlt es an dieser, so hilft die Empfindlichkeit des Multiplii-cators nur wenig. Wenigstens versagt alsdann mein Multiplii-cator für den Nervenstrom leicht bereits eine deutliche Antwort. Hierin liegt eine große Schwierigkeit dieser Versuche, und zwar, wie nicht zu läugnen ist, gerade am meisten bei der so eben besonders empfohlenen Gestalt derselben, insofern es sich dabei nicht allein darum handelt, den einen Arm kräftig anzuspannen, sondern zugleich darum, den anderen Arm vollständig erschlaft zu lassen. Jungen Männern, die Leibesübungen getrieben haben, wird dies nicht schwer. Ich spanne den einen Arm dermaßen an, daß die Muskeln sich hart wie Holz anfühlen, daß der Arm heftig erzittert und der Tisch mit ihm, und daß nach einigen Secunden ein lebhaftes Gefühl von Wärme im Arm verspürt wird. Dabei bleibt der andere Arm so schlaff als ob das Armgeflecht durchschnitten wäre. Ich thue dies beliebig mit dem einen oder anderen Arm. Mein Freund Herr G. KIRCHHOFF besitzt in hohem Grade dieselbe Fertigkeit. Allein dies ist nicht Jedermanns Sache beim ersten Versuch. Nicht Jeder hat ohne Weiteres die Fähigkeit, ohne eine bestimmte Handlung zu beabsichtigen, ohne einen äußeren Widerstand, den es zu bewältigen gilt, seine Muskeln willkürlich in anhaltende Spannung zu versetzen, und noch dazu die Anstrengung nach Belieben auf den einen oder den anderen Arm zu beschränken. Viele befinden sich in dem Falle, zwar den einen Arm, namentlich den rechten, genügend anzuspannen zu können, und vermögen auch auf ihn die Anstrengung zu beschränken. Den linken Arm dagegen glückt es ihnen nicht, in angemessene Thätigkeit zu versetzen, oder wenigstens wird dabei auch der rechte Arm in Mitbewegung gezogen.

Trotzdem ist der Versuch, unter meiner Leitung, und an meinen Vorrichtungen, jetzt bereits etwa fünfzig Personen mehr oder minder

¹ S. unten, (vi).

gut geglückt. Die meisten derselben gehörten dem gelehrten Stande an. Viele davon befanden sich in der Blüthe der Jahre, mehrere aber auch im vorgerückten, ja im Greisenalter. Auch eine junge Dame von sechszehn Jahren hat in Paris den Versuch mit Erfolg angestellt. Eine athletische Musculatur ist also zum Gelingen des Versuches kein unumgängliches Erforderniß. Nichtsdestoweniger wird durch die Stärke und Uebung der Muskeln sein Gelingen sicherer, sein Erfolg glänzender gemacht. Und es ist sehr merkwürdig, wie viel dabei, selbst wenn diese Bedingungen erfüllt sind, noch auf den Augenblick ankommt. Die geringste körperliche Verstimmung, das leiseste Unwohlsein übt einen Einfluß aus auf die Art, wie der Versuch von statten geht.

Eine andere Bedingung, von der viel abhängt, und die auch noch dem Individuum anhaftet, welches sich dem Versuch unterzieht, ist die Leitungsfähigkeit der Oberhaut. Die Wirkungen, die zwei Individuen hervorbringen, sind begreiflich nicht ihrer elektromotorischen Leistung an sich, sondern dieser dividirt durch den Widerstand des Kreises proportional. Von der Leitung durch die Oberhaut hängt aber dieser letztere, wie man sich erinnert, vor allen Dingen ab (S. oben S. 191 ff.). Schwache Muskeln können durch feine feuchte Haut in ihrer Wirkung begünstigt, starke Muskeln hingegen durch derbe trockne Haut darin beeinträchtigt werden, und so erstere über letztere in dem Wettstreit an diesem neuen Kraftmesser gewissermaßen den Sieg erschleichen. Man versäume daher nicht, die Haut wenigstens so gut leitend zu machen als möglich, indem man die Finger vor dem Versuch sorgfältig mit Seife wäscht, dann mit Wasser abspühlt, und nur so weit abtrocknet, daß die Haut noch durchfeuchtet (*moite*) in die Lösung gelangt.

Bei alledem ist ein sehr hoher Grad von Empfindlichkeit des Multiplicators kaum zu entbehren, wenn einigermassen in die Augen fallende Wirkungen erscheinen sollen. An einem Multiplicator von 3000 Windungen, von der Arbeit des Herrn KLEINER, an dem ich in der physikalischen Sammlung in Gießen den Versuch machte, und den ich selber aufgestellt hatte, erfolgten nur 2 — 3° Ausschlag auf jeder Seite.¹ An dem Multiplicator für den Muskelstrom, an dem ich übrigens die Erscheinung zuerst beobachtete, erhalte ich nicht mehr als 5 — 7° Ausschlag.

Ich bin deshalb, wie oben schon bemerkt wurde, darauf bedacht gewesen, eine Abänderung des Versuches ausfindig zu machen, durch die er auch minder empfindlichen Stromprüfern schon zugänglich würde.

Zuerst versuchte ich, wie sich die Stärke des Stromes vergrößern würde, wenn ich die Polarisation so viel wie möglich aus dem Kreise

¹ S. unten, (vi).

verbannte, durch Anwendung von Kupferelektroden in gesättigter schwefelsaurer Kupferoxydlösung als Zuleitungsflüssigkeit, statt der Platinelektroden, deren wir uns für gewöhnlich zu bedienen pflegen. Die Kupferelektroden hatten 25^{mm} Breite und tauchten 50^{mm} tief in die Lösung ein. Um sie gleichartig zu erhalten, schlug ich folgenden Weg ein. In den Kreis einer Säule aus sechs Grove'schen Ketten der kleineren Art (S. oben Bd. I. S. 446) schaltete ich die beiden Zuleitungsgefäße mit ihrer Kupferlösung als Zersetzungszellen ein, so daß die abzugleichenden Zuleitungsplatten die negativen, zwei andere Kupferplatten die positiven Elektroden bildeten. Die letzteren waren einander ganz gleich, und befanden sich jede in gleichem Abstände von der negativen Elektrode. Die beiden Zersetzungszellen waren einander also überhaupt ganz ähnlich. Nachdem sich die Zuleitungsplatten mit einer ganz gleichmäßigen Schicht galvanoplastischen Kupfers überzogen hatten, wurde der Kreis der Säule durch Ausheben eines Schließungshakens aus Quecksilber geöffnet. Die Oberflächen der negativen Elektroden mußten sich nun in ganz gleichem Zustande befinden. Die positiven Elektroden wurden entfernt, die negativen mit dem Multiplicator für den Muskelstrom verbunden, und über die Zuleitungsgefäße ein mit derselben Kupferlösung getränkter Bausch gebrückt. Trotz des zur Abgleichung der Platten angewendeten Kunstgriffes erfolgte hiebei doch ein beträchtlicher Ausschlag, der sogar eine beständige Ablenkung von 22° hinterließ. Als ich aber, statt der beiden Enden des Bausches, die beiden Zeigefinger in die Gefäße tauchte, stellte sich die Nadel dem Nullpunkt nahe ein. Bei der Zusammenziehung des einen Armes erfolgte indess kein merklich stärkerer Ausschlag als mit den Platinelektroden in der Köchsalzlösung. Es war, durch diese Anordnung, augenscheinlich nichts gewonnen.

Eine andere Idee, auf die ich kam, geht gleichfalls darauf aus, die elektromotorische Kraft, die dem Strom bei der Zusammenziehung zu Grunde liegt, dadurch zu vergrößern, daß sie eine ihr entgegengesetzt wirkende Kraft der Art über die Seite schafft. Sie sucht aber diese Gegenkraft diesmal nicht in der Vorrichtung, sondern in dem menschlichen Körper selber. Sie stützt sich nämlich auf folgende Schlussreihe. Der Strom, den man beim Anspannen eines Armes in dem Multiplicator-kreise wahrnimmt, ist zu betrachten als die Resultante der Ströme, welche die einzelnen Muskeln durch jenen Kreis senden; entweder die Muskeln des ruhenden Armes in positiver, oder die des angespannten Armes in negativer Richtung. Gleichviel welcher von diesen beiden Fällen in Wirklichkeit stattfindet, wovon später noch die Rede sein soll, es ist zwar möglich, jedoch nicht wahrscheinlich, und jedenfalls

ganz unerwiesen, daß sämtliche Muskeln des Armes dazu in einerlei Sinne beitragen. Es ist vielmehr weit natürlicher sich vorzustellen, daß der eine Muskel viel, ein zweiter wenig, ein dritter gar nicht zum aufsteigenden Strom beiträgt, der sich beim Anspannen kundgiebt, daß endlich ein vierter gar in absteigendem Sinne wirkt. Nach dieser Vorstellung würde man also stets nur den Unterschied der Ströme aller aufsteigend und aller absteigend wirksamen Muskeln an der Nadel beobachten, und es würde die Gruppe der aufsteigend wirksamen Muskeln elektromotorisch die Oberhand haben über die der absteigend wirksamen. Könnte man die Gruppe der aufsteigend wirksamen Muskeln allein anspannen, die andere aber erschläft lassen, oder könnte man gar, indem man dergestalt verführe, noch an dem anderen Arme die Gruppe der absteigend wirksamen Muskeln anspannen, so sieht man leicht, müßte man eine Wirkung erhalten, welche die beim Anspannen aller Muskeln eines Armes um so mehr übertreffen würde, je mehr die entgegengesetzten Wirkungen beider Gruppen sich in Wirklichkeit der Gleichheit näherten.

Leider ist es nicht viel weniger unthunlich, die Gruppe der absteigend wirksamen Muskeln durch den Versuch herauszufinden, als durch die Betrachtung der Lage und des Baues der verschiedenen Muskeln. Es gelingt ja nicht einmal, allein den Oberarm, und allein den Unterarm mit der Heftigkeit anzuspannen, wie es der Versuch verlangt (S. oben S. 289), geschweige daß man nach Belieben einzelne Muskeln dergestalt in willkürlichen Tetanus versetzen könnte. Alles, was sich in dieser Beziehung thun läßt, ist, solche Muskelgruppen, durch deren Zusammenziehung gewisse Bewegungen ausgeführt werden, dadurch einzeln anzuspannen, daß man diese Bewegungen beabsichtigt. Zwei solcher Gruppen, welche fast die ganze Muskelmasse des Armes ausmachen, sind die der Strecker und Beuger. Es war die Möglichkeit da, daß durch einen glücklichen Zufall die Vertheilung der Armmuskeln in diese beiden Gruppen der Vertheilung nach ihrer Wirkungsrichtung wenigstens annähernd entspräche, so daß etwa sämtliche Strecker im Verein aufsteigend, sämtliche Beuger absteigend wirkten, oder umgekehrt. Ich versuchte daher, die elektromotorische Wirkung durch die Anspannung dieser Muskelgruppen allein zu beobachten. Dies gelang zwar, aber jene Möglichkeit bestätigte sich nicht.

Um nur die Beuger anzuspannen, begaben wir uns, mein Freund Herr KIRCHHOFF und ich, an der Fig. 147 Taf. V abgebildeten Vorrichtung, von vorn herein in eine solche Lage, daß der anzuspannende Arm völlig gebeugt war. Wir suchten ihn dann beim Anspannen noch mehr zu beugen, und drückten zugleich den Stab aus allen Kräften mit

den Fingern, den eingetauchten Zeigefinger ausgenommen. Der Erfolg war bei Herrn KIRCHHOFF sowohl als bei mir ein Strom in derselben Richtung, nur schwächer, als ob auch die Strecker angestrengt worden wären. Dies ist das Ergebniss der Anstrengung der Beugemuskeln, worauf ich mich oben S. 262 in der Erörterung über den Strom beim Faustballen berufen habe.

Um nur die Strecker anzuspannen, diene uns derselbe Kunstgriff. Der anzuspannende Arm und die Finger, mit Ausnahme des eintauchenden Zeigefingers, wurden möglichst gestreckt. Wir suchten sie dann beim Anspannen noch mehr zu strecken. Der Erfolg war bei Herrn KIRCHHOFF sowohl als bei mir ein Strom in derselben Richtung, nur schwächer, als ob auch die Beuger angestrengt worden wären.

Es wirken folglich die Strecker und Beuger in demselben Sinne elektromotorisch, und der beim Anspannen sämtlicher Armmuskeln sich kundgebende Strom würde nicht der Unterschied, sondern die Summe der Ströme sein, die beide Gruppen von Muskeln einzeln durch den Multiplicatorkreis senden. Welche von beiden Gruppen kräftiger elektromotorisch wirke, hat sich in den bisherigen Versuchen nicht mit Bestimmtheit herausgestellt.

Man kann, indem man eine bestimmte Bewegung beabsichtigt, noch andere antagonistische Muskelgruppen im Unterarme dergestalt einzeln zusammenziehen, z. B. die der Pronatoren und der Supinatoren, ferner die der Adductoren und Abductoren der Handwurzel (*Extensor carpi radialis longus* und *brevis*, *Flexor carpi radialis*, und *Extensor carpi ulnaris*). Doch ist es mir bisher nicht gelungen, die gesonderte Anspannung dieser Gruppen so vorzunehmen, daß zugleich der Strom mit Sicherheit abgeleitet werden konnte.

Eine andere Art, die elektromotorische Kraft in dem in Rede stehenden Versuch zu vergrößern, ist nicht von mir ersonnen worden, sondern hat MOUSSON zum Urheber. Auch BUFF und BANCALARI sind unabhängig von MOUSSON und von einander auf denselben Gedanken gekommen. Dieser Gedanke ist der, den Versuch statt von einem Menschen, gleichzeitig von mehreren anstellen zu lassen, die nach dem Bilde der Säule in den Kreis eingeschaltet sind. Das Nähere von MOUSSON's, BUFF's und BANCALARI's Versuchen und den ähnlichen anderer Physiker wird später kurz mitgeteilt werden.¹ Hier wollen wir die Zweckmäßigkeit des Vorschlages von unserem Standpunkt aus selbständig prüfen.

Indem man mehrere Menschen hintereinander in den Kreis einführt, die gleichzeitig die entsprechenden Arme zusammenziehen, vervielfacht

¹ S. unten, (vi).

man nicht allein die elektromotorische Kraft, sondern auch den Theil des Gesamtwiderstandes des Kreises, der vom menschlichen Körper herrührt. Sobald folglich der Widerstand des Multiplimators, bis zu den Fingern hin gerechnet, nicht verschwindet gegen den des menschlichen Körpers, wird allerdings, durch die säulenartige Anordnung mehrerer Menschen eine Verstärkung des Stromes erreicht werden, wofern man nur über eine Anzahl von Individuen gebietet, die in der That dieselbe Leistungsfähigkeit in Bezug auf diesen Versuch besitzen, oder wofern die hinzugefügten Individuen stärker, oder wenigstens nur innerhalb gewisser Grenzen schwächer sind. Man bedient sich aber, zu diesen Versuchen, der Natur der Dinge nach, stets sehr langer Multipliatoren. Somit wird auch die säulenartige Anordnung wohl stets vortheilhaft sein, und um so mehr, je größer der Widerstand des Multiplimators ist.

Um diese Anordnung herzustellen, darf man nicht die verschiedenen Personen, die man in den Kreis aufnimmt, sich die Hände reichen lassen, worauf man leicht verfällt, weil es von Alters her bei den Versuchen über den Schlag der KLEIST'schen Flasche so gebräuchlich ist. Denn es ist unmöglich, daß dabei nicht alle Uebelstände auftreten, um derenwillen wir uns den Gebrauch der Bäusche bei diesen Versuchen untersagt haben (S. oben S. 222, 223). Indem beim Anspannen des einen Armes nothwendig die Innigkeit der Berührung und die Stärke des Druckes zwischen je zwei Händen verändert werden wird, können vorübergehende Ströme von verschiedener Stärke und Richtung auftreten, von denen es schwer sein wird, den eigentlich zu beobachtenden Strom zu unterscheiden. Man muß also vielmehr, zwischen je zwei Personen, die an dem Versuche theilnehmen, ein Zuleitungsgefäß mit gesättigter Kochsalzlösung anbringen, und jede der beiden Personen einen Finger darin eintauchen lassen, unter Befolgung aller der Vorschriften, die im Vorigen für den Fall nur einer Person entwickelt worden sind, deren Finger in ein einziges Paar Zuleitungsgefäße tauchen. Keines der Individuen darf eine Verletzung am eingetauchten Finger haben. Sämmtliche eingetauchte Finger müssen vor dem Versuch mit Seife gewaschen, mit Wasser abgespült und leicht getrocknet bis zum Gelenk zwischen dem ersten und zweiten Fingerglied eingetaucht werden. Sämmtliche Hände müssen auf das sorgfältigste unterstützt sein. Dann muß die beständige Ablenkung der Nadel abgewartet, und nun erst darf zum möglichst gleichzeitigen Anspannen sämmtlicher entsprechenden Arme geschritten werden, wobei darauf zu achten ist, daß nicht durch Benetzung neuer Hautstellen Anlaß zu Hautströmen gegeben werde.

So also wird man zu verfahren haben, um die säulenartige Anordnung mehrerer Menschen zum Kreise ohne Gefahr vor Täuschung

in's Werk zu setzen. Es ist aber nun noch ein ganz anderer Punkt zu erwägen. Es fragt sich nämlich, ob es nicht, wenn man einmal zur gleichzeitigen Anwendung mehrerer Individuen schreiten will, noch eine andere, in der Mehrzahl der Fälle zweckmäßigere Gestalt des Versuches gebe. Der Widerstand der langen Multiplicatoren, die man zu diesem Versuch anwendet, mag immerhin nicht verschwinden gegen den des menschlichen Körpers. Indessen wird er doch wohl meist kleiner sein. Und alsdann wird es vortheilhafter sein, die Menschen nicht säulenartig, sondern nach dem Bilde der zusammengesetzten Kette (S. oben Bd. I. S. 701) in den Kreis aufzunehmen. Dies ergibt sich aus der Ungleichheit

$$\frac{k}{\frac{W}{n} + w} \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} \frac{k}{W + \frac{w}{n}}$$

wo k die elektromotorische Kraft eines Menschen, w seinen Widerstand, W den Widerstand des Multiplicatorkreises, endlich n die Anzahl der Menschen darstellt, die zum Versuch verwendet werden. Ist W , der aufserwesentliche Widerstand, der gröfsere, so ist die linke Seite der Ungleichheit gröfser oder die säulenartige Anordnung die vortheilhaftere. Ist dagegen w , der wesentliche Widerstand, der gröfsere, so ist die rechte Seite der Ungleichheit die gröfsere, die zusammengesetzte Kette bringt mehr Vortheil als die Säule. Anstatt die Menschen zur Säule zu verbinden, wird man also alsdann vielmehr, um die grösstmögliche Wirkung zu erhalten, sie die Finger sämmtlich entweder in ein gemeinschaftliches Zuleitungsgefäfs tauchen lassen, oder, wenn man über mehrere Paar Zuleitungsgefäfs mit Platinplatten u. s. w. gebietet, die einzelnen Paare nebeneinander in den Multiplicatorkreis aufnehmen müssen.

Ich habe, in Gemeinschaft mit meinem Freunde Herrn KIRCHHOFF, einige Versuche über diesen Gegenstand unternommen. KIRCHHOFF hatte sich, gleich mir, eine grofse Fertigkeit im willkürlichen Tetanisiren der Arme erworben (S. oben S. 295). Einzeln lenkten wir die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom nahezu um dieselbe Gröfse, nämlich um etwa 45° ab. Bildete aber KIRCHHOFF eine Nebenschließung zu mir in Bezug auf den Multiplicatorkreis, so schwächte er meine Wirkung mehr als ich die seine, wenn ich zu ihm die Nebenschließung abgab. Daraus schien zu folgen, dafs die Gleichheit der Wirkungen, die wir einzeln hervorbrachten, nicht auf Gleichheit unserer elektromotorischen Kräfte bei gleichem Widerstande beruhte, sondern dafs mir die gröfsere elektromotorische Kraft und der gröfsere Widerstand, KIRCHHOFF die kleinere elektromotorische Kraft und der kleinere Widerstand zukam, so zwar, dafs der Quotient bei jedem von uns ziemlich denselben Werth

erreichte. Eine Vergleichung unserer Widerstände, wodurch die Richtigkeit dieses Schlusses hätte geprüft werden können, wurde nicht an gestellt. Es sprach jedoch noch der Umstand dafür, daß es bei KIRCHHOFF sehr viel schwerer hielt, Herr zu werden über die Hautungleichartigkeiten, als bei mir (Vergl. oben S. 204).

Als KIRCHHOFF und ich säulenartig verbunden am Multiplicator für den Nervenstrom wirkten, lenkten wir die Nadel auf beiden Seiten bis zu etwa 65° ab. Als zusammengesetzte Kette trieben wir sie aber nur bis zu ungefähr 55° . Es erwies sich also die säulenartige Anordnung als vortheilhafter denn die zusammengesetzte Kette. Es muß folglich der Widerstand des Multiplicators für den Nervenstrom, der dem eines Kupferdrahtes von 263510^m Länge und 1^m Durchmesser etwa gleichkommt, den des menschlichen Körpers unter den hier obwaltenden Umständen noch übertreffen.

Wir wollten nun denselben Versuch am Multiplicator für den Muskelstrom anstellen, dessen Widerstand dem eines nur 32320^m langen Drahtes von demselben Durchmesser gleich zu schätzen ist. Hier hätte unzweifelhaft die zusammengesetzte Kette über die Säule gesiegt. Allein es gab sich bei diesen Versuchen noch ein Umstand zu erkennen, der unserer Aufmerksamkeit eine andere Richtung gab, indem er zu zeigen schien, daß die Verstärkung der Wirkung auf dem hier betretenen Wege doch zuletzt nicht sicher zu erreichen sei. Dieser Umstand war der, daß mehreremal die Wirkung von KIRCHHOFF und mir, wenn wir uns zur zusammengesetzten Kette verbanden, kleiner ausfiel, als wenn jeder von uns sich allein im Kreise befand.

Dies ist, ohne Hinzunahme eines neuen Erklärungsprincips, ein ganz unbegreifliches Ergebnifs. Denn es seien k und k^1 , w und w^1 die elektromotorischen Kräfte und Widerstände der beiden Personen, die den Versuch anstellen, W der Widerstand des Multiplicatorkreises, und das Verhältnifs der Wirkungen, die beide Personen einzeln hervorbringen, sei gegeben durch die Gleichung

$$\frac{k}{W + w} = n \cdot \frac{k^1}{W + w^1}.$$

Damit nun z. B.

$$\frac{k w^1 + k^1 w}{W w + W w^1 + w w^1} < \frac{k^1}{W + w^1}$$

sei, muß

$$k \left(\frac{W + w^1}{W} \right) < k^1,$$

oder, da

$$k^1 = k \frac{W + w^1}{n(W + w)},$$

$$n(W + w) < W$$

sein. Diese Ungleichheit ist nur möglich unter der Bedingung, daß $n < 1$ sei, d. h., die Wirkung der zusammengesetzten Kette kann zwar schwächer sein als die stärkere, nicht aber als die schwächere Einzelwirkung. Ist $n = 1$, wie es bei KIRCHHOFF und mir annäherungsweise der Fall war, so muß sie stärker sein als beide.

Ich weiß daher, um den beobachteten Erfolg zu erklären, keine andere Auskunft, als sich zu denken, daß in solchen Fällen die Wirkungen bei KIRCHHOFF und mir nicht gleichzeitig genug waren, keinen hinreichend übereinstimmenden Verlauf in der Zeit nahmen, so daß wir uns nacheinander einer dem anderen eine bloße Nebenschließung darboten oder uns wenigstens mehr durch Nebenschließung schwächten, als durch unsere elektromotorische Kraft verstärkten. Es muß Zufall gewesen sein, daß es uns bei der Anordnung zur Säule nicht auch begegnete, zusammen schwächer als einzeln zu wirken. Denn auch hier hätten wir uns bei ungleichzeitiger Kraftentwicklung einander durch Widerstand mehr schwächen können, als wir uns durch Summierung unserer elektromotorischen Kräfte verstärkten, wenn auch nicht in dem Maße, wie bei der Anordnung zur zusammengesetzten Kette. Noch ein anderer Umstand tritt hinzu, um die Richtigkeit dieser Erklärung wahrscheinlich zu machen. Es ist der oben S. 285. 286. 288 angemerkte, daß man beim gleichzeitigen Zusammenziehen beider Beine und beider Arme fast nie, wie es sein sollte, Gleichgewicht beobachtet, sondern meist einen größeren oder kleineren Ausschlag in der einen oder der anderen Richtung erhält.

Leider haben äußere Umstände die Fortsetzung dieser Versuche von Seiten KIRCHHOFF's und meiner verhindert, und ich habe bis zum Abschluß dieser Zeilen für den Druck nicht wieder Gelegenheit gefunden, die Sache in's Klare zu bringen. Es muß aber danach, wie bemerkt, doch zweifelhaft bleiben, ob die Verbindung mehrerer Personen zur Anstellung des Versuches wirklich einen tadelfreien Weg zur Verstärkung der Wirkung abgebe.

Schließlich gedenke ich noch eines solchen Weges, auf den ich seither durch die oben mitgetheilten Untersuchungen über Thermostrome am menschlichen Körper geführt worden bin. Man erinnert sich, daß durch Erwärmen der Zuleitungsflüssigkeit der Widerstand der Oberhaut sehr vermindert wird (S. oben S. 212). Ich stellte also den Versuch statt in gesättigter Kochsalzlösung von der zeitigen Lufttemperatur, in solcher von etwa 45° C. an; und so gelang es mir, die Nadel des Multipliers für den Nervenstrom bis auf $60-70^{\circ}$, die des Multipliers für den Muskelstrom bis auf $10-12^{\circ}$ abzulenken. Dies halte ich jedenfalls für eine bessere Art des Versuches, als das Hinzuziehen einer zwei-

ten Person. Nichts verhindert übrigens, beide Versuchsweisen, zu noch größerer Wirksamkeit, mit einander zu verbinden. Da alsdann der Widerstand des Körpers ein kleinerer wird, so ist es übrigens denkbar, daß unter Umständen, wo, bei kalter Zuleitungsflüssigkeit, die zusammengesetzte Kette vortheilhafter gewesen wäre, nunmehr, bei warmer Zuleitungsflüssigkeit, der säulenartigen Anordnung der Vorzug zu schenken sei.

Uebrigens wird uns die Folge mit noch einem Mittel bekannt machen, die in Rede stehende Wirkung außerordentlich zu verstärken. Doch ist nicht zu glauben, daß dies Mittel sich bei Denen, die den Versuch nur zum Vergnügen wiederholen wollen, eines großen Beifalls erfreuen werde. Es besteht nämlich in nichts anderem, als in der Beseitigung des Widerstandes der Oberhaut durch deren Entfernung, d. h. durch Ableitung des Stromes von verletzten Hautstellen.¹

(v) *Versuche, um die Ströme beim willkürlichen Tetanus der menschlichen Gliedmaßen am stromprüfenden Schenkel nachzuweisen.*

Es gab möglicherweise noch eine andere Art, die hier in Rede stehenden Versuche zugänglicher zu machen. Ihre Unzugänglichkeit beruht, wie wir gesehen haben, zu einem guten Theil auf der Schwierigkeit, sich einen hinreichend empfindlichen Multiplicator zu verschaffen. Diese Schwierigkeit, und zugleich alle diejenigen, welche sich an die Handhabung eines so zarten Werkzeuges knüpfen, würden gehoben sein, wenn es gelänge, den Multiplicator aus diesen Versuchen überhaupt zu verbannen und an seine Stelle ein anderes stromprüfendes Mittel, seinen Nebenbuhler an Empfindlichkeit, den stromprüfenden Froschschenkel zu setzen; mit anderen Worten, wenn es gelänge, secundäre Zuckung oder secundären Tetanus von den Gliedmaßen des lebenden unversehrten Menschen zu erlangen.

Wenn sich sonst nichts dem Zustandekommen der secundären Zuckung widersetzt, wird dazu nur nöthig sein, im Uebrigen mit Beibehaltung der beschriebenen Anordnungen, aus den jedesmal angewendeten Zuleitungsgefäßen die Multiplicatorenenden zu entfernen, an Stelle derselben mit Eiweißhäutchen versehene Zuleitungsbäusche anzubringen, und sie zu überbrücken mit dem Nerven des in gewohnter Art aufgestellten stromprüfenden Schenkels. Wenn alsdann die Muskeln zusammengezogen werden, wird die Stromdichte im Nerven, gleichviel ob sie vorher Null war oder bereits einen endlichen Werth besaß, in's Schwanken gerathen und es wird, je nachdem man es bei einzel-

¹ S. unten, (xi).

nen Zuckungen bewenden läßt oder auch die Gliedmaßen willkürlich tetanisirt, beziehlich secundäre Zuckung und secundärer Tetanus eintreten müssen.

Indessen sind meine Bemühungen, dies zu beobachten, leider vergeblich geblieben. Die Anordnungen, welche ich versuchte, waren erstens die Finger in den Fingergefäßen, zweitens die Hände in den Handgefäßen, drittens die Füße in den Fußgefäßen. Im letzten Falle war die Zuleitungsflüssigkeit erwärmt. Nie fand, auch bei den heftigsten Anstrengungen meiner Muskeln, die leiseste Zuckung des stromprüfenden Schenkels statt, die als secundäre Zuckung auszulegen gewesen wäre.

Dies verneinende Ergebnifs läßt sich folgendermaßen begreiflich machen. Wir wollen zunächst annehmen, daß die elektromotorische Wirkung beim willkürlichen Tetanus ganz dieselbe Beschaffenheit habe als die beim elektrischen Tetanisiren der Froschgliedmaßen. Dann kann jenes Ergebnifs nur daher rühren, daß die elektromotorische Wirkung nicht die hinreichende Größe hat, um Zuckung zu erzeugen. Die nähere Betrachtung lehrt, daß dies auch in der That zweifelhaft bleibt. Nur unter den günstigsten Bedingungen vermag der stromprüfende Froschschenkel den Strom anzuzeigen zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitt seines eigenen Nerven, wenn dieser Strom in seiner ganzen Größe plötzlich hergestellt und abgebrochen wird (S. oben Abth. I. S. 273). Dieser Strom ist aber so stark, daß er die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom nicht selten kräftig an die Hemmung führt. Seine Wirkung auf die Nadel ist also sehr viel größer, als die des Stromes, zu dem der willkürliche Tetanus der Gliedmaßen unter den günstigsten Umständen Anlaß giebt. Zwar giebt uns die letztere Wirkung, weil sie von einem unterbrochenen Strom herrührt, kein richtiges Maß von der Stärke der einzelnen Stöße dieses Stromes ab. Nichts verhindert uns aber, uns zu denken, daß diese einzelnen Stöße doch noch an Stärke zurückstehen hinter dem schwächsten Strom, der noch Zuckung zu bewirken vermag, dem Strom nämlich zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitt eines Ischiadnerven vom Frosch.

Also schon so gelingt es, jenes verneinende Ergebnifs zu erklären. Aber es fragt sich auch noch, ob es überhaupt zulässig sei, anzunehmen, wie wir gethan haben, daß der elektromotorische Vorgang beim willkürlichen Tetanus der menschlichen Gliedmaßen dem an den Froschgliedmaßen in unseren früheren Versuchen in allen Stücken gleichzusetzen sei.

Die einzelnen Zuckungen, die man durch den Willen hervorbringt, haben nämlich nicht dieselbe Geschwindigkeit, wie die auf elektrischem

Wege erzeugten. Davon ist es leicht, sich die subjective Ueberzeugung zu verschaffen. Wenn auch vielleicht nicht im gleichen Mafse, so gilt doch dasselbe für die auf mechanischem und kaustischem Wege hervorgebrachten Zuckungen und für die Reflexzuckungen, die dem Tetanus durch Strychninvergiftung vorhergehen. Zu der absoluten Schwäche der in den Versuchen am Menschen stattfindenden Wirkung kommt also noch ihre vergleichsweise Langsamkeit hinzu, um das Ausbleiben der secundären Zuckung des Froschschenkels bei einzelnen Zuckungen der Gliedmaßen zu erklären.

Dies ist aber noch nicht Alles. Wenn wir die Gliedmaßen des Frosches vom Nerven aus tetanisirten, wurden stets sämtliche Primitivröhren des Nerven gleichzeitig erregt, und sämtliche Muskeln zuckten demgemäß und erschlafften wiederum zu gleicher Zeit. Einer jeden solchen Gesamtzuckung der Gliedmaße entsprach ein Zahn, einer jeden Erschlaffung eine Lücke zwischen zwei Zähnen der kammförmigen Curve Fig. 89 Taf. I. Fig. 145 Taf. V dieses Bandes. Beim willkürlichen Tetanus der Gliedmaßen verhält es sich anders. Zwar ist auch hier die Zusammenziehung keine stetige, sondern eine unterbrochene, wie WOLLASTON und P. ERMAN gezeigt haben.¹ Allein es zucken und erschlaffen abwechselnd dabei nicht alle Muskeln zu gleicher Zeit. Vielmehr gerathen die Glieder dabei in ein Zittern, welches nicht anders zu erklären ist als durch die Annahme, dafs von den beiden Muskelgruppen, welche das Glied in der Ebene der Erzitterung bewegen, abwechselnd die eine und die andere die gröfsere Spannung besitzt. Es ziehen sich folglich nicht sämtliche Muskeln zu gleicher Zeit zusammen, sondern die Zusammenziehung der einen Muskelgruppe fällt in den Zwischenraum der Erschlaffung der anderen zwischen je zwei Zusammenziehungen derselben.

Dem entsprechend wird also auch die Curve der Stromdichte im stromprüfenden Nerven nicht mehr der oben bezeichneten gleichzustellen sein, sondern sie wird betrachtet werden können als zusammengesetzt aus zwei solchen Curven, von denen die eine gegen die andere um die Breite eines Zahnes verschoben ist. Ueber die Gestalt der Zähne der Curve, über das Verhältnifs ihrer Breite zu der der Lücken, die sie zwischen sich lassen, ist erfahrungsmäfsig durchaus nichts bestimmt. Nichts verhindert uns also anzunehmen, dafs diese Gestalt und dieses Verhältnifs der Art seien, dafs die resultirende Curve entweder gar nichts mehr von einer kammförmigen hat, oder dafs we-

¹ GILBERT'S Annalen der Physik. 1812. Bd. XL. S. 18. 32.* — Vergl. unten, Kap. IX.

nigstens die übrigbleibenden Zähne außerordentlich viel kürzer sind als die der beiden einzelnen Curven. Dies kann man sich auf verschiedene Arten denken, je nach der Vorstellung von der Gestalt der Zähne, die man dabei zum Grunde legt.

Gleichviel, wie man diese Vermuthung im Einzelnen ausführe, man sieht, daß sie vollständig erklärt, weshalb der willkürliche Tetanus der menschlichen Gliedmaßen außer Stande ist, secundären Tetanus des stromprüfenden Froschschenkels zu erzeugen. Zugleich aber ergibt sich dabei, daß die Multiplicatorwirkung, die jener Tetanus erzeugt, uns hier ein viel richtigeres Maß von der absoluten Stärke des Stromes giebt, als dies in den Froschversuchen der Fall ist, weil eben die elektromotorische Wirkung der Zusammenziehung hier keine unterbrochene mehr ist. Und so wirft unsere letzte Betrachtung abermals Licht darauf, weshalb auch einzelne secundäre Zuckungen des stromprüfenden Schenkels durch willkürliche Zusammenziehung der menschlichen Gliedmaßen vermisst werden.

Wahrscheinlich übrigens wirkt schon ein dem eben dargelegten ähnliches Verhalten mit, um das Erscheinen des secundären Tetanus beim Tetanus durch Strychninvergiftung am Frosche zu erschweren (S. oben S. 184. 185). Denn ohne Zweifel steht diese Art der dauernden Innervation der durch den Willen näher als die beim elektrischen Tetanisiren, und in der That ist es auch nichts Ungewöhnliches, auf dem Gipfel des Strychninkrampfes die Gliedmaßen wie beim willkürlichen Tetanus erzittern zu sehen (S. oben Abth. I. S. 515).

Legt man die Vorstellung zum Grunde, daß, trotz der Unterbrochenheit des willkürlichen Tetanus, die dabei stattfindende elektromotorische Wirkung keine unterbrochene mehr sei, sondern eine stetige, so muß noch eine andere Versuchsweise in Anwendung gebracht werden, ehe man es aufgibt, Zuckung des stromprüfenden Schenkels durch diese elektromotorische Wirkung zu erlangen. Sie besteht darin, den stetigen Strom, den die Zusammenziehung erzeugt, in dem Nerven des stromprüfenden Schenkels schnell herzustellen und wieder abzurechnen, wie wir dies mit dem Nervenstrom gethan haben, um eine physiologische Wirkung von demselben zu erlangen (S. oben Abth. I. S. 273). Wenigstens wird so vermuthlich immer noch leichter secundäre Zuckung eintreten als beim Beginn oder gar beim Nachlassen des willkürlichen Tetanus, wo die Curve der Stromdichte im Nerven schwerlich solche Steilheit besitzt, daß, selbst bei noch weit beträchtlicherer absoluter Größe ihrer Ordinaten, Zuckung stattfinden könnte.

Um den Versuch anzustellen, bringt man zwischen die Zuleitungsbüchse einen Zwischenbausch an, bekleidet diesen und einen der Zu-

leitungsbaüsche mit Eiweißshäutchen, und überbrückt sie mit dem Nerven des stromprüfenden Froschschenkels. Zwischen dem Zwischenbausch und dem anderen Zuleitungsbaüsche schließt und öffnet man den Kreis mittelst des Schließungsbaüsches. Damit ein entscheidender Erfolg beobachtet würde, müßte natürlich der stromprüfende Schenkel in Ruhe bleiben, so lange keine Muskeln angespannt sind; erst beim willkürlichen Tetanus dürfte er auf das Schließen und Oeffnen des Kreises mit Zuckung antworten. Es findet daher diese Versuchsweise nur Anwendung auf diejenigen der oben beschriebenen Anordnungen, bei denen, nach längerer Schließung, kein merklicher Strom im Kreise zurückbleibt. Dies sind die drei bereits im Vorigen (S. oben S. 305) von uns angewendeten, da die Gestalt des Versuches, wobei beide Elbogen in die Zuleitungsgefäße tauchen (S. oben S. 290), zu unbequem ist. Ich habe, in allen drei Fällen, mehreremal den Versuch vergeblich angestellt. Es liegt also der bei der Zusammenziehung entstehende Strom, bei der Geschwindigkeit der Herstellung und Unterbrechung, wie sie hier erlangt werden kann, unterhalb der Grenze der Empfindlichkeit des stromprüfenden Schenkels.

Die Folge wird lehren, daß dies selbst dann der Fall ist, wenn der Widerstand des Körpers durch Hinwegschaffung der Oberhaut beträchtlich vermindert worden ist.

(vi) *Geschichtliches zu den vorigen Versuchen.*

Mit den Fingern in den gewöhnlichen Zuleitungsgefäßen habe ich den Strom beim willkürlichen Tetanus eines Armes bereits im Jahr 1845 am Multiplicator für den Muskelstrom beobachtet. Die Versuche des vierten Kapitels und des dritten Paragraphen dieses Kapitels waren dieser Beobachtung, mit wenigen Ausnahmen, vorausgegangen. Es lag dieselbe ganz natürlich am Ende des Weges, den ich schon 1842 in meinem »*vorläufigen Abrisse*« betrat, als ich die negative Schwankung des Stromes der Froschmuskeln bei der Zusammenziehung nachwies. Nicht durch Zufall wurde ich darauf geführt, sondern ich wußte, daß ein derartiger Erfolg unter gewissen Bedingungen nicht ausbleiben konnte, obschon ich allerdings nicht im Stande war vorauszusehen, daß er gerade unter diesen Umständen und gerade in dieser Richtung eintreten würde.

Seit dem Jahr 1845 waren viele Berliner und auswärtige Gelehrte bei mir Zeugen der durch willkürliche Zusammenziehung hervorgebrachten Nadelablenkungen. Im September 1847 hatte ich die Ehre, die Erscheinung, im Beisein meines Freundes BRÜCKE, Herrn ALEXANDER VON HUMBOLDT zu zeigen. Im März 1848 gab ich in der Vorrede zu

diesem Werke eine Andeutung des Versuches (S. oben Bd. I. S. xv). Im Herbst desselben Jahres endlich theilte ich ihn, im Verein mit der Grundthatsache des elektrotonischen Zustandes der Nerven, der hiesigen Akademie der Wissenschaften bei Uebersendung des ersten Bandes dieses Werkes mit, indem ich mich auf das Zeugniß zweier Mitglieder der Akademie, der Herren v. HUMBOLDT und MAGNUS berief.¹

Die erwähnte Stelle meiner Vorrede gab ein halbes Jahr später Herrn v. HUMBOLDT Veranlassung, die Aufmerksamkeit der Pariser Akademie der Wissenschaften auf den in Rede stehenden Versuch zu lenken.² Um die Zweifel zu besiegen, welche in Folge dieser Mittheilung, zwar nicht öffentlich, doch in Privatbriefen ausgesprochen wurden, hatte Herr v. HUMBOLDT die Güte, sich am 15. Mai 1849 abermals zu mir zu begeben und in Gegenwart der Herren JOHANNES MÜLLER und HELMHOLTZ den Versuch selber anzustellen. Mit Bezug hierauf, und mit einer Nachschrift v. HUMBOLDT's versehen, erschien ein Brief von mir an v. HUMBOLDT in den *Comptes rendus* etc. 21 Mai 1849. t. XXVIII. p. 641.³ In diesem Briefe setzte ich kurz das Verfahren, dessen ich mich zu bedienen pflege, auseinander, wobei ich meine thierisch-elektrischen Versuchsweisen, Multiplicator, Zuleitungsgefäße u. s. w. als bekannt voraussetzte, aus dem Grunde, daß v. HUMBOLDT bereits ausdrücklich auf den schon im Herbst 1848 erschienenen ersten Band dieser Untersuchungen hingewiesen hatte.⁴ Ich beschrieb sodann, so weit ich sie damals kannte, die Hautströmungen bei gesunden Fingern, sowie die bei Gegenwart einer Wunde an dem einen Finger, endlich den Erfolg bei der Zusammenziehung.

In Folge dieses Briefes versuchten mehrere Gelehrte die von mir angegebene Thatsache zu beobachten. Indessen blieben ihre Bestrebungen meist erfolglos und ihre Erörterungen des Gegenstandes ohne Werth, weil sie, ungeachtet der eben erwähnten und später nochmals⁵ wiederholten Aufforderung v. HUMBOLDT's, es versäumten, zuvor Kenntniß von meinen früheren Arbeiten zu nehmen. Die ersten, die sich mit

¹ Bericht über die zur Bekanntmachung geeigneten Verhandlungen der Königl. Preuss. Akademie der Wissenschaften zu Berlin. October 1848. S. 362; — L'Institut. t. XVII. No. 795. p. 102.*

² *Comptes rendus* etc. 30 Avril 1849. t. XXVIII. p. 570;* — L'Institut. t. XVII. No. 800. p. 138.*

³ L'Institut. No. 803. p. 161;* — Archives des Sciences physiques et naturelles. t. XI. p. 217;* — Philosophical Magazine. 3. Series. July 1849. Suppl. vol. XXXIV. p. 543;* — The American Journal of Science and Arts. 2. Series. vol. VIII. p. 404;* — ZANTEDESCHI, Annali di Fisica. 1849—1850. p. 13.*

⁴ *Comptes rendus* etc. 30 Avril 1849. t. XXVIII. p. 570.*

⁵ *Comptes rendus* etc. 21 Mai 1849. t. XXVIII. p. 643.*

der Wiederholung meines Versuches befassten, waren DESPRETZ und BECQUEREL der Vater.

DESPRETZ benutzte einen RUHMKORFF'schen Multiplicator von nur 1800 Windungen, der also auch unter den günstigsten Umständen höchstens eine Spur von Ablenkung hätte zeigen können. Zuerst fafste er mit den Händen kupferne Handhaben, die er aber zu diesem Behuf hatte versilbern, vergolden und platiniren lassen. Er fand, dafs man nur mit der einen Hand die Handhabe zu drücken brauchte, um Ablenkungen von 50—90° bald in der einen, bald in der anderen Richtung zu bewirken. Diese Versuche stellte DESPRETZ an, bevor er meinen Brief an v. HUMBOLDT zu Gesicht bekommen. Nachdem er davon Kenntniß erhalten, fing er damit an sich zu versichern, dafs ungleiche Temperatur der Salzlösung in den beiden Gefäfsen, worin die Finger tauchten, keine Spur von Strom erzeugte, wobei ihm also die oben S. 208 beschriebenen Wirkungen entgingen. Damit, beim Eintauchen der Finger, die Flüssigkeit nicht neue Punkte der Zuleitungsplatten benetze, wurden die Platten bis unter den Spiegel der Flüssigkeit mit Siegelack überzogen (Vergl. oben Bd. I. S. 215. Bd. II. Abth. I. S. 188. 190. Abth. II. S. 282). Die Zusammenziehung eines Armes gab unter diesen Umständen Ablenkungen bald im einen, bald im anderen Sinne.

Da es DESPRETZ nicht glückte, auf die von mir angegebene Art unzweideutige Erfolge zu beobachten, so suchte er auf eigenen Wegen dazu zu gelangen. Er zog den einen Arm bereits in der Luft zusammen, und tauchte nun erst die Finger ein. Er tauchte statt der Finger die ganzen zur Faust geballten Hände in grofse Gefäfsen mit Salzlösung ein; beides ohne bestimmtes bejahendes oder verneinendes Ergebnifs. Die Richtung der Ausschläge, welche er erhielt, entsprach bald der von mir angegebenen, bald widersprach sie ihr.

Um den Versuch zu gröfserer Einfachheit zurückzuführen, suchte DESPRETZ den Multiplicator durch den stromprüfenden Froschschenkel zu ersetzen. Froschschenkel wurden mit den Armen zum Kreise geschlossen, während ein Arm angespannt war. Da auch dies mißlang, kehrte DESPRETZ zu den Versuchen mit den Handhaben zurück. Vermuthlich um dabei den Druck im Augenblick der Zusammenziehung zu vermeiden, wurden diesmal die Handhaben mit seidenen Schnüren auf den mit Salzlösung benetzten Handrücken festgebunden. Die beständige Ablenkung der Nadel durch die blofse Ungleichartigkeit des so gebildeten Kreises betrug 10°, übertraf also beiläufig um mindestens das zehnfache den Ausschlag, den DESPRETZ, an seinem Multiplicator, durch den Strom beim willkürlichen Tetanus des einen Armes hätte erwarten können. Endlich, da auch dies nichts fruchten wollte, schlofs

DESPRETZ, wie es scheint, nur den Kreis in der Luft mit Armen und Händen in der Nähe eines ästatischen Nadelpaares und spannte den einen Arm an, allein, was nicht zu verwundern ist, gleichfalls ohne Erfolg. DESPRETZ begnügte sich nicht, nach diesen Versuchen das von mir angekündigte Ergebniss zu bezweifeln, sondern er dehnte seine Zweifel auch noch aus über die thierisch-elektrischen Versuche an Fröschen, von denen ihm übrigens wohl nur die MATTEUCCI's bekannt waren. Seine Sorge ist, daß alle diese Erscheinungen, statt von den thierischen Theilen, vielmehr ausgehen von den zur Ableitung angewendeten Metallen. Bei den Vorstellungen, die er sich von den thierisch-elektrischen Versuchen gemacht zu haben scheint, kann man seine Zweifel nur gerechtfertigt finden. Ganz gewiß gingen in allen Versuchen DESPRETZ' die Wirkungen einzig und allein von den Metallen aus.¹

BECQUEREL dem Vater glückte es so wenig als DESPRETZ meinen Versuch zu wiederholen. Ohne zu bedenken, daß dies sehr wohl daher rühren mochte, daß sein Multiplicator nicht die gehörige Empfindlichkeit besaß, gab BECQUEREL ohne Weiteres zu verstehen, daß ich mich durch Hautungleichartigkeiten und durch die Ladungen der Platinplatten auf's gröblichste habe täuschen lassen;² und die wissenschaftliche Tagespresse verfehlte nicht, in diese verdiente Abfertigung meiner kindischen Behauptungen mit lautem Hohne einzustimmen.³

Eine solche Verunglimpfung seines Ansehens, wobei noch dazu ein Nachdruck auf den deutschen Ursprung der angefochtenen Thatsache gelegt wurde, konnte v. HUMBOLDT nicht füglich ungeahndet hingehen lassen. Am 6. Juni 1849 begab er sich abermals zu mir in Gemeinschaft mit Herrn E. MITSCHERLICH, damit auch dieser von der Wahrheit meiner Thatsachen Zeugniß ablegen möchte. Mein Freund W. HEINTZ war bei diesen Versuchen gegenwärtig. Einige Tage später wiederholte Herr MITSCHERLICH seine Prüfung. Das Ergebniss derselben, welches

¹ Comptes rendus etc. 28 Mai 1849. t. XXVIII. p. 653; * — L'Institut. t. XVII. No. 804. p. 169; * — Philosophical Magazine. 3. Ser. July 1849. vol. XXXV. p. 53; * — The American Journal of Science and Arts. 2. Series. vol. VIII. p. 406; * — Archives des Sciences physiques et naturelles. Juillet 1849. t. XI. p. 217. * Hier stimmt DE LA RIVE den Behauptungen DESPRETZ' bei hinsichtlich der Unmöglichkeit zarte hydroelektrische Ströme, wie die angeblich thierisch-elektrischen, mit Hülfe des Multiplicators sicher zu erkennen und zu studiren, und zwar wegen der elektromotorischen Wirkungen, welche die Folge seien der Berührung der Flüssigkeiten und der metallischen Multiplicatorenden.

² Seine »Note« steht mit der von DESPRETZ zugleich an den eben erwähnten Stellen.

³ S. z. B. Journal des Débats politiques et littéraires. 1 Juin 1849. Feuilleton. — Archives générales de Médecine etc. 4. Sér. t. XX. p. 253. *

der Leser leicht erräth, findet sich in einem Briefe v. HUMBOLDT's an ARAGO in den *Comptes rendus* etc. 2 Juillet 1849. t. XXIX. p. 8.*¹

Die Angreifer zogen nach diesem Briefe wenigstens zum Theil ihre Stellungen etwas zurück.*² Im Uebrigen aber verlautete seitdem in Frankreich nichts von meinem Versuch, nur dafs DUCROS sich seiner annahm, ein Mann, der seit Jahren den Lesern der *Comptes rendus* bekannt war durch seine in zahllosen Aufsätzen stets von Neuem vorgebrachten ausschweifenden Behauptungen vornehmlich auf dem Felde der Elektrotherapeutik. Dieser brachte es bald dahin, nicht nur durch den Vorgang des Empfindens, sondern sogar durch den des Denkens, durch arithmetische Operationen nämlich, die Multiplicatornadel in Schwankungen zu versetzen, die um so heftiger sein sollten, je verwickelter die Operation.*³ Die Akademie verschmähte nicht, Kenntniß von diesen schwer zu bezeichnenden Leistungen zu nehmen, und zuletzt entwickelte sich daraus in ihrem Schoofse zwischen DESPRETZ und POUILLET ein Streit über den Einfluß, den Luftströmungen auf Stellung und Bewegung der Magnetonadel äußern können (Vergl. oben Bd. I. S. 194).⁴

In England hatte inzwischen ROBERT HUNT sich bestrebt, meinen Versuch zu wiederholen. Dieser hatte meine Angaben entweder entstellt vernommen, oder mißverstanden: denn er glaubt danach zu verfahren, indem er nach DESPRETZ' Weise (S. oben S. 310) den einen Arm bereits in der Luft zusammenzieht, und dann erst beide Finger eintaucht, wobei man natürlich sehr leicht Täuschungen durch die Hautungleichartigkeiten ausgesetzt ist. Die Platinplatten in seinem Versuch waren anderthalb Zoll breit und tauchten zwei Zoll tief in die Kochsalzlösung ein. Sie waren also fast so ausgedehnt, als die von mir angewendeten. Die Lösung enthielt $\frac{3}{4}$ Kochsalz auf die Imperial Pint, also etwa 18 Theile Salz auf 100 Theile Lösung, war also bei weitem nicht gesättigt. Der Multiplicator wird nicht näher beschrieben. Beim Eintauchen der Finger in der angegebenen Art sah HUNT Ausschläge von 2° erfolgen, deren Richtung er nicht angiebt, die also wahrscheinlich den von mir bezeichneten Sinn einhielten. Unter der Voraussetzung,

¹ L'Institut. t. XVII. No. 809. p. 210.* — Kurz zusammengestellt hat diese Verhandlungen auch C. SCARPELLINI in der *Corrispondenza scientifica* in Roma. No. 11. 22 Agosto 1849. p. 86.*

² Gazette des Hôpitaux civils et militaires. 3. Série. t. I. No. 78. p. 311.* 5 Juillet 1849; — Journal des Débats etc. 12 Juillet 1849. Feuilleton;* — Archives générales de Médecine etc. 4. Sér. t. XX. p. 496.*

³ Comptes rendus etc. 28 Mai 1849. t. XXVIII. p. 677;* — 2 Juillet. t. XXIX. p. 16;* — 9 Juillet. p. 26;* — 16 Juillet. p. 57.*

⁴ DESPRETZ, Comptes rendus etc. 27 Août 1849. t. XXIX. p. 225;* — POUILLET, Ibidem. 3 Septembre. p. 245;* — DESPRETZ, Ibidem. 10 Septembre. p. 273.*

denn auch dies findet sich nicht gesagt, daß das Eintauchen der Finger bei erschlafften Armen die Nadel in Ruhe liefs, mag HUNT wirklich den Strom durch die Zusammenziehung beobachtet haben. Anstatt nun aber die Empfindlichkeit des Multiplicators zu erhöhen, verläßt HUNT den richtigen Weg und wendet sich der fehlerhaften durch DESPRETZ eingeführten Versuchsweise zu, die darin besteht, die metallischen Multiplicatorenden unmittelbar mit den Händen zu berühren. Drückte er die eine Platinplatte des Multiplicators mit den Fingern, während die andere nur entweder leise berührt wurde oder durch die Salzlösung mit der anderen Hand in Verbindung stand, so erfolgten Ausschläge bis zu 30°, deren Größe anfänglich mit der Stärke des Druckes im geraden Verhältniß stand, endlich aber, unter scheinbar unveränderten Umständen, verschwindend ward. HUNT stellt sich vor, daß diese Ausschläge dem Strome der zusammengezogenen Muskeln zuzuschreiben seien und daß sie deshalb aufhörten, weil die Muskeln ermüdeten. Auch er glaubt sich übrigens, gleich DESPRETZ (S. oben S. 310), überzeugt zu haben, daß verschiedene Temperatur der Kochsalzlösung keine merkliche Wirkungen nach sich zog.¹

ALB. MOUSSON in Zürich scheint auch keine richtige Kenntniß von meiner Versuchsweise gehabt zu haben. Die seinige schildert er folgendermaßen: »Die Enden eines empfindlichen Galvanometers werden mit »Platinstreifen versehen und in zwei Schalen mit Salzwasser getaucht. »Fasst man zugleich jeden der Streifen mit einer Hand, so zeigt sich, »dadurch allein, noch keinerlei Wirkung, wird aber der eine Arm »krampfhaft angespannt, so geht von dieser Seite ein Strom durch das »Galvanometer, der die Nadel oft um 30 und 40° abzulenken vermag.« MOUSSON beobachtete also, wie es scheint, einen absteigenden Strom im angespannten Arm, ohne daß ihm dieser Widerspruch mit dem von mir angekündigten Erfolge weiter auffiel. MOUSSON fand aber ferner, daß bei säulenartiger Anordnung von zwei oder mehreren Personen, die sich die Hände gaben, der Strom schwächer ausfiel, als bei nur einer; sodann, daß eine wesentliche Bedingung der von ihm beobachteten Wirkung in dem mit den Fingern auf die Zuleitungsplatten ausgeübten Druck liege. Wurden die Armmuskeln angespannt, ohne daß zugleich ein Druck auf die Elektroden stattfand, so blieb der Strom

¹ The Athenaeum. No. 1128. June 9, 1849. p. 597; * — Mechanic's Magazine, etc. vol. L. p. 565.* — Die Herausgeber des Philosophical Magazine sagen in einer Anmerkung zur Uebersetzung meines Schreibens an v. HUMBOLDT (S. oben S. 309), daß in England die Wiederholung des Versuches geglückt sei. Dasselbe theilte mir der Uebersetzer, Herr LETTSOM, unter dem 26. Juni 1849 brieflich mit. Ich weiß nicht, ob sich diese Angaben auf HUNT's Versuche, oder auf andere beziehen.

aus. Mousson hält es danach für folgerecht, den Ursprung des Stromes zu suchen »in diesem Drucke, in der dadurch veränderten Berührung und den dadurch bewirkten schweißigen oder anderen Absonderungen.«¹

Bald darauf liefs sich MATTEUCCI in dieser Angelegenheit vernehmen. »C'est avec le plus vif intérêt,« sagt er, »que j'ai répété cette expérience. J'avais espéré qu'elle me tirerait, une fois pour toutes, de l'incertitude dans laquelle je suis depuis la découverte de la contraction induite. Malgré un très-grand nombre d'expériences, dans lesquelles j'ai tâché de découvrir la vraie nature de la contraction induite, j'ai dû à la fin conclure qu'il m'était impossible de décider si la cause était un dégagement d'électricité par la contraction, ou un véritable cas d'induction nerveuse.« Ich lege Werth auf diese Aeufserung. Sie zeigt unzweideutig, dafs MATTEUCCI noch im Sommer 1849 keine Ahnung besafs von der negativen Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung, die ich im Sommer 1842 entdeckte. Sie beweist auf's Neue, dafs die Angaben MATTEUCCI's im *Essai* etc., die in meinem »vorläufigen Abrifs« auf die negative Schwankung gedeutet sind, sich nicht auf diese bezogen, sondern nur auf die Abnahme der mechanischen und elektromotorischen Leistungsfähigkeit der Muskeln, welche die unvermeidliche Folge anhaltender Zusammenziehung ist (Vergl. oben Abth. I. S. 11 ff.).

Bei der Wiederholung meines Versuches wendete MATTEUCCI nur eine verdünnte Kochsalzlösung an. Die Nadel kam auf Null. Die Empfindlichkeit des Multiplicators findet sich nicht näher bestimmt. Es ist aber kein Grund vorhanden anzunehmen, dafs er anderer Art gewesen sei, als die Multiplicatoren, deren sich MATTEUCCI sonst zu bedienen pflegt, d. h. von mehr als 2500—3000 Windungen (S. oben Bd. I. S. 119. Bd. II. Abth. I. S. 479). Als MATTEUCCI abwechselnd den einen und den anderen Arm anspannte, erhielt er stets Nadelbewegungen von 15—20°, deren Gröfse jedoch der Stärke der Anstrengung nicht entsprach, und deren Richtung kein Gesetz erkennen liefs. MATTEUCCI versuchte, gleich DESPRETZ, vergeblich, durch die Zusammenziehung seiner Arme, statt die Nadel zur Ablenkung, den stromprüfenden Froschschenkel zum Zucken zu bringen. Im Gefühle seiner Unfehlbarkeit auf diesem Gebiete schlofs MATTEUCCI: »J'ai donc bien démontré que, de l'expérience de M. DU BOIS-REYMOND, il ne résulte pas la preuve du développement de l'électricité par la contraction musculaire« und wendet sich dann ge-

¹ Mittheilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich. Bd. I. S. 373.* (18. Juni 1849).

gen DESPRETZ, der bei Gelegenheit meines Versuches zugleich über alle übrigen thierisch-elektrischen Untersuchungen mit Anwendung des Multiplimators den Stab gebrochen hatte (S. oben S. 311).¹

BUFF in Giessen war mit keinem empfindlicheren Stromprüfer ausgerüstet als DESPRETZ, BECQUEREL und MATTEUCCI. Der ihm zu Gebote stehende Multiplimator war ein KLEINER'scher von 3000 Umgängen, dessen Nadel 30" zu einer Schwingung brauchte. Der Multiplimator war mit Zuleitungsgefäßen nach meiner Angabe, von der Arbeit des Herrn Hoss in Giessen, versehen. Die Wiederholung des Versuches in der von mir beschriebenen Art gelang trotzdem nicht, indem nur ungewisse Wirkungen erhalten wurden. Um aber den Strom zu verstärken, traf BUFF, wie schon MOUSSON vor ihm (S. oben S. 313), die Anordnung, daß sich mehrere Personen die befeuchteten Hände reichten, und Alle gleichzeitig den rechten oder gleichzeitig den linken Arm anstrebten, während die beiden Endglieder der Reihe die Verbindung mit dem Multiplimator herstellten. So brachten 16 Personen vereint eine Ablenkung von 10 — 12° stets in dem richtigen, von mir angegebenen Sinne hervor (Vergl. oben S. 288).²

Einige Wochen später hatte ich die Genugthuung, auf der Durchreise in Giessen mit den nämlichen Vorrichtungen in Gegenwart der Herren BUFF, BISCHOFF, LUDWIG aus Marburg, A. W. HOFFMANN aus London einige Versuche auszuführen. Nachdem ich mich bemüht hatte,

¹ Comptes rendus etc. 25 Juin 1849. t. XXVIII. p. 783; * — L'Institut. No. 808. p. 202. * — Ganz übereinstimmend äußert sich MATTEUCCI noch über den Versuch in einer Abhandlung vom 1. April 1850, die in den Philosophical Transactions etc. For the Year 1850. P. II. p. 646* gedruckt steht, und in einem gegen mich gerichteten Schreiben an die Pariser Akademie vom 24. Mai desselben Jahres (Comptes rendus etc. 3 Juin 1850. t. XXX. p. 706; * — auch als besondere Schrift zu Florenz bei LEMONNIER gedruckt unter dem Titel: Réponse aux deux dernières Lettres de M. du Bois-REYMOND, insérées dans les nos 17 et 18 des Comptes-rendus de l'Académie, et en général à toutes les observations faites par le même auteur sur quelques-unes de mes recherches d'électro-physiologie. p. 7*). In der Abhandlung in den Philosophical Transactions bedient sich MATTEUCCI bereits, nach MOUSSON's, BUFF's und BANCALARI's Vorgange (S. oben S. 299. 313 und weiter unten im Text) der säulenartigen Anordnung zur Verstärkung des Stromes. Er liefs nicht weniger als 30 — 40 Menschen einen Kreis bilden, und, während alle den entsprechenden Arm anspannten, die beiden äußersten den Nerven des stromprüfenden Froschschenkels berühren. MATTEUCCI behauptet, daß eine seiner Muskelsäulen aus nur wenigen Gliedern durch diesen Kreis hindurch Zuckung des stromprüfenden Schenkels hervorbringen vermocht habe.

² WÖHLER und LIEBIG's Annalen der Chemie und Pharmacie. 18. August 1849. Bd. LXX. S. 366* (13. Juli 1849); — Philosophical Magazine etc. 3. Ser. October 1849. vol. XXXV. p. 288. * — L'Institut. 1850. t. XVIII. No. 840. p. 48; * — Corrispondenza scientifica in Roma. No. 17. p. 138.*

die vortheilhaftesten Bedingungen herzustellen, die diese Vorrichtungen zuliefen, gelang es mir sowohl als Herrn Prof. BUFF auch ganz allein, ohne säulenartige Verbindung mehrerer Personen, die Nadel bis auf 2° stets in der richtigen Richtung, zur Ueberzeugung aller Anwesenden, durch die Anstrengung des einen oder des anderen Armes abzulenken (S. oben S. 296). Herr BUFF hat die Güte gehabt, einen Bericht auch über diese Versuche in den *Annalen der Chemie und Pharmacie* zu veröffentlichen.¹

Zu gleicher Zeit mit MOUSSON und BUFF ist BANCALARI in Genua, der Entdecker der Wirkung des Magnetes auf die Flamme, auf den Gedanken gekommen, den Strom beim willkürlichen Tetanus durch säulenartige Anordnung mehrerer Menschen zu verstärken. BANCALARI benutzte einen GOURJON'schen Multiplicator von 3000 Windungen. Die Platinenden des Multiplicators tauchten nicht unmittelbar in die Gefäße, in welche die Finger oder Hände getaucht werden sollten, sondern in Gefäße, welche mit den ersteren durch dicke Baumwollendochte verbunden waren; eine Anordnung zum Vermeiden des Anwogens der Flüssigkeit gegen die Platten, welche wir schon oben Bd. I. S. 119 durch MATTEUCCI kennen gelernt, jedoch an ihre Stelle die Umhüllung mit Fließpapier gesetzt haben. Beim Zusammenziehen des einen oder anderen Armes erhielt BANCALARI Ausschläge, welche sich nie über $5-6^{\circ}$ erstreckten, häufig weit darunter blieben. Aber drei Personen, die einzeln nur $5-6^{\circ}$ Ablenkung erzeugten, brachten zur Säule vereint 12° hervor. Es wird nicht gesagt, wie die Verbindung der einzelnen Personen unter sich vermittelt war, ob sie sich die Hände reichten, oder die Finger in eingeschaltete Gefäße mit Salzlösung tauchten.

Schließlich erklärt BANCALARI, welcher diese Versuche sonst für tadelfreie Wiederholungen des meinigen ausgiebt, daß er stets und unter allen Umständen die Richtung des Stromes umgekehrt wie ich, d. h. in dem angespannten Arme von der Schulter zur Hand gefunden habe. Dies reicht hin, um zu zeigen, daß er es gar nicht mit dem wahren Strome wegen der Zusammenziehung zu thun gehabt habe. Wäre ein Zweifel darüber möglich, so würde er gehoben durch die Bemerkung BANCALARI's, daß beim Abspannen der Muskeln sich ein Strom kundgebe in umgekehrter Richtung von dem beim Anspannen. Dies stimmt nicht mit der Erscheinungsweise des Stromes beim willkürlichen Tetanus, wie wir sie oben S. 291 kennen gelernt haben. Dieser Strom verschwindet beim Anspannen der Arme nicht plötzlich, sondern nimmt allmählig genug an Stärke ab, damit die dadurch entwickelten Ladungen

¹ A. a. O. 3. November 1849. Bd. LXXI. S. 239. *

in keinem Augenblick die Oberhand gewinnen, damit also die Gleichgewichtslage, um welche die Nadel schwingt, nie in den entgegengesetzten Quadranten von dem verlegt werde, in welchem der erste Ausschlag geschah. Es kann also wohl die Nadel im Rückschwung den Nullpunkt überschreiten, nie jedoch wird ihr Rückschwung so groß, daß er zu deuten wäre auf einen im Augenblick des Anspannens entstehenden Strom in umgekehrter Richtung von dem, der beim Anspannen entstand. Welchen Ursprungs der Strom gewesen sei, den BANCALARI beobachtet und für den Strom wegen der Zusammenziehung gehalten hat, dies zu ermitteln kann wohl nicht unsere Aufgabe sein. Schwerlich jedoch ist BANCALARI in Versuchen dieser Art sehr bewandert gewesen, da er in dem angeblichen Strom beim Anspannen nicht einmal den Strom der Ladungen erkannte, den der Strom beim Anspannen, gleichviel welcher Quelle er entsprang, auf den Platinenden entwickelt hatte.¹

ZANTEDESCHI, welcher demnächst hier das Wort nahm, hatte gleichfalls einen GOURJON'schen Multiplicator von 3000 Windungen. Die Platinenden desselben, welche bis auf eine Kreisfläche von 6^{mm} Durchmesser mit Firnis bekleidet waren, faßte er zwischen Daumen und Zeigefinger, nachdem er diese mit Salzwasser angefeuchtet hatte. Wenn die Nadel sich von den ersten unregelmäßigen Ausschlägen erholt hatte, beugte ZANTEDESCHI entweder oder streckte den Arm. In beiden Fällen beobachtete er Ausschläge, die sich beim Strecken auf 35°, beim Beugen auf 18° beliefen, stets aber absteigend gerichtet waren, also umgekehrt wie ich es angegeben. Die Ströme sanken, während die Arme gestreckt und gebeugt gehalten wurden, sehr bald von ihrer Höhe herab, und ebenso bei öfterer Wiederholung des Versuches. Doch behauptet ZANTEDESCHI, daß, wenn die Wirkung durch die Strecker eines Armes erschöpft sei, man noch die Wirkung durch die Beuger wahrnehmen könne. Beim Nachlassen der Muskeln gebe sich ein Strom kund in umgekehrter Richtung von dem beim Anspannen. Die Erklärung dieses Stromes durch die freier werdenden Ladungen bleibt auch hier unerwähnt. Da verschiedene Personen in diesen Versuchen eine verschiedene elektromotorische Kraft entwickeln, so habe die Verbindung mehrerer Menschen zur Säule häufig Schwächung, statt Verstärkung zum Erfolg (Vergl. oben S. 300).²

¹ Corrispondenza scientifica in Roma. 22 Agosto 1849. No. 11. p. 85.* — Vergl. auch Ivi, 10 Novembre 1849. No. 14. p. 114*, einige Bemerkungen von mir über BANCALARI's Versuch.

² ZANTEDESCHI, Annali di Fisica. 1849 — 1850. p. 13. 55;* — Corrispondenza scientifica in Roma. 3 Ottobre 1849. No. 13. p. 101;* — Ivi, 12 Decembre 1849. No. 15. p. 119.*

Herr ZANTEDESCHI hat mir unter dem 28. October 1849 ferner brieflich mitgetheilt, daß es ihm, bei demselben Verfahren, gelungen sei, durch den Strom bei der Zusammenziehung Zuckung des stromprüfenden Froschschenkels zu erregen. Statt des Multiplimators wurden in den Kreis der zwischen Daumen und Zeigefinger gehaltenen Platinplatten zwei Kupferstreifen geschaltet, welche auf einer Glasplatte in 40^{mm} Abstand aufgekittet waren. Auf den einen Kupferstreifen kam der Nerv, auf den anderen das Bein des stromprüfenden Schenkels zu liegen. Beim stoßweisen Anspannen und Abspannen der Muskeln zuckte der Schenkel.¹

Ich brauche wohl nicht bemerkllich zu machen, daß ZANTEDESCHI sich bei diesen Versuchen gänzlich getäuscht hat. Der Strom beim willkürlichen Tetanus ist, wie man gesehen hat, nicht im Stande, Zuckungen zu erregen, und ebensowenig vermag er die Nadel eines Multiplimators von 3000 Windungen bis zu 35° abzulenken. Beim Abspannen folgt ihm keine Bewegung der Nadel, der negative Kräfte zu Grunde lägen. Welch eine, dem Strom beim willkürlichen Tetanus völlig fremde Wirkung ZANTEDESCHI, wie schon vor ihm mehrere andere, in die Irre geführt habe, wird die folgende Nummer (vii) lehren.

Nachdem ich übrigens Herrn ZANTEDESCHI brieflich darauf aufmerksam gemacht hatte, daß er am Multiplimator die Richtung des Stromes anders als ich angegeben habe, beeilte sich derselbe zu erklären, daß dies nur ein Irrthum seinerseits, beruhend auf der Verwechslung der Pole der Multiplimatornadel, gewesen sei.²

Später hat ZANTEDESCHI den Versuch am Multiplimator noch in der Art wiederholt, daß er den mit Salzwasser befeuchteten kleinen Finger jeder Hand in einen an den Multiplimatordraht gelötheten silbernen Fingerhut steckte. Beim Anspannen der Armmuskeln seien 3 — 4° Ausschlag im aufsteigenden Sinne entstanden. Es ist möglich, obschon aus mancherlei Gründen noch immer stark zu bezweifeln, daß ZANTEDESCHI dabei wirklich den Strom wegen des willkürlichen Tetanus vor sich gehabt habe.³

¹ Dieser Brief findet sich abgedruckt in den *Annali di Fisica*. 1849—1850. p. 77.*

² Ivi, p. 160.*

³ Ivi, p. 392.* — Der Vollständigkeit wegen mag hier auch erwähnt werden, daß MARCHIANDI in Turin damals geglaubt hat gegen meinen Versuch eine Prioritätsreclamation zu Gunsten der Gelehrten Italiens erheben zu müssen. Und zwar gründet er diese Reclamation auf die oben Abth. I. S. 238. 243. 247. 259 erwähnten Versuche PUCCINOTTI's und PACINOTTI's in Pisa (*Corrispondenza scientifica in Roma*. No. 14. 10 Novembre 1849. p. 109*). PUCCINOTTI selber besaß indess Einsicht genug, um die ihm zugedachte Ehre abzulehnen (*Gazzetta Toscana delle Scienze medico-fisiche*. Anno VII. No. 35, 36. 4. Novembre 1849. p. 274;* — *Corrispondenza*

Zuletzt ist hier noch der Versuche CIMA's zu gedenken. Auch ihm stand nur ein GOURJON'scher Multiplicator von 3000 Windungen zu Gebote. Das Nadelpaar schlug 33" und ein GALVANI'sches Präparat brachte bei der von NOBILI angegebenen Versuchsweise (S. oben Bd. I. S. 104) einen Ausschlag von 30° hervor. Der Multiplicator war also wohl viel weniger empfindlich, als mein Multiplicator für den Muskelstrom und hätte nur unter den günstigsten Bedingungen eine Spur von Wirkung beim willkürlichen Tetanus zeigen können.

CIMA fing an, nach meiner Angabe mit Platinenden in Kochsalzlösung zu arbeiten. Aber durch theoretische Betrachtungen geleitet, deren Ergebniss nicht zur näheren Kenntnissnahme einladet, ersetzte er auch in vielen Versuchen diese zuleitende Vorrichtung durch Gefäße mit Quecksilber, worin einerseits verwickelte Kupferplatten, andererseits die trockenen, manchmal auch die feuchten Finger getaucht wurden. CIMA berichtet, dafs wenn er dreifsig Menschen einander die Hände reichen, und die beiden äufsersten die trockenen Finger in die Quecksilbergefäße tauchen liefs, eine Säule aus acht halben Froschoberschenkeln durch diesen Kreis hindurch noch 20 — 25° Ausschlag hervor gebracht habe. Den eigentlich beabsichtigten Versuchen liefs CIMA sehr zweckmäfsig einige Studien über Hautströme vorangehen. Er hat das Verdienst, zuerst darauf aufmerksam gemacht zu haben, wie unsicher das Verfahren sei, bei der säulenartigen Anordnung mehrerer Menschen zum Kreise, dieselben sich die Hände reichen zu lassen, indem das blofse Andrücken zweier befeuchteten inneren Handflächen gegeneinander bereits Anlafs zu Strömen gebe (Vergl. oben S. 300).

Zum Ziel gelangte übrigens CIMA, wie sich bei seinen Hilfsmitteln von selbst versteht, trotz aller Mühe so wenig als seine Vorgänger. Als nur eine Person in der von mir angegebenen Art den Versuch anstellte, wobei, nach BECQUEREL's Vorgang, die Finger bis unterhalb des Spiegels der Flüssigkeit mit einer Fettschicht bekleidet waren, blieb die Nadel ganz unbewegt. Bei säulenartiger Anordnung mehrerer Men-

scientifica in Roma. No. 14. p. 112*). ZANTEDESCHI aber nahm MARCHIANDI sehr übel, dafs er PUCCINOTTI und PACINOTTI die Priorität zugeschrieben habe, da sie vielmehr ihm und FARIO, wegen ihrer gleichfalls oben Abth. I. S. 239 erwähnten Versuche, gebühre. Es gewährt ein gewisses Interesse zu beobachten, wie ZANTEDESCHI, der offenbar ursprünglich nicht daran gedacht hatte, erst durch MARCHIANDI's Beginnen darauf aufmerksam wird, dafs sich auf jene Versuche allenfalls eine Reclamation gründen lasse; wie er mir sodann anfangs noch eine Stelle neben sich in der Geschichte dieser Entdeckung einräumt; zuletzt aber sich ein Herz fafst und nur noch allein von seinen Versuchen und von seinen Ergebnissen spricht. (Annali di Fisica. 1849—1850. p. 157;* — Corrispondenza scientifica in Roma. No. 16. p. 125;* — Annali di Fisica 1849—1850. p. 359. 392. 394.)*

schen fanden nur unregelmäßige Wirkungen statt. Endlich bei Anwendung der Quecksilbergefäße und mehrerer zur Säule verbundenen Individuen wurde eine Spur von Wirkung im Allgemeinen in richtiger Richtung beobachtet. Allein die Stärke des Stromes stand in keinem Verhältniß zu der Zahl der Kettenglieder. Es wurden eben so große Wirkungen erhalten, wenn beide Arme gleichzeitig angespannt wurden. Im Augenblick des Anspannens fand ein erneuter Ausschlag in demselben Sinne statt, wie vorher. Wahrscheinlich mit Recht vermuthete CIMA, daß diese Wirkungen von nichts herrührten, als von der veränderten Innigkeit und Ausdehnung der Berührung zwischen den Händen der verschiedenen zum Kreise verbundenen Personen. Er schaltete deshalb Gefäße mit Kochsalzlösung zwischen je zwei Personen ein, und liefs die Finger darin tauchen. Allein nun brachte wieder die unsichere Haltung der Finger in den Gefäßen Störungen hervor. Endlich wendete sich auch CIMA zum Gebrauch des stromprüfenden Froschschenkels, dem er fälschlich eine weit größere Empfindlichkeit zuschreibt als dem Multiplikator (S. oben Bd. I. S. 160). Und er gelangt zu dem Schlusse: »Finalmente il fatto della nessuna proporzionalità della intensità della corrente col grado della contrazione, ottenuta col galvanometro, e i risultati costantemente negativi ottenuti coll' uso della rana galvanoscopica, non ci permettono di ammettere come dimostrato il fatto annunziato dal sig. DU BOIS-REYMOND.«¹

So standen die Dinge, als ich im Frühjahr 1850 Gelegenheit hatte, mit meinen Instrumenten versehen, mich einige Zeit in Paris aufzuhalten. Einige Mittheilungen, die ich der Akademie der Wissenschaften daselbst machte,² veranlafsten diese, eine Commission, bestehend aus den Herren MAGENDIE, DESPRETZ, RAYER und POUILLET, mit der näheren Kenntnissnahme meiner Untersuchungen zu beauftragen, der sich Herr BECQUEREL freiwillig anschloß. Nachdem die Commission zu wiederholten Malen meinen Versuchen beigewohnt hatte, stattete sie am 15. Juli d. J. der Akademie ihren Bericht ab, der POUILLET zum Verfasser hat.³ Es ist hier nicht der Ort, näher auf diesen Bericht einzugehen. Es

¹ Annali di Fisica, Chimica e Scienze affini T. II. Fasc. 6. p. 225.* (1 Mai 1850.)

² Comptes rendus etc. 25 Mars 1850. t. XXX. p. 349; * — 8 Avril 1850. p. 406; * — L'Institut. t. XVIII. No. 847. p. 97.* No. 850. p. 123; * — Annales de Chimie et de Physique. 3. Série. t. XXX. p. 119. 178; * — Corrispondenza scientifica in Roma. No. 19. p. 153.* No. 21. p. 169; * — Archives des Sciences physiques et naturelles. 1850. t. XIV. p. 105.*

³ Comptes rendus etc. t. XXXI. p. 28; * — L'Institut. t. XVIII. No. 863. p. 224.* No. 864. p. 235.* No. 866. p. 251; * — Archives générales de Médecine. 4. Sér. t. XXIII. p. 528; * — Archiv für physiologische Heilkunde. Bd. IX. S. 663.*

genüge die Bemerkung, daß, wenn ich bisher dazu geschwiegen habe und noch schweige, der Grund davon nicht ist, daß ich mich den darin gefällten Urtheilen unterwerfe.

Was den hier in Rede stehenden Versuch betrifft, so erkannte der Bericht die Wahrheit meiner Aussagen nunmehr mit aller Freimüthigkeit unbedingt an, und machte dadurch der Reihe unfruchtbarer Bemühungen zur Wiederholung des Versuches, wie wir sie im Vorigen kennen gelernt haben, glücklich ein Ende. Es wurde fortan aus dem Mißlingen des Versuches nicht mehr ohne Weiteres der Schluss gezogen, daß ich mich getäuscht habe, sondern es mußte wohl oder übel nun auch noch die andere Möglichkeit zugegeben werden, daß man nicht die Hilfsmittel, vielleicht auch nicht die hinlängliche Uebung in den hier nöthigen Handgriffen besitze, um meine Angaben bestätigen zu können. Gegen die Bedeutung des Versuches aber, wie ich sie in meiner ersten Mittheilung an die Pariser Akademie hingestellt hatte, und wie sie im Vorigen von mir festgehalten worden ist, erhob der Bericht Bedenken, auf die wir alsbald näher zurückkommen werden.

(VII) Ueber die von DESPRETZ, HUNT, MOUSSON und ZANTEDESCHI beobachteten falschen Ströme beim willkürlichen Tetanus.

Die im Vorigen geschilderten Bestrebungen zur Wiederholung des in Rede stehenden Versuches sind zunächst sämmtlich daran gescheitert, daß die Multiplicatoren, deren man sich bediente, nicht empfindlich genug waren. Alle diese Multiplicatoren waren, wie bereits mehrmals bemerkt wurde, nur der Art, daß sie, unter den günstigsten Bedingungen, höchstens eine Spur von Wirkung im Bereich von $1-2^{\circ}$ hätten zeigen können. Unter diesen günstigen Bedingungen ist zu verstehen die Anwendung ausgedehnter, völlig gleichartiger, und vor jeder Störung der Gleichartigkeit während des Versuches geschützter Platinelektroden; einer Zuleitungsflüssigkeit ferner, die der Haut die hinlängliche Leitungsfähigkeit ertheilt (S. oben S. 191. 196), aber doch noch die Abgleichung der Platinenden im verlangten Mafse gestattet; die Bewältigung der von Seiten der Hautungleichartigkeiten drohenden Störungen; endlich das Gebieten über ein Paar muskelkräftige wohlgeübte Arme. Mit den Schwierigkeiten, diese Bedingungen herzustellen, sind wir nur zu wohl vertraut. Kein Wunder also, wenn Versuche, in denen nur die eine oder die andere derselben durch Zufall erfüllt sein mochte, nur selten zu scheinbar günstigen, stets zu ungewissen Ergebnissen führten.

Diese Art des Erfolges unter den oben aufgezählten ist jedoch unter die besseren zu rechnen. Weit mehr vom Ziel ab irrten diejenigen,

die, wie DESPRETZ, HUNT, MOUSSON, ZANTEDESCHI, CIMA, den von mir empfohlenen Weg der Stromableitung verliessen und die metallischen Multiplicatorenden unmittelbar mit der Haut in Berührung brachten.

Ich habe, im Beginn dieser Untersuchungen (S. oben Bd. I. S. 209), die Gründe auseinandergesetzt, weshalb es unmöglich ist, mit Hülfe der Methode des Anlegens metallischer Multiplicatorenden an die thierischen Theile unmittelbar sichere thierisch-elektrische Versuche anzustellen, wenn es sich nicht um Wirkungen von solcher Stärke handelt, wie etwa die Zitterfische sie darbieten. Wir sahen, dafs man bei dieser Methode für die Gleichartigkeit der metallischen Multiplicatorenden jeglicher Bürgschaft entbehrt; dafs, selbst wenn man diese Enden vorher auf das sorgfältigste abgeglichen hat, sie doch sofort wieder ungleichartig erscheinen, wenn sie nicht unverrückt in der nämlichen Flüssigkeit bleiben, in der die Abgleichung geschah; endlich dafs nach FECHNER's Grundsätzen elektromotorische Unterschiede an der Oberfläche der thierischen Theile bei Berührung mit Metallen unmittelbar stärker wirken, als bei Berührung mit Flüssigkeiten. Am wenigsten von allen Metallen ist aber, nach dem oben ebendas. S. 81. 145. 146 Gesagten, das Quecksilber in dieser Art mit Sicherheit anwendbar, wegen des ewigen Wechsels seiner Oberfläche, wodurch eine auch nur annähernde Abgleichung derselben in der That unmöglich gemacht wird.

Nichtsdestoweniger findet es sich, dafs, vermöge eines unerwarteten Umstandes, CIMA doch noch das beste Theil erwählte, indem er unter den Metallen dem Quecksilber den Vorzug gab. Erscheint es nämlich schon von diesem Standpunkt der Kenntniß aus als kein glücklicher Gedanke, die Methode des Anlegens hier an die Stelle meiner Versuchsweise zu setzen, so liefs sich doch nicht vorhersehen, dafs dieser Gedanke in dem Mafs unglücklich sein würde, als es sich nun herausgestellt hat; dafs gerade in diesem besonderen Falle die unmittelbare Berührung der Metalle mit dem Körper zu den allerbedenklichsten Störungen Anlaß geben würde.

Man erinnert sich der seltsamen elektromotorischen Wirkungen, die bei Berührung des menschlichen Körpers mit Bäuschen eintraten in Folge einer durch Druck herbeigeführten Veränderung der Berührung (S. oben S. 222. 268). Ganz ähnliche Wirkungen geben sich zu erkennen, wenn man, statt der Bäusche, Metalle unmittelbar an den Körper anlegt und die Berührung durch stärkeres und geringeres Anpressen verändert. Um so gefährlicher ist hier die Erscheinungsweise dieser Wirkungen, als sie, im Gegensatze zu denen bei Anwendung der Bäusche, eine gewisse Gesetzmäßigkeit erkennen lassen. Durch diese Gesetzmäßigkeit ist HUNT, insbesondere aber ZANTEDESCHI, in die Irre geführt worden.

Mousson hat sich nicht dadurch täuschen lassen. DESPRETZ scheint sie sich nicht dargeboten zu haben.

Ich nahm zwei Streifen Platinblech von 48^{mm} Länge auf 4^{mm} Breite, und firnifste sie auf beiden Seiten mit Bernsteinlack, der durch Kienrufs gefärbt war, um besser seine Grenze zu sehen, und der Stetigkeit des Ueberzuges versichert zu sein. Die beiden Enden der Streifen blieben frei vom Lack, das eine in einer solchen Strecke, das es bequem in eine POGGENDORFF'sche Blechklemme befestigt werden konnte, das andere, welches zur Elektrode bestimmt war, in 6^{mm} Länge. Die freie Oberfläche auf jeder Seite der Elektrode betrug also nur 24 Quadratmillimeter. Die Fläche darf nicht größer sein, weil sonst bei der den Druck begleitenden Abplattung der Fingerspitzen gegeneinander neue Punkte der Haut mit dem Metall in Berührung kommen, wodurch die Wirkungen ganz unregelmäßig werden.

Während das erstere Ende jeder Platte durch die Blechklemme mit dem Multiplicator für den Muskelstrom in Verbindung gesetzt war, faßte ich das andere zwischen Daumen und Zeigefinger, die ich vorher mit gesättigter Kochsalzlösung benetzt hatte. Beim ersten Schließen der Kette erfolgt stets ein Ausschlag von größerer oder geringerer Heftigkeit bald in dem einen, bald in dem anderen Sinne. Indessen kommt die Nadel meist in geringer Entfernung vom Nullpunkte zur Ruhe. Uebt man nun mit Daumen und Zeigefinger einen Druck auf die eine Elektrode aus, so wird die Nadel auf's Neue heftig abgelenkt, und zwar, wie ich im Widerspruch mit MOUSSON's und mit ZANTEDESCHI's erster Angabe (S. oben S. 313. 317) finde, stets in dem Sinne, daß der Strom aufsteigend ist in dem Arme, dessen Finger den Druck ausüben. Der Richtung nach ist also der Erfolg in der That, als ob die Nadel den Strom wegen der Zusammenziehung anzeigte. Da man nun, wenn man sämtliche Muskeln des einen Armes anspannt, auch meist unwillkürlich den Druck auf die zwischen den Fingern gehaltene Elektrode verstärkt, so erklärt sich HUNT's und ZANTEDESCHI's Täuschung, auf diese Art die von mir beschriebene Thatsache bestätigt zu haben.

Indessen gehört nur geringe Aufmerksamkeit dazu, um zu erkennen, daß, obschon ein Bruchtheil des aufsteigenden Stromes auf Rechnung der Zusammenziehung der Muskeln kommen mag, dies doch nur ein verschwindender Bruchtheil sein kann, und daß der bei weitem größere Theil des Stromes einer ganz anderen Ursache seine Entstehung verdankt.

Der erste Umstand, der für uns darauf hinweist, wenn er auch für HUNT und ZANTEDESCHI die gleiche Bedeutung nicht wohl haben konnte, ist die verhältnißmäßig ungeheure Stärke des Stromes. Die

Nadel des Multiplicators für den Muskelstrom kann dadurch bis auf 50° getrieben werden. Wird statt des Multiplicators der Nerv des stromprüfenden Froschschenkels mit Hülfe der stromzuführenden Vorrichtung in den Kreis gebracht, so geräth, wie ZANTEDESCHI es gesehen hat, bei raschem Wechsel von Druck und Nachlassen des Drucks der Schenkel in lebhaftes Zuckungen.

Für's zweite ist kein Unterschied zu bemerken in der Stärke der Wirkung, je nachdem man bloß die Beuger des Zeigefingers und Daumens und den Gegensteller des letzteren anstrengt, oder gleichzeitig alle anderen Muskeln des Armes zusammenzieht. Dagegen wird, wie MOUSSON richtig gesehen hat, die Wirkung unmerklich, wenn man sich bemüht, die Muskeln des Armes anzuspannen, ohne dabei den Druck auf die Elektrode zu vermehren.

Drittens behält die Wirkung dieselbe Richtung und Stärke bei, wenn man, anstatt selber den Druck durch willkürliche Zusammenziehung auszuüben, Daumen und Zeigefinger durch einen Anderen zusammendrücken läßt. Diesen Einwurf hat sogar schon CIMA gegen ZANTEDESCHI'S Versuche am stromprüfenden Froschschenkel gemacht.¹

Endlich viertens bedarf es, um die in Rede stehende Wirkung zu erzeugen, überhaupt gar nicht einmal des menschlichen Körpers. Vielmehr läßt sich dieselbe Wirkung, und des geringeren Widerstandes halber sogar noch stärker beobachten, wenn man das feuchte Polster der Finger durch einen Bausch ersetzt. Auf nichtleitender Unterlage wird ein mit gesättigter Kochsalzlösung getränkter Bausch nach Art des Sattelbausches gelegt. Die Elektroden werden in einiger Entfernung von einander zwischen seine Lagen geschoben, so daß die freie Oberfläche des Metalls ganz in dem Bausche steckt. Die Entfernung muß groß genug sein, damit ein Druck, den man auf den Bausch an der Stelle ausübt, wo die eine Elektrode liegt, sich nicht bis zur anderen Elektrode fortpflanzt. Ist die Nadel zur Ruhe gekommen, und man übt auf den Bausch über der einen Elektrode mittelst der Finger oder einer Schraube, noch besser mittelst eines Gewichtes einen angemessenen Druck aus, so entsteht ein starker Ausschlag, der die gedrückte Elektrode wie vorher als positiv gegen die nicht gedrückte anzeigt.

Die Wirkung zeigt sich folglich überall abhängig vom Druck, der die Elektrode trifft, völlig unabhängig aber von der Theilnahme angespannter Muskeln. Damit ist die Sache, so weit sie uns angeht, eigentlich bereits abgethan. Es werden aber in der Folge sogar noch andere Gründe hinzutreten, um die Unabhängigkeit des beim Drücken

¹ Annali di Fisica, Chimica e Scienze affini. t. II. 1850. p. 237.*

der Elektroden mit den Fingern entstehenden Stromes von der Zusammenziehung der Muskeln ersichtlich zu machen. Ich habe nämlich versucht, der Wirkung selber, welche HUNT und ZANTEDESCHI getäuscht hat, etwas näher auf den Grund zu gehen. Jedoch bin ich, in diesem Bestreben, nicht sonderlich glücklich gewesen. Folgendes ist, was ich darüber habe ermitteln können.

Zunächst ist klar, daß die Wirkung beim Zusammendrücken nicht beruht auf einer Verminderung des Widerstandes, wodurch ein bereits im Kreise gegenwärtiger Strom verstärkt würde. Denn jene Wirkung hat verschiedene Richtung im Kreise, je nachdem man die eine oder die andere Elektrode drückt; stets wird dadurch die gedrückte Elektrode positiv gemacht gegen die nicht gedrückte. Es kommt allerdings vor, daß die Wirkung auf der einen Seite sehr viel kleiner ausfällt als auf der anderen, daß sie auf der einen Seite ganz vermischt wird, ja daß sie, wie auch DESPRETZ berichtet,¹ auf beiden Seiten einerlei Richtung hat, wenn auch alsdann die Größe beider Ausschläge eine sehr verschiedene zu sein pflegt. Allein abgesehen davon, daß in so rohen Versuchen keine vollkommene Regelmäßigkeit der Erscheinungen zu verlangen ist, erklären sich jene Abweichungen leicht in folgender Art.

Wenn nach Herstellung des Kreises die Nadel auf Null zurückgekehrt ist, ist doch stets noch durch irgend eine Ungleichartigkeit ein Strom im Kreise vorhanden, nur durch Ladungen dergestalt bis zur Unmerklichkeit aufgewogen. Trifft nun der Druck die negative Elektrode dieses Stromes, so nimmt sie, weil der Druck zugleich als Erschütterung wirkt, an Negativität zu (S. oben Bd. I. S. 212. 239. 268. Bd. II. Abth. I. S. 190). Diese Zunahme an Negativität kann nun offenbar die Positivität, die der Druck aus anderen Ursachen der Elektrode zu ertheilen strebt, zum Theil oder ganz aufwiegen, ja überwiegen. Im ersten Fall sind nur die Wirkungen auf beiden Seiten ungleich, im zweiten ist die eine Null, im dritten haben sie gleiche Richtung bei ungleicher Größe. Obschon die Richtigkeit dieser Erklärung kaum zu bezweifeln ist, will ich doch nicht unterlassen zu bemerken, daß es mir noch an Beobachtungen darüber fehlt, ob wirklich die Elektrode, die die schwächere Wirkung beim Drücken giebt, auch immer die negative Elektrode eines im Kreise vorhandenen Stromes ist.

Wie dem auch sei, die Bemerkung, daß der auf die Elektroden ausgeübte Druck zugleich als Erschütterung wirke, ist vielleicht geeignet, uns auf die richtige Spur zu führen. Die Wirkung beim Drücken ist nämlich nicht beständiger Art. Wenn man bei Anstellung des Ver-

¹ Comptes rendus etc. 28 Mai 1849. t. XXVIII. p. 655.*

suches mit den Fingern den Druck möglichst lange gleichmäfsig fortsetzt, so dafs die Nadel hinreichend ruhig wird, um eine neue Wirkung sicher anzeigen zu können, und man hört nun plötzlich zu drücken auf, so erfolgt im Allgemeinen nicht, wie ZANTEDESCHI es angiebt (S. oben S. 317), ein Ausschlag im Sinne der Ladungen des ersten Stromes, sondern abermals ein Ausschlag in derselben Richtung wie vorher. Erneuert man nach einiger Zeit den Druck, so erneuert sich auch der Ausschlag stets in derselben Richtung, wengleich schwächer als das erste Mal, u. s. f. in's Unbestimmte. Zuletzt werden die Wirkungen sehr schwach und oft auch unregelmäfsig. Sicherer und schöner läfst sich diese Aufeinanderfolge von Wirkungen beobachten bei Anstellung des Versuches mit einem Bausch, zwischen dessen Lagen man die eine oder die andere Elektrode mit der Schraube oder dem Gewichte drückt, indem man hier einen beliebig starken Druck beliebig lange fortsetzen kann, so dafs die Nadel Zeit hat, gehörig zur Ruhe zu kommen. Beim Nachlassen wie beim erneuten Anziehen der Schraube, beim Abheben und Wiederumaufsetzen des Gewichtes, findet der Ausschlag statt im nämlichen Sinn wie beim ersten Druck.

Dafs ein Strom erregt werde, wenn man von zwei in einen Elektrolyten tauchenden gleichartigen Elektroden die eine bewege, ist schon früher mehrmals beobachtet worden. Nach STURGEON wird von zwei in verdünnter Salzsäure befindlichen Eisendrähten der erschütterte negativ.¹ Bewegtes Zinn gegen ruhendes verhält sich nach FARADAY in verdünnter Salpetersäure positiv,² Zink, verquickt und unverquickt, nach POGGENDORFF in verdünnter Schwefelsäure negativ.³ Endlich hat BEETZ, wie ich aus mündlicher Mittheilung weifs, häufig zu bemerken Gelegenheit gehabt, dafs bewegtes Platin in verdünnter Schwefelsäure positiv gegen ruhendes erscheint.⁴

Eine Wirkung der Art also könnte auch hier zu Grunde liegen. Ein Weg, um dies nachzuweisen, würde sichtlich sein, zu zeigen, dafs

¹ Recent experimental Researches in Electromagnetism and Galvanism. 1830; — Annals of Electricity, Magnetism and Chemistry etc. vol. VI. p. 408.*

² Experimental Researches in Electricity. Reprinted from the Philosophical Transactions. vol. II. London 1844. p. 61. Series XVII. January 1840. 1919;* — POGGENDORFF'S Annalen u. s. w. 1841. Bd. LIII. S. 319.*

³ Annalen u. s. w. 1840. Bd. XLIX. S. 42 Anm.*

⁴ BECQUEREL sagt in seinem *Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme* etc. t. II. p. 76:* »Quand on plonge . . . , dans l'acide nitrique, deux lames de cuivre en communication avec le multiplicateur, le courant change plusieurs fois de direction, pour peu que l'on déplace les lames.« Dieser Satz ist unverstänlich, scheint aber doch auf eine den hier in Rede stehenden ähnliche Beobachtung zu deuten.

die Wirkung des Drucks und die des Erschütterns bei einerlei Natur des Metalls sowohl als des Elektrolyten die nämliche Richtung und auch die nämliche verhältnißmäßige Stärke besitzen. Dies habe ich zu leisten versucht; allein die Uebereinstimmung, die sich herausgestellt hat, ist nicht gerade sehr befriedigend zu nennen.

Ich habe mit drei Metallen experimentirt, mit Platin, mit Kupfer und mit Zink. Die Elektroden hatten sämtlich die oben S. 323 angegebene Größe, und waren ebenso, wie daselbst beschrieben ist, mit schwarzem Bernsteinlack gefirnist. Bernsteinlack hatte ich gewählt, weil er selbst von ziemlich concentrirten alkalischen Auflösungen nur mäßig angegriffen wird. Die Versuchsweisen bei Anstellung des Versuches mit den Fingern und mit einem Bausch waren die nämlichen, wie oben. Um die Wirkung der Erschütterung der Elektroden in einer sie frei umspühlenden Flüssigkeit zu erforschen, wurden zwei Näpfehen mit der zu prüfenden Flüssigkeit gefüllt, und durch einen mit derselben Flüssigkeit getränkten Bausch verbunden. In jedes Näpfehen liefs ich eine der Elektroden so tief hinabhängen, daß die Lackschicht bis unter den Spiegel der Flüssigkeit reichte, und schüttelte abwechselnd eine der Elektroden mit der Hand, wenn die Nadel zur Ruhe gekommen war.

Die Ergebnisse der Versuche, was die Richtung der Ausschläge anbetrifft, finden sich in folgender Tabelle zusammengestellt, in der übrigens, der Vollständigkeit halber, auch mehrere Versuche aufgenommen sind, welche ohne Bezug auf die schwebende Frage sind. Ein Pluszeichen in einem Fache bedeutet, daß die gedrückte oder erschütterte Elektrode sich positiv verhält, beim Fingerdruck alsdann zugleich, daß der Strom im drückenden Arme aufsteigend ist wie bei der Zusammenziehung; ein Minuszeichen, daß das Entgegengesetzte der Fall ist; beide Zeichen, daß bald das Eine, bald das Andere eintritt; eine Null, daß keine deutliche Wirkung erhalten wurde; ein Fragezeichen, daß zwar Wirkungen vorhanden sind, aber so unregelmäßig, daß kein Gesetz derselben erhellt; endlich ein leeres Fach, daß das betreffende Metall in der betreffenden Flüssigkeit, oder auf die betreffende Art, nicht geprüft worden ist. Die Angaben von STURGEON (St), FARADAY (F), POGGENDORFF (P), BEETZ (B), HUNT (H) und ZANTEDESCHI (Z) habe ich, gleichfalls der Vollständigkeit halber, auch noch dieser Tabelle einverleibt. Wo die Anfangsbuchstaben eingeklammert sind, habe ich selber den Versuch auch angestellt. Für die fremden Versuche gilt begreiflich die Angabe der Elektrodengröße nicht.

A r t des Versuchs.														
48 Quadrat-Millimeter benetzter Oberfläche.														
Unbenetzter Finger (Schweifs).														
Brunnenwasser.														
Gesättigte Kochsalz- lösung.														
Gesättigte schwefelsaure Kupferoxydlösung.														
Gesättigte schwefelsaure Zinkoxydlösung.														
Verdünnte Schwefel- säure.														
Gemeine Salpetersäure.														
Chlorwasserstoffsäure.														
Concentrirte Essigsäure.														
Verdünnte Kalihydrat- lösung.														
Ammoniakflüssigkeit.														
Versuche mit Fingerdruck.	Platin	+	+	(+ (H, Z)				+	+		+	±	-	
	Kupfer	-	-	-	-			-	-		-	+	+	
	Zink	?	?	-	-			-	-		-	-	+	
Versuche mit Zusammendrückung eines Bausches.	Platin		0	+				+					-	±
	Kupfer		+	-	+			-				+	-	
	Zink		-	-	-			-				+	-	
Versuche mit Schütteln freier Elektroden.	Platin		0	0				+					+	0
	Kupfer		+	+	+			+					-	-
	Zink		-	-	-			-					-	-
	Ver- quicktes Zink							-						
	Zinn									+	+			
	Eisen												-	St

Anmerkung. Zink im Bausch mit Kochsalzlösung und verdünnter Schwefelsäure gedrückt findet sich negativ angegeben. Es fand indeß dabei ein seltener Umstand statt. Dieser Erfolg trat nämlich nur zu Anfang ein. Hatten die Zinkplatten schon eine Weile zwischen den Lagen des Bausches zugebracht, so entstand beim Druck zuerst eine kleine negative Wirkung, die sich alsbald in eine ungleich größere positive verkehrte. Die positive Wirkung überdauerte das Drücken selber, so daß die Nadel in Folge des abwechselnden Drückens der einen und der anderen Elektrode bald in dem einen, bald in dem anderen Quadranten der Theilung zur Ruhe kam.

Ueber die Stärke der Wirkung sind natürlich genauere Angaben unmöglich, da man ja, ausgenommen höchstens bei Anwendung des Gewichtes bei der zweiten Versuchsweise, nicht zweimal denselben Druck in derselben Zeit auf dieselbe Art herbeiführt, bei der dritten Versuchsweise nicht zweimal das Schütteln auf dieselbe Art vornimmt. Es genüge daher die allgemeine Bemerkung, daß die GröÙe der Ausschläge, wie leicht vorherzusehen war, bei allen drei Versuchsweisen mit dem Kupfer und dem Zink bedeutender ist als mit dem Platin, und mit den Salzlösungen und den Mineralsäuren wiederum bedeutender als mit dem Brunnenwasser, dem Schweiß der Finger, der Essigsäure und den alkalischen Flüssigkeiten. Daß die Stärke der Wirkung in den Versuchen mit dem Fingerdruck weit kleiner ausfällt als bei den beiden anderen Versuchsweisen, ist für die erste von beiden schon oben S. 324 angedeutet worden, und versteht sich ohnehin von selbst. Bei den Versuchen mit dem menschlichen Körper wächst aber dafür, wie hier beiläufig erwähnt werden mag, die Wirkung ausnehmend rasch mit der Berührungsfläche zwischen Metall und Haut. Auch bei den anderen Versuchsweisen wird wohl die Wirkung mit der erregenden Fläche an Stärke zunehmen. Allein in den ersteren Versuchen kommt noch wesentlich in Betracht, daß durch die Ausdehnung der Berührungsfläche in nahe gleichem Maße der Widerstand der Oberhaut vermindert wird, der, namentlich bei Anwendung des Multiplicators für den Muskelstrom, einen so bedeutenden Theil des Widerstandes des Kreises ausmacht. Daher beim Ergreifen kupferner Handhaben mit der ganzen Hand, die mit gesättigter Kochsalzlösung benetzt ist, ein leichter Druck mit der einen oder mit der anderen Hand genügt, um die Nadel an die Hemmung zu schleudern in dem Sinne, der die gedrückte Handhabe als negativ anzeigt.

Hinsichtlich der Stärke der Wirkung hat sich somit zwischen den Versuchen mit Fingerdruck, mit Zusammendrückung eines Bausches und mit Schütteln freier Elektroden die gewünschte Uebereinstimmung ergeben (S. oben S. 326. 327). Indessen will dies nichts sagen. Ein Mangel an Uebereinstimmung wäre wohl bedeutend gewesen. Das Stattfinden der Uebereinstimmung aber kann auch einfach darauf bezogen werden, daß überhaupt positivere Metalle in chemisch wirksameren Flüssigkeiten stärkere Wirkungen zulassen. Um also die Frage zu entscheiden, ob in der That die Wirkung in den drei Versuchsweisen für einerlei gehalten werden dürfe, haben wir uns zu halten an die Betrachtung der Richtungen, in denen die Ausschläge in den drei Fällen bei Anwendung desselben Metalls und derselben Flüssigkeit erfolgt sind. Und da lehrt

ein Blick auf obige Tabelle, daß die Frage schwerlich ohne Weiteres bejaht werden dürfe.

Für Platin und Zink zwar stimmen die Ergebnisse leidlich überein. Nur hinsichtlich der alkalischen Flüssigkeiten zeigen sich Abweichungen. Für Kupfer dagegen findet fast gar keine Uebereinstimmung statt, die Abweichung wird zur Regel. Beim Schütteln freier Kupferelektroden hat der Ausschlag in allen Flüssigkeiten die umgekehrte Richtung von der, die er beim Drücken der Elektroden zwischen den mit denselben Flüssigkeiten benetzten Fingern zeigt. Was aber noch unerwarteter ist, nicht einmal die Ergebnisse beim Drücken der Kupferelektroden zwischen den Lagen eines Bausches und zwischen den Fingern stimmen hinreichend überein.

Unter diesen Umständen habe ich es aufgegeben, diese Angelegenheit, die ich zuerst in einem raschen Anlauf zu erledigen gedachte, selber bereits jetzt zu Ende zu führen. Um so gerechtfertigter schien mir dies, als sie, wie schon bemerkt (S. oben S. 324), für den Gang meiner Untersuchung jede Bedeutung eingebüßt hatte, sobald einmal der Ursprung der Ausschläge beim Zusammendrücken der Elektroden mit den Fingern in etwas anderem nachgewiesen war, als in der Anstrengung der Muskeln. An einem solchen, der Muskelzusammenziehung fremden Ursprung jener Ausschläge aber kann jetzt vollends nicht mehr gezweifelt werden. Nicht nur daß wir abermals mit gänzlicher Beseitigung des menschlichen Körpers aus dem Kreise, jetzt sogar ohne Druck, durch bloßes Erschüttern der Elektroden in der sie frei umspühlenden Flüssigkeit, Wirkungen erhalten haben, die denen beim Drücken der Elektroden mit den Fingern, wenn auch nicht völlig gleich zu stellen, doch unstreitig nahe verwandt sind. Es hat sich herausgestellt, daß bei Anwendung alkalischer Flüssigkeit zum Benetzen der Finger, das Drücken der Platinelektroden theils in ihrer Richtung unsichere, theils entschieden in dem drückenden Arm absteigende Ausschläge giebt, die also gar keine Verwechslung mehr mit der Wirkung wegen der Zusammenziehung zulassen. Andere Metalle, wie Kupfer und Zink, geben sogar mit Kochsalzlösung solche absteigende Ausschläge. Wenn das Glück gewollt hätte, daß, statt der aufsteigenden Wirkung beim Drücken der mit Kochsalzlösung benetzten Platinelektroden, diese absteigenden Wirkungen den Beobachtern, die auf diesem Wege meinen Versuch zu wiederholen glaubten, zuerst aufgestoßen wären, so würde die ganze Täuschung, die wir aufzudecken hier bestrebt gewesen sind, vielleicht vermieden worden sein.

Bei der geschilderten Sachlage versteht es sich von selbst, daß

von einer tiefer gehenden physikalischen Zergliederung der beobachteten Wirkungen die Rede nicht sein kann. Nichtsdestoweniger läßt sich, wie mir scheint, bereits Folgendes sagen. Aller Wahrscheinlichkeit nach wird beim Drücken und Schütteln der Elektrode keine elektromotorische Kraft erzeugt, sondern nur diejenige verändert, die, nach bekannten Grundsätzen (S. oben S. 248), ihren Sitz hat an der Grenze des Metalls und der Flüssigkeit, gleichviel ob zwischen Metall und Flüssigkeit allein, oder zugleich zwischen dem unveränderten Metall und einer dünnen durch die Flüssigkeit veränderten Schicht desselben. Wo die Wirkung beim Drücken oder beim Erschüttern dahin geht, das Metall positiver erscheinen zu lassen, da muß sie entweder eine aus dem Metall in die Flüssigkeit gerichtete Kraft vermehren, oder sie muß eine umgekehrt gerichtete Kraft vermindern. Die umgekehrten Schlüsse gelten, wo die Wirkung dahin geht, das Metall negativer erscheinen zu lassen. Freilich zieht diese Vorstellungsweise eine seltsame Folge nach sich. Denn im Allgemeinen hat die elektromotorische Kraft zwischen verschiedenen Metallen und einerlei Flüssigkeit, so viel man weiß, auch einerlei Richtung.¹ Wenn also der Druck und die Erschütterung ein Metall in einer Flüssigkeit positiver, ein anderes in derselben Flüssigkeit negativer erscheinen lassen, so muß man sich denken, daß der Druck und die Erschütterung die Kraft für das eine Metall vermehren, für das andere sie vermindern. Es ist aber schwer, sich vorzustellen, wie die gleiche Ursache unter scheinbar so ähnlichen Umständen so den umgekehrten Erfolg herbeiführen könne. Giebt man aber zu, daß bei Platin der Druck und die Erschütterung die Kraft vermindern, beim Kupfer und beim Zink sie vermehren, so erscheint wenigstens der Umstand in der Ordnung, daß bei alkalischen Flüssigkeiten die Wirkung meist die umgekehrte Richtung zeigt von der bei sauren Flüssigkeiten und Salzlösungen. Denn Platin in Salpetersäure, Schwefelsäure, Chlorwasserstoffsäure, salpetersaurer Silberoxydlösung stehend, ladet nach FECHNER durch sein hervorragendes Ende den Condensator positiv, in Kalilauge negativ.²

Zu bemerken ist noch in Bezug auf den Gegenstand der Anmerkung zur Tabelle oben S. 328, daß, nach FECHNER, von zwei gleichzeitig in Kochsalzlösung eingetauchten Stücken destillirten Zinkes sich das jüngst eingetauchte erst positiv, dann negativ verhält.³

¹ S. FECHNER in POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVIII. S. 269.* — Platin, Kupfer und Zink mit Kalilauge.

² POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVII. S. 22. 25. 28.* — Bd. XLVIII. S. 267.*

³ Ebendas. Bd. XLVII. S. 31. 32.*

(viii) *Betrachtungen über die Ströme beim willkürlichen Tetanus und Entwicklung einiger Bedenken gegen die Deutung derselben als Ausdruck der negativen Schwankung des Muskelstromes der menschlichen Gliedmaßen.*

Nach diesen Abschweifungen nehmen wir den Faden unserer eigentlichen Untersuchung wieder auf. Es ist Zeit, die gewonnenen Ergebnisse im Zusammenhang zu überblicken und sie gegen einige Einwürfe zu sichern, die dagegen erhoben werden können.

Es war unser Zweck, am lebenden unversehrten menschlichen Körper wo möglich den ruhenden Muskelstrom und seine negative Schwankung bei der Zusammenziehung nachzuweisen. Nachdem wir uns aber in den ersten Nummern dieses Paragraphen mit den elektromotorischen Wirkungen der Haut vertraut gemacht hatten, waren wir zu der Einsicht gelangt, daß auf das Erstere Verzicht zu leisten sei. Vermöge unserer Kenntniß der palelektromischen Schicht am natürlichen Querschnitt der Muskeln und ihres Verhaltens bei der Zusammenziehung sahen wir indessen, daß aus dem Mißlingen des einen Unternehmens durchaus kein Schluß zu ziehen sei auf die gleiche Unmöglichkeit des anderen. Der Erfolg scheint zu lehren, daß diese Ansicht die richtige war. Wir haben eine elektromotorische Wirkung entdeckt, welche den willkürlichen Tetanus der Gliedmaßen des menschlichen Körpers stets begleitet.

Darüber, daß diese Wirkung in der That stattfindet, und daß sie von dem menschlichen Körper ausgehe, brauche ich jetzt wohl kaum noch Worte zu verlieren.

Daß so Viele sich aufser Stande gefunden haben, die Wirkung zu beobachten, beweist nur, was ich auch nie behauptet habe, daß dies nicht Jedermanns Sache sei, nicht, daß meine eigene Beobachtung falsch sei. Nach dem Bericht über die darauf verwendeten Bemühungen, der in der vorletzten Nummer mitgetheilt wurde, wird dies wohl genugsam einleuchten. Haben doch von jenen Beobachtern die, welche Thermoströme beim Eintauchen der Finger in die mit ungleich warmer Lösung gefüllten Gefäße vermutheten, diese Ströme auch nicht wahrzunehmen vermocht, die so sehr viel leichter nachzuweisen sind.

Die Wirklichkeit des Stromes beim willkürlichen Tetanus also kann nicht wohl mehr Gegenstand der Erörterung sein. Was den Ursprung dieses Stromes betrifft, so könnte man, um denselben zu verdächtigen, zuerst an eine Störung von Seiten der metallischen Multiplicatorenden denken. Eine solche könnte indess bei meiner Versuchsweise nur von einer Erschütterung derselben herrühren. Eine Erschütterung der Art

findet nun zwar zu Zeiten statt. Bei dem heftigen Anspannen der Gliedmaßen kommt es vor, daß sie selber und was ihnen zum Stützpunkt dient, mit ihnen, in zitternde Bewegung gerathen. Es ist möglich, daß sich diese bis auf die Zuleitungsplatten erstreckt. Allein man kann, während das Schließungsrohr aufliegt, den Arbeitstisch nebst der zuleitenden Vorrichtung in weit heftigere Schwingungen versetzen; man kann die Flüssigkeit in der Nähe der Platinplatten mit einem Glasstab heftig umrühren; ja man kann die wagerechte Stange, welche die Platinplatten trägt, in dem doppelt durchbohrten Klotze lösen, in dem sie sich verschiebt (S. Fig. 6 Taf. I. Bd. I.), und die Platinplatten in der Flüssigkeit lebhaft schütteln; die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom bleibt unbewegt, trotz der so sehr viel besseren Leitungsfähigkeit des Kreises und trotzdem in den beiden letzten Fällen die Erschütterung nur in dem einen Gefäße vor sich geht, da sich, bei gemeinsamer Erschütterung beider, doch nur der Unterschied der in beiden stattfindenden Wirkungen kundgeben könnte, von dem ohnehin nicht zu begreifen ist, wie er stets einerlei Richtung haben sollte in Bezug auf die angespannte Gliedmaße. So haben wir auch schon oben (S. die Tabelle S. 328), freilich bei kleinerer erregender Oberfläche und nur am Multiplicator für den Muskelstrom, das Schütteln der einen von zwei in gesättigte Kochsalzlösung tauchenden Platinelektroden unwirksam gefunden.

Aber man könnte einwenden, daß wir hier mit gleichartigen, ungeladenen Elektroden den Gegenversuch anstellen, während beim wirklichen Versuch meist ein voraufgegangener Strom die Platinplatten polarisirt habe. Der Einwand ist nichtig, denn erstens müßte der Strom alsdann beim Anspannen beider Arme dieselbe Richtung haben, was nicht der Fall ist, für's zweite büßt, wie ich gefunden habe, für so schwache Ströme, wie sie hier in Betracht kommen, der VORSSELMANN DE HEER'sche Schüttelversuch seine Geltung ein. Ich nahm in den Kreis des Multiplicators für den Nervenstrom und der Zuleitungsgefäße mit ihrem Schließungsrohr eine schwache Säure-Alkali-Kette nach Art der oben Abth. I. S. 441 beschriebenen auf. Nach vollständiger Entwicklung der Ladungen hielt sie die Nadel auf etwa 50° beständiger Ablenkung. Unter diesen Umständen konnte ich das Paar Zuleitungsplatten, welches als negative Elektrode diente, schütteln so viel ich wollte; die Nadel blieb unbewegt, beiläufig ganz im Einklang damit, daß auch Aufhebung des Luftdrucks die Ladungen innerhalb dieses Bereiches von Stromstärken unverändert läßt (S. oben Abth. I. S. 191).

Also vom menschlichen Körper rührt die Wirkung her. Aber viel-

leicht stammt sie blos von den unvermeidlichen kleinen Bewegungen des eingetauchten Körpertheiles her, die, trotz den getroffenen Vorkehrungen, beim Anspannen der Gliedmaßen doch wohl noch stets zu befürchten sind. Auch dies ist nicht der Fall. Wird der Versuch regelrecht angestellt; hat man den eingetauchten Theil hinreichend lange in der Zuleitungsflüssigkeit gehalten; hat man Sorge getragen, ihn zu Anfang tiefer einzutauchen, als man ihn beim Anspannen zu halten gedenkt, damit, falls dabei die Tiefe schwanken sollte, bis zu der er eintaucht, doch nicht neue Punkte der Haut mit der Flüssigkeit in Berührung kommen (S. oben S. 282): so kann man ihn in der Flüssigkeit bewegen wie man will, es wird keine deutliche Wirkung auf die Nadel verspürt.

Von dieser Art von Einwürfen gegen die in Rede stehenden Versuche kann, wie gesagt, die Rede nicht mehr sein. Dagegen kann allerdings gefragt werden, ob die elektromotorische Wirkung, die ohne Zweifel den willkürlichen Tetanus begleitet, der negativen Schwankung des Muskelstromes der menschlichen Gliedmaßen zuzuschreiben sei.

Wir haben zwar bisher keinen Grund gefunden, daran zu zweifeln. Was die Stärke und Richtung der Wirkung betrifft, so ist schon zur Genüge auseinandergesetzt worden, daß beide Umstände hier ganz bedeutungslos sind. So wenig wir darin ein Merkmal der negativen Schwankung haben erblicken können, so wenig haben wir uns daran zu stoßen gehabt, daß die elektromotorische Wirkung beim willkürlichen Tetanus gerade diese und keine andere Richtung einhält, und gerade diese und keine andere Größe besitzt. Nur Eins war in Bezug auf die Stärke der Wirkung zu verlangen, und dies ist im vollsten Mafse eingetroffen. Diese Stärke mußte gleichen Schritt halten mit der Entwicklung, der Uebung, der jedesmaligen Anstrengung der Muskeln, und so haben wir es gefunden. Wir haben ferner, wie wir es nach dem Vorgang an einzelnen Froschmuskeln erwarten mußten, im Gefolge dieser Wirkung eine im gleichen Sinne stattfindende Nachwirkung erkannt, welche allmählig dem natürlichen Zustande Platz macht. Allerdings erscheint diese Nachwirkung hier verhältnißmäßig stärker als wir sie an den Froschmuskeln sahen. Allein es fehlt nicht an Gründen, um diese Abweichung zu beschönigen. Endlich haben wir wohl die secundäre Zuckung des stromprüfenden Schenkels durch die muthmaßliche negative Schwankung des Muskelstromes der menschlichen Gliedmaßen vermifst. Indefs auch hiefür ließen sich, dem Anschein nach, sehr triftige Gründe beibringen.

Von dem Verhalten der Ströme beim willkürlichen Tetanus bei Anwendung anderer Zuleitungsflüssigkeiten als der Kochsalz- und der schwefelsauren Kupferoxydlösung (S. oben S. 297) ist noch nicht die

Rede gewesen. Es versteht sich, daß ich dies Verhalten in allen den Flüssigkeiten geprüft habe, die in dem Vorigen vorgekommen sind, nämlich im Brunnenwasser, der verdünnten Schwefelsäure, der Kalihydrat- und der essigsäuren Natronlösung, und zwar in den drei ersten auch fast bei allen den Anordnungen, die in der Kochsalzlösung angewandt und unter (II) aufgezählt worden sind. Der Erfolg war der Richtung nach stets derselbe als in der Kochsalzlösung. Der Größe nach liefs er nur solche Abweichungen wahrnehmen, die auf den verschiedenen Widerstand des Kreises gedeutet werden konnten. Also auch diese Probe besteht er, wie er soll. Dies beweist, wie man sich erinnert, zwar nicht, daß der Strom bei der Zusammenziehung aus den Muskeln stamme. Wir haben mehrere Beispiele von Strömen gehabt, die ebenfalls in den verschiedenartigsten Flüssigkeiten ihre Richtung unverändert beibehalten, trotzdem daß sie unzweifelhaft Hautströme sind (S. oben S. 273). Aber der entgegengesetzte Erfolg hätte jenem Strom mit Bestimmtheit einen anderen Ursprung als in den Muskeln angewiesen.

Wie die Sachen stehen, sieht man, daß die von uns beim willkürlichen Tetanus beobachtete elektromotorische Wirkung, so weit wir sie erforscht haben, sich ohne allen Zwang betrachten läßt als der Ausdruck der negativen Schwankung des Muskelstromes der menschlichen Gliedmaßen. Es ist danach im höchsten Grade wahrscheinlich, daß sie es in der That sei. Es ist um so wahrscheinlicher, als es wunderbar wäre, wenn die negative Schwankung nicht auf diese Weise, in der einen oder anderen Richtung und Größe, am menschlichen Körper sichtbar würde. Es ist endlich um so wahrscheinlicher, als es keine bekannte Wirkung giebt, die gleichzeitig bei der Zusammenziehung stattfindet, und der man den Ausschlag der Nadel zuschreiben könnte. Um also zu bezweifeln, daß dieser Ausschlag herrührt von der negativen Schwankung des Muskelstromes, muß man erstens läugnen, daß eine Wirkung erscheine, von der es höchst wahrscheinlich ist, daß sie erscheinen werde. Man muß dies zweitens thun, obschon eine Wirkung auftritt, die mit der zu erwartenden hinreichend übereinstimmt. Man muß drittens eine Hypothese aus der Luft greifen, um diese nun ganz unerklärliche Wirkung doch nicht der Ursach ermangeln zu lassen.

Ich muß bekennen, daß ich, für mein Theil, mich bei dieser Sachlage beruhigt hatte. Aber sei's, daß ich an dieser Stelle meiner Untersuchungen, wie ich glaube, gegen meine Gewohnheit, mich zu voreiliger Siegesgewisheit habe hinreißen lassen, sei's daß Anderen doch nicht so wie mir der Zusammenhang meiner Schlußfolgerung vorschweben mochte; es scheint, als ob damit wenigstens einer großen Anzahl von

Gelehrten noch nicht volles Genüge geschehen sei. Sondern nachdem die Zweifel an der Richtigkeit des nackten Thatbestandes meiner Versuche endlich beseitigt waren, zog sich die Skepsis dieser Gelehrten, weit entfernt sich zu ergeben, hinter diese neue Verschanzung zurück. Was öffentlich in diesem Sinne verlautet hat, ist nur wenig. Aber durch zahlreiche Unterhaltungen und briefliche Mittheilung bin ich in Stand gesetzt, die Bedenken, welche man mir entgegenstellt, in folgender Art zusammenzufassen.

Erstlich bleibt es für Viele doch noch immer ein Stein des Anstoßes, daß die elektromotorische Wirkung beim willkürlichen Tetanus der menschlichen Gliedmaßen aufsteigend ist, während wir diese Wirkung beim Frosch absteigend gefunden haben.

Zweitens höre ich die Befürchtung äußern, daß der Strom bei der Zusammenziehung ein thermoëlektrischer sein möge, hervorgebracht durch die Temperaturerhöhung, welche die Muskelzusammenziehung begleitet.

Endlich drittens hat sich die Meinung gebildet, daß der Strom bei der Zusammenziehung statt von den Muskeln, sehr wohl herrühren könne von einer irgend wie vermittelten elektromotorischen Veränderung der Haut der Finger.

Diese drei Punkte wollen wir jetzt nacheinander einer etwas genaueren Prüfung unterwerfen.

(IX) Untersuchung der negativen Schwankung des Muskelstromes an dem Unterschenkel des Kaninchens.

CIMA,¹ MATTEUCCI² und POUILLET, letzterer als Berichterstatter der Pariser Commission,³ haben nacheinander auf den angeblichen Widerspruch in meinen Behauptungen aufmerksam gemacht, wonach die Wirkung bei der Zusammenziehung an den Beinen des Frosches absteigend, an den Armen des Menschen aufsteigend sein sollte. POUILLET drückt sich folgendermaßen aus:

»Mais pourquoi le courant est-il direct dans le premier cas (am Frosch), et inverse⁴ dans le second (am Menschen)? C'est là un point

¹ Annali di Fisica, Chimica e Scienze affini. 1850. t. II. p. 239.* (1 Maggio 1850.)

² Réponse aux deux dernières lettres de M. DE BOIS-REYMOND etc. Florence, Imprimerie de LE MONNIER. p. 7* (24 Mai 1850); — Comptes rendus etc. 3 Juin 1850. t. XXX. p. 706.* — In meiner dritten Antwort an MATTEUCCI (Comptes rendus etc. 22 Juillet 1850. t. XXX. p. 91*) habe ich durch eine Auseinandersetzung, ähnlich der oben S. 238 gegebenen, bereits gezeigt, daß hier weniger ein Widerspruch auf meiner Seite, als ein Mißverständniß auf Seiten meiner Gegner obwalte.

³ Comptes rendus etc. 15 Juillet 1850. t. XXXI. p. 28.*

⁴ Ueber den Sinn der Ausdrücke direct und inverse vergl. oben Bd. I. S. 305.

»important; il est à regretter que M. DU BOIS-REYMOND, qui a pris
 »soin de signaler lui-même cette différence, cette inversion constante
 »dans le sens du courant, n'ait pas senti la nécessité d'en expliquer
 »la raison: tant que cette explication ne sera pas donnée, on pourra
 »contester qu'il y ait une liaison nécessaire ou même une liaison quel-
 »conque entre les deux expériences. D'après les principes de M. DU
 »BOIS-REYMOND, l'effet d'une contraction soutenue n'est pas de faire
 »naître un courant, mais d'affaiblir et de suspendre par intermittence
 »un courant qui préexistait; il faut donc un courant préexistant, ou
 »plutôt il en faut deux qui soient égaux et opposés, et qui se neutra-
 »lisent, puisque l'aiguille du galvanomètre est au zéro; l'un doit se
 »trouver essentiellement dans le bras qui va se contracter, et c'est lui
 »que la contraction affaiblira; l'autre, par raison de symétrie, doit se
 »trouver dans l'autre bras, et c'est lui que la contraction rendra pré-
 »dominant. Ainsi, le courant que l'on observe au moment de la con-
 »traction, n'est pas développé dans le bras contracté; il est, au con-
 »traire, préexistant dans le bras au repos, et il se montre par cela
 »seul qu'il cesse d'être complètement neutralisé. Si la question doit,
 »en effet, être posée en ces termes, il nous semble que, pour assimiler
 »cette expérience aux précédentes, il ne reste plus qu'une condition à
 »remplir, c'est de démontrer nettement que les muscles du bras de
 »l'homme, sur lesquels s'exerce la contraction, si on les considère dans
 »leur état naturel, sont disposés de telle sorte qu'ils donnent naissance
 »à un courant direct et continu, allant de l'épaule à la main, et qu'ils
 »donnent ce courant d'après les lois des sections longitudinales et trans-
 »versales. Cette condition est indispensable; tant qu'elle ne sera pas
 »remplie, les expériences ne peuvent être assimilées.«

Wie man sieht, PUILLET kennt den Stand der Frage sehr gut.¹
 Er übersieht vollkommen die Möglichkeit, dass der ruhende Muskel-
 strom in den Armen des Menschen ein absteigender sein könne, während
 er in den Beinen des Frosches ein aufsteigender ist. Allein dies ist
 ihm nicht genug. Er will, dass bewiesen werde, dass auch wirklich
 der Strom in den Armen des Menschen absteigend sei.

¹ In Betreff der Vorstellungsweise PUILLET's, dass der Strom beim willkür-
 lichen Tetanus allein vom ruhenden Arm ausgehe, s. unten, (XII). Durch die Kennt-
 niss der parelektronomischen Schicht ist eine Aenderung jener Vorstellungsweise nöthig
 geworden. Ich pflegte aber, vor Bekanntmachung der Ergebnisse meiner Untersuchun-
 gen über die parelektronomische Schicht (Monatsberichte der Berliner Akademie. 30. Juni
 1851. S. 380), die Dinge in der That so darzustellen, wie es oben von PUILLET ge-
 schehen ist. Was demnach jetzt, in dieser Beziehung, in seiner Darlegung mangel-
 haft erscheint, ist ihm nicht zur Last zu legen.

Leider ist es aus mehreren Gründen, wo nicht unmöglich, doch unendlich schwierig, diesem Wunsch zu willfahren. Ich brauche nicht zu wiederholen, was ich schon so oft gesagt habe, daß nicht daran zu denken ist, auf theoretischem Wege die Resultante aus den Strömen zu bestimmen, welche die einzelnen Muskeln durch den Kreis senden. Ebenso unthunlich ist aber am lebenden unversehrten Menschen, wie wir gesehen haben, ihre Bestimmung auf experimentellem Wege. Man müßte also, um *POUILLET'S* Wunsch zu erfüllen, über die Leiche eines muskelkräftigen Hingerichteten unmittelbar nach dem Tode verfügen. Am Orte der Hinrichtung oder in nächster Nähe desselben müßten meine Vorrichtungen, wenn nicht die zartesten, doch vielleicht die launischsten aller Beobachtungswerkzeuge, schlagfertig aufgestellt sein. Man müßte von mehreren geschickten Anatomen umgeben sein, die mit größter Geschwindigkeit die Gliedmaßen bis auf die *Fascia superficialis* von ihren Hautbedeckungen befreien, ohne irgendwo Muskeln zu verletzen, d. h. einen künstlichen Querschnitt bloszulegen.

Mit einem einzelnen Arm ginge der Versuch nun schon gar nicht. Denn wie sollte man vom Schulterende des Armes den Strom auf die nämliche Weise ableiten, wie diese Ableitung im unverletzten Körper geschieht? Man müßte also vielmehr, um ganz sicher zu gehen, die Präparation der *Fascia superficialis* vorn und hinten bis zur Mittellinie des Rumpfes und Halses fortsetzen und den Strom von beiden Händen ableiten oder, um den Widerstand der Oberhaut außer Spiel zu bringen, von beiden unteren Gelenkflächen der Unterarme nach *Exarticulation* der Hände, wobei keine Muskeln verletzt werden. Der Strom des von der Haut entblößten Armes würde wegen der fortgefallenen Nebenschließung durch die Haut die Oberhand haben.

Besser würde sich der Unterschenkel zu diesem Versuch eignen, von dem wir jetzt wissen, daß auch er beim willkürlichen Tetanus den aufsteigenden Strom giebt, also, wenn dieser Strom der Ausdruck der negativen Schwankung ist, in der Ruhe den absteigenden Strom besitzen muß, da er doch mit dem in der Ruhe bekanntlich aufsteigend wirkenden Unterschenkel des Frosches eine viel größere Aehnlichkeit des Baues besitzt, als der menschliche Arm mit dem Gesamtbein des Frosches. Um die Richtung des ruhenden Stromes am menschlichen Unterschenkel zu beobachten, könnte man, nach Herstellung des Fascienpräparats des Beines, den Fuß im Fußgelenk *exarticuliren*, wobei kein Muskel verletzt zu werden braucht; nach Durchschneidung des Kniescheibenbandes die Unterschenkelstrecker aufwärts zurückschlagen, die Sehnen des *Sartorius*, *Gracilis*, *Semitendinosus*, *Semimembranosus* und *Biceps* abtrennen, und vom reingeschabten Femur nur so viel stehen

lassen, als nothwendig wäre, um die Gastroknemien und den *M. popliteus* unversehrt zu erhalten. Den Strom könnte man dann von der unteren Gelenkfläche der Tibia einerseits, und, bei gebeugtem Knie, von dem vorderen Theil der unteren Gelenkfläche des Femur ableiten. Zu diesem Versuch könnte übrigens auch eine hoch ausgeführte Amputation oder eine Exarticulation des Oberschenkels Gelegenheit bieten. Nur dafs wenige Fälle denkbar sind, wo diese Operation indicirt, und das Bein bis zum unteren Viertel des Femur noch zu unseren Zwecken brauchbar wäre.

Es gehört gewifs nicht viel Erfahrung in Unternehmungen dieser Art dazu, um die unsäglichen Schwierigkeiten zu ermessen, die man zu besiegen haben würde, um zu einem sicheren Ziele zu gelangen. Ohnehin würde ein einziger Versuch auch noch nicht beweisend sein. Endlich fragt es sich noch, ob nicht an so grofsen Muskelmassen, wie sie hier zur Untersuchung kämen, sich von Seiten der palelektronischen Schicht unerwartete Störungen einer anderen Art einfinden würden. Es wäre nicht unmöglich, dafs an so langen Muskeln die Schicht an beiden natürlichen Querschnitten sehr verschiedene Ausbildung besäße, und zwar die gröfsere bald an dem einen, bald an dem anderen Querschnitt. Die Richtung des von beiden sehnigen Enden abgeleiteten Stromes im ruhenden Zustande der Muskeln brauchte dann keine beständige mehr zu sein. Sie brauchte nicht mehr die entgegengesetzte zu sein von der, welche der Ausschlag beim Tetanisiren anzeigt. Es müfste also der Unterschenkel nach allen den zeitraubenden Vorkehrungen, nach der langwierigen Präparation, nach der Prüfung auf den ruhenden Strom, auch noch tetanisirt werden können mit der Sicherheit, dafs er sich noch in allen seinen Theilen mit gleicher Kraft zusammenzieht.

Ich mufs bekennen, dafs ich dies für unausführbar halte. Es wird jedoch sehr schätzenswerth sein, wenn Jemand, dem sich die Gelegenheit bietet, den Versuch machen will. Ich habe einstweilen gesucht, mich auf eine andere Art zu behelfen. Der angebliche Widerspruch in meinen Behauptungen, den CIMA und MATTEUCCI mir vorwerfen (S. oben S. 336), würde, ganz abgesehen von allen theoretischen Erörterungen, offenbar sehr gemildert, ja, ich meine sogar, gehoben sein, wenn es gelänge, auch nur an irgend einer Gliedmase irgend eines Thieres bei der Zusammenziehung einen aufsteigenden, also während der Ruhe einen absteigenden Strom nachzuweisen. Denn es ist durchaus kein Grund vorhanden, hier lieber den Frosch, als irgend ein anderes Thier, als das Vorbild zu betrachten, dem sich der Erfolg am Menschen anzuschliessen hat, um in der Ordnung zu erscheinen. Noch mehr zutreffen

würde die Schlussfolgerung sichtlich, wenn jenes Thier zugleich dem Menschen ungleich näher stände als der Frosch, jene Gliedmaße daran ungleich menschenähnlicher gebildet wäre, als am Frosch.

In dieser Unternehmung glaube ich nun vollkommen glücklich gewesen zu sein. Beispiele von absteigenden Strömen an Gliedmaßen im Zustande der Ruhe finden sich bereits aufgeführt in meinem *vorläufigen Abriss*¹ und oben Bd. I. S. 471. Allein mit diesen Gliedmaßen ist zu unserem jetzigen Zwecke gerade nicht viel anzufangen. Hingegen der Unterschenkel des Kaninchens eignet sich vollkommen zu dieser Untersuchung. Zwar ist oben Bd. I. ebendas. angegeben, daß man nicht wohl vom Ober- und Unterschenkel des Kaninchens allein, ohne Verletzung von Muskeln, den Strom ableiten könne. Bei näherer Betrachtung der anatomischen Verhältnisse indessen hat sich dies Urtheil für den Unterschenkel als voreilig erwiesen. Nur für den Oberschenkel des Kaninchens bleibt es richtig. Am Kaninchenunterschenkel kann man sehr gut gerade die Zurichtung ausführen, die oben für den menschlichen Unterschenkel als nothwendig bezeichnet wurde, um ihn in derselben Art, wie enthätete Froschgliedmaßen, auf seinen Strom zu prüfen.

Man bedient sich am besten junger Kaninchen, erstens weil man bei der Zurichtung in mehrfacher Beziehung auf geringere Schwierigkeiten stößt, zweitens aus einem später einleuchtenden Grunde. Man erschlägt das Thier, reißt die Haut vom Bein ab, führt einen Schnitt durch die Beuger des Unterschenkels, schlägt sie nach unten zurück, trennt ihre aponeurotischen Anheftungen am Unterschenkel mittelst der Scheere, zerschneidet das Kniescheibenband, schlägt die Unterschenkelstrecker aufwärts zurück, schabt die untere Hälfte des Oberschenkelbeines rein von Muskelfleisch, beißt den Knochen etwas oberhalb des Kniegelenkes mit der Zange ab und exarticulirt den Fuß im Fußgelenk. Dann legt man den Unterschenkel mit gebeugtem Kniegelenk auf eine Glasplatte, die in die wagerechte Klemme des allgemeinen Trägers (S. oben Bd. I. S. 449) gespannt ist, und deren Breite seiner Länge etwas nachsteht. Endlich bringt man an seinem oberen Ende die Condyle des Oberschenkelbeines, an seinem unteren die Gelenkfläche der Tibia in Berührung mit den Zuleitungsbäuschen. Es entsteht ein absteigender Ausschlag, der am Multiplicator für den Muskelstrom 15—30° beträgt. Ebenso wirkt übrigens die frei zugerichtete Muskelmasse des Soleus, der Gastrocnemii und des Plantaris, wenn sie ohne alle Verletzung beiderseits mit sehnigen Enden aufgelegt wird. Die

¹ POGGENDORFF'S Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 2.

Schwäche des Ausschlages rührt her von der parelektronomischen Schicht. Taucht man die Muskeln in Kochsalzlösung und legt sie wieder auf, nachdem man sie mit Wasser abgespült und getrocknet hat, so fliegt die Nadel an die Hemmung, die der absteigenden Strömungsrichtung entspricht (S. oben S. 50).

Dieser letzte Versuch reicht wohl hin, um zu zeigen, nicht nur daß der absteigende Strom wirklich der Muskelstrom ist, sondern auch daß seine absteigende Richtung nicht etwa auf einer hohen Entwicklungsstufe der parelektronomischen Schicht beruht, in Folge deren wir auch GALVANI'sche Präparate und Gastrokneimien vom Frosch haben absteigend wirken sehen (S. oben S. 34). Dies wird sich jetzt, durch die aufsteigende Richtung des Ausschlages beim Tetanus, ohnehin bestätigen müssen, wenn es uns gelingt, den Unterschenkel unter diesen Umständen noch in hinreichend kräftige Zusammenziehung zu versetzen, damit er auf die Nadel wirken könne.

Zuerst suchte ich natürlich den Unterschenkel vom Ischiadicus aus zu tetanisiren, der auf die Platinbläche der stromzuführenden Vorrichtung aufgelegt wurde, gerade wie wir dies beim Frosch zu thun gewohnt sind. Die Zurichtung war dabei die nämliche wie vorhin, nur daß, wegen der Nothwendigkeit den Ischiadicus zu schonen, der Biceps und die inneren Beuger nicht mehr zugleich, sondern einzeln durchschnitten und gegen den Unterschenkel behufs ihrer Abtrennung zurückgeschlagen werden mußten. Obschon, nach erlangter gehöriger Uebung in den Handgriffen des Versuches, die Dauer der Zurichtung vom Augenblick der Tödtung an schwerlich jemals zwei Minuten überstieg, gelang es mir doch auf diesem Wege nicht, einen brauchbaren Tetanus hervorzubringen. Nach Einer matten Zuckung erschlafften jedesmal die Muskeln, und auch die stärksten Schläge des Magnetelektromotors blieben vom Nerven aus ohne fernere Wirkung. Vergeblich bestrich ich diesen, sobald er bloßgelegt war, mit Olivenöl oder mit Hühnereiweiß von 37° C., um sein Erkalten und Vertrocknen zu verzögern. Ich muß es daher, nach meinen Erfahrungen, für unmöglich erklären, Muskeln warmblütiger Thiere, gleich denen kaltblütiger, vom Nerven aus zu tetanisiren. Uebrigens zeigten sich sogar bei den spärlichen Zuckungen, die ich dergestalt erhielt, bereits Spuren der negativen Schwankung des absteigenden Stromes im Kaninchenunterschenkel, nämlich kleine Ausschläge in aufsteigender Richtung.

Ich sann nunmehr darauf, wie der Unterschenkel auf andere Art, als vom Nerven aus, wohl zu tetanisiren sein würde. Zuerst versuchte ich die chemische und die kaustische Erregung der Muskeln unmittelbar. Ich sah jedoch alsbald, daß dies Verfahren durchaus untauglich

ist. Weniger weil die Zuckungen zu schwach und flüchtig ausfallen, als deshalb, weil durch das Aetzmittel oder die Hitze, deren man sich zur Erregung bedient, die Kraft der parelektronomischen Schicht vermindert, ja stellenweise vernichtet wird. Man sieht daher freilich heftige Wirkungen bald in der einen, bald in der anderen Richtung erfolgen, je nachdem man einen unteren oder einen oberen Sehnenspiegel verbrennt oder anätzt (Vergl. oben S. 106. 123). Diese Wirkungen sind aber beständiger Art, sie überdauern die Zusammenziehung und haben folglich nichts mit ihr zu schaffen, wenn sie auch anfangs einen von ihr herrührenden Antheil in sich bergen mögen.

In dieser Verlegenheit entschloß ich mich endlich, ein Verfahren in's Werk zu setzen, dessen Anwendung beim ersten Blick fast unmöglich erscheint, das sich jedoch in der Ausführung vortrefflich bewährt hat, wie es denn bei näherer Ueberlegung sich auch theoretisch als völlig tadelfrei darstellt. Ich meine das elektrische Tetanisiren der im Multiplicatorkreise befindlichen Muskeln mittelst unmittelbar auf sie gerichteter Schläge.

Was bei dieser Methode zuerst unmöglich scheint, ist, daß dabei nicht sollten Störungen auftreten durch das unvermeidliche Hereinbrechen eines Theiles des erregenden Strömungsvorganges in den Multiplicatorkreis. Allein es versteht sich, daß wir uns hier zum Tetanisiren so wenig als überhaupt bisher gleich gerichteter Ströme bedienen werden. Wir werden, wie immer, abwechselnd gerichtete Schläge in Anwendung bringen, z. B. die des Magnetelektromotors. Dergleichen Schläge können aber, wenn sie in den Multiplicatorkreis einbrechen, nur einander aufhebende Wirkungen auf die Nadeln ausüben, bis sie stark genug werden, ihren Magnetismus zu verändern. Alsdann können sie, wenn die Nadeln bereits abgelenkt sind, sie noch weiter ablenken. Nie jedoch können sie diejenige Wirkung hervorbringen, die wir zu sehen erwarten, nämlich einen Rückschwung der Nadeln im Augenblick des Tetanus, und nie wird daher die unmittelbare Wirkung der Schläge auf die Nadeln, wenn wirklich eine stattfinden sollte, verwechselt werden können mit der Wirkung der negativen Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung (Vergl. oben Abth. I. S. 40 ff. 430. 604). Es ist aber gar nicht ausgemacht, daß man nicht den stärksten Tetanus der aufliegenden Muskeln hervorbringen könne durch Schläge, die so schwach sind, daß sie noch keine doppelsinnige Ablenkung erzeugen. Ohnehin hat man stets ein leichtes Mittel in Händen, sich zu versichern, daß die beobachtete Wirkung in der That vom Tetanus und nicht von den Schlägen selber hergerührt habe. Dazu ist nur nöthig, den Versuch so lange fortzusetzen, bis die Muskeln sich nicht mehr zusammenziehen,

was, bei den Muskeln warmblütiger Thiere, nur allzufrüh der Fall ist. Bleibt alsdann beim Tetanisiren die Nadel in Ruhe, oder wird sie in dem entgegengesetzten Sinne abgelenkt von dem, worin sie beim Tetanus abwich, so kann doch wohl diese letztere Wirkung auch in der That nur vom Tetanus abhängig gewesen sein.

Versuchen wir nunmehr unser Glück. Um die Schläge des Magnetelektromotors dem Unterschenkel zuzuführen, wurde dieser auf Kork gelegt, und in den Kork wurden zu beiden Seiten des Unterschenkels und mit ihm in Berührung zwei kupferne, versilberte Nadeln so eingestossen, daß sie von der Länge der Gliedmaße etwa das mittlere Drittel zwischen sich faßten. Die Nadeln hatten an ihrem oberen Ende Klemmschrauben, und standen in Verbindung mit den Enden der inducirten Rolle des oben Abth. I. S. 393 Anm. beschriebenen Magnetelektromotors. Um die Richtung der Schließungs- und Oeffnungsschläge zwischen den Nadeln mit Leichtigkeit umkehren zu können, war der POHL'sche Stromwender in den Kreis der Nadeln und der inducirten Rolle eingeschaltet. Die Feder des Magnetelektromotors spielte fortwährend. Es war aber zwischen den Gefäßen *A* und *B*, oder α und β des Stromwenders (S. oben Bd. I. S. 426. Bd. II. Taf. III. Fig. 108) ein kurzer Schließungsdraht angebracht, so daß die Schläge erst dann mit merklicher Kraft den Muskel trafen, wenn dieser Draht entfernt worden war. Diese Art, mit Inductionsströmen zu tetanisiren, ist die beste, weil dabei dem lästigen Umstande vorgebeugt ist, daß, noch ehe man es beabsichtigt, Zusammenziehungen, unipolare Zuckungen nämlich eintreten (S. oben Bd. I. S. 429).

Zuerst mußte natürlich die Stärke der inducirten Schläge ermittelt werden, welche ohne Gefahr für die Astasie des Nadelpaares angewendet werden konnten, wobei freilich die Astasie für dies eine Mal verloren gegeben wurde. Nach Herstellung der Astasie, und bei Beobachtung der nunmehr erkannten, nicht zu überschreitenden Grenze der Stromstärke, gelang aber der Versuch tadellos. Sobald die Nebenschließung entfernt wurde, entstand lebhafter Tetanus der Unterschenkelmuskeln. Der Unterschenkel muß jedoch nicht zu groß sein, indem es sonst geschehen kann, daß nicht alle Muskeln gleichmäßig vom Tetanus ergriffen werden. Dies ist der oben S. 340 angedeutete fernere Grund, weshalb man hier besser thut, sich kleiner, als großer Kaninchen zu bedienen.

Sobald der Tetanus anfang, erfolgte eine negative Wirkung auf die Nadel, ein aufsteigender Ausschlag nämlich von etwa $10 - 15^\circ$ am Multiplicator für den Muskelstrom. Die Richtung des Ausschlages war unabhängig von der der Schließungs- und Oeffnungsströme zwischen den

stromzuführenden Nadeln. Der Ausschlag konnte übrigens nur zwei, höchstens dreimal an demselben Unterschenkel beobachtet werden. Denn nicht öfter gelang es, auch auf diesem Wege, hinlänglich kräftigen Tetanus zu erregen. Nachdem die Leistungsfähigkeit der Muskeln erschöpft war, blieb beim Tetanisiren entweder gar keine Wirkung der Schläge zurück, oder eine Wirkung von etwa nur 1° , die ihre Richtung mit dem Umlagen der Wippe des Stromwenders änderte. Die Richtung zeigte an, daß es die Oeffnungsschläge waren, welche die Nadel ablenkten. Dies erscheint in der Ordnung, wenn man erwägt, daß die stärkeren und kürzeren Oeffnungsschläge weniger durch die Polarisation an den versilberten Kupfernadeln geschwächt werden müssen, als die schwächeren und langsameren Oeffnungsschläge (S. oben Abth. I. S. 405. 436).

Denselben Versuch habe ich mit demselben Erfolge beiläufig noch mit künstlichem Querschnitt angestellt, um dem Einwand zu begegnen, den zu vernehmen mich nicht sehr gewundert haben würde, daß ja bei warmblütigen Thieren der Muskelstrom bei der Zusammenziehung, statt einer negativen, vielleicht eine positive Schwankung erleide. Die Zurichtung war folgende. Das Kaninchen wurde erschlagen, die Haut vom Unterschenkel abgerissen, die Achillessehne durchschnitten, der Soleus, Plantaris und die Gastroknemien nach aufwärts aus ihren Binden gelöst und in der Gegend ihrer stärksten gemeinsamen Anschwellung durchschnitten. Es wurde einerseits die Achillessehne, andererseits der künstliche Querschnitt an die mit Eiweißhäutchen bekleideten Bäusche gelegt. Die stromzuführenden Nadeln wurden diesmal nicht der Länge, sondern der Quere nach an dem Muskelstück angebracht, so daß sie das Stück seitlich zusammendrückten. Dies hatte zum Zweck, die Berührung zwischen dem künstlichen Querschnitt und dem entsprechenden Bausch bei der Zuckung beständig zu erhalten, indem sich nämlich zeigte, daß eine Verschiebung des Querschnittes hinreichte, um eine Veränderung der beständigen Ablenkung zu erzeugen. Stets fand, im Augenblick des Tetanus, eine lebhafte negative Schwankung des Stromes statt, die gänzlich aufhörte, nachdem die Leistungsfähigkeit der Muskeln erschöpft war.

Endlich habe ich zum Ueberflus auch noch versucht, die aufsteigende elektromotorische Wirkung beim Tetanisiren des Unterschenkels des Kaninchens am lebenden unversehrten Thiere nachzuweisen.

Ich habe ein Brett von 20^{cm} Breite, 2^{cm} Dicke und von veränderlicher Länge. Es besteht nämlich aus zwei 20^{cm} langen Stücken, die nach Art der beiden Hälften eines Ausziehtisches einander genähert oder von einander entfernt werden können. Durch eingelegte Stücke, deren Breite immer um 1^{cm} wächst, wird, gleichfalls wie bei einem

Ausziehtisch, die Ebene des Brettes wieder ergänzt. Auf dies Brett wird das Kaninchen mit dem Bauch gelegt, und dem Brett eine solche Länge ertheilt, dafs es, bei völliger Streckung des Kaninchens, von dem Fußgelenk bis zum Handgelenk reicht. Die Füfse und die Hände des Kaninchens werden gegen den abgerundeten Rand des Brettes umgebogen und daselbst festgebunden. Ueber die Unterschenkel und die Unterarme gehen gleichfalls Bänder, und durch zwei Rollbinden werden das Becken und der Brustkasten wider das Brett gedrückt. So erreiche ich eine so völlige Unbeweglichkeit des Kaninchens, wenn auch nicht bei heftigen unregelmäßigen Bewegungen, wie sie das willkürliche Sträuben, doch bei der symmetrischen Anstrengung aller Gliedmaßen, wie sie der Starrkrampf mit sich bringt, dafs der stärkste Tetanus in nichts Anderem mehr sichtbar wird, als in dem bekannten, hier ganz gleichgültigen Zurückschlagen des Kopfes.

Das Brett wird mit seiner unteren Fläche in der Höhe des Randes der Zuleitungsgefäße wagerecht aufgestellt, sein Fußende nach den Gefäßen zugekehrt. Die Füfse des Kaninchens ragen über den Rand des Brettes hinreichend weit nach unten vor, um in die Zuleitungsgefäße getaucht werden zu können. So befindet sich das Kaninchen also in derselben Lage als der Frosch in den Versuchen oben S. 185 und der menschliche Körper in den Versuchen S. 284.

Stets entstand, wenn die dichte Behaarung der Zehen von der Lösung durchdrungen war, an dem Multiplicator für den Nervenstrom ein mehr oder minder starker Ausschlag, bald in dem einen, bald in dem anderen Sinne, über dessen Ursache ich nichts Näheres anzugeben weiß, der aber offenbar demjenigen zu vergleichen ist, der auch beim Menschen stets das erste Schließen symmetrischer Hautstellen zum Kreise begleitet (S. oben S. 203). Wie dort, stellte sich auch hier die Nadel bald in hinreichender Nähe des Nullpunktes beständig ein, und es handelte sich also nur noch darum, Tetanus des einen Unterschenkels zu bewirken.

Dies ist jedoch unmöglich. Dagegen ist leicht zu machen, dafs während sämtliche übrige Beinmuskeln zucken, der eine Unterschenkel und Fuß erschlafft bleibe. Sobald alsdann die Zusammenziehung der übrigen Muskeln nur gleichmäßig geschieht, muß die elektromotorische Wirkung die nämliche sein, als ob allein der Unterschenkel tetanisirt würde, der an der Zuckung Theil hat. Dieser Versuchsplan ist leicht in's Werk zu setzen. Man braucht dazu nur den *N. tibialis* und *peroneus* in der Kniekehle zu zerschneiden, was ohne alle Blutung und Muskelverletzung gelingt, und dann das Thier mit Strychnin zu vergiften.

In meinen Versuchen wurde nach der Durchschneidung ein wenig Baumwolle, mit einer gesättigten Lösung von salpetersaurem Strychnin

getränkt, in die Wunde gethan, die Hautwunde zugenäht, das Kaninchen auf die Zuleitungsgefäße gelegt und der Tetanus abgewartet.

Schon bei den einzelnen Stößen, die dem Ausbruch des Tetanus vorherzugehen pflegen, zeigten sich leichte Ausschläge, gerade wie wir dies beim Frosch beobachtet haben (S. oben S. 184). Vollends bei dem großen Anfall entstand ein Ausschlag von $15-30^{\circ}$, in Anbetracht der geringen wirksamen Muskelmasse und des großen Widerstandes des Kreises gewiß eine sehr ansehnliche Wirkungsgröße. Der Ausschlag hatte die verlangte Richtung, nämlich im unverletzten Bein einen aufsteigenden Strom anzeigend. Einigemal trat eine Störung auf, die ich nicht zu erklären weiß. Es wurde nämlich der im unverletzten Bein aufsteigende Ausschlag auf dem Fulse gefolgt von einem größeren Ausschlage, auch wohl von einer beständigen Ablenkung in der anderen Richtung. Solche Störungen traten aber auch manchmal ein schon allein bei heftigen Bewegungen des Thieres, wo gar kein Tetanus stattfand, der auf die Nadel hätte wirken können. Ich glaube deshalb nicht, daß auf diese Störungen das geringste zu geben sei.

Ich hätte gern einen solchen Versuch auch für das ganze Bein des Kaninchens angestellt. Allein die gemeinsame Durchschneidung der NN. ischiadicus, obturatorius und cruralis ist mir als ein so gewaltiger Eingriff erschienen, daß ich davon abgestanden bin. Ich suchte daher den ausschließlichen Tetanus des einen Beines folgendermaßen auf elektrischem Wege zu bewirken. Zwei Stopfnadeln wurden mit Ausnahme des Oehrs und der Spitze mit Lack überzogen. Das Ohr beider wurde mit Klemmschrauben versehen und die Nadeln dadurch mit den Enden der inducirten Rolle des Magnetelektromotors verknüpft. Das Kaninchen wurde wie vorher befestigt und seine Hinterbacken wurden geschoren. Hierauf stieß ich die beiden Nadeln, in etwa 1^{cm} Abstand von einander, in die eine Hinterbacke. Die Verbindungslinie der Nadeln lief der Wirbelsäule parallel, und hälftete den Zwischenraum zwischen Kreuzbein und absteigendem Aste des Sitzbeins. Ihre Mitte lag dem Sitzbeinstachel etwa gegenüber. Die Nadeln wurden so tief eingestochen, daß ich annehmen konnte, daß ihre Spitzen sich in der Höhe des Plexus sacralis befänden.

Durch das Lackiren der Nadeln hatte ich beabsichtigt, nicht allein den Strömungsvorgang zwischen den Nadeln mehr auf die Gegend der Nervenstämme hinzurichten, sondern auch dem Thiere den Versuch erträglicher zu machen, indem ich ihm die Schmerzen ersparte, die das unmittelbare Einbrechen des Stromes in voller Stärke in die Hautwunde hervorgebracht haben würde. Ich hatte ferner gehofft, daß bei hinlänglich schwachen Strömen der Tetanus auf das Bein der Seite, wo

sich die Nadeln befanden, eingeschränkt bleiben würde. Nichtsdestoweniger schrie das Kaninchen beim Tetanisiren mehrmals laut auf, und zwar gleichviel, ob die Oeffnungs- oder die Schließungsströme die aufsteigenden waren. Vom MARIANINI'schen Gesetz also gab sich bei dieser Gelegenheit nichts zu erkennen (Vergl. oben Bd. I. S. 361). Gleichzeitig entstand ein Ausschlag am Multiplicator für den Nervenstrom, der einen auf der Seite der Nadeln absteigenden Strom anzeigte. Als ich nun aber die Nadeln in derselben Art auf der anderen Seite anbrachte, hatte der Ausschlag beim Tetanisiren noch dieselbe Richtung, und als ich endlich zu jeder Seite des Kreuzbeins, zwischen ihm und dem Sitzbeinstachel, eine der beiden Nadeln anbrachte, war die Richtung des Ausschlages auch noch stets die nämliche. Von der Richtung der Schließungs- und Oeffnungsschläge war die Richtung des Ausschlages unabhängig. Auch blieb die Nadel so gut wie völlig in Ruhe, als ich nach Tödtung und Erstarrung des Kaninchens die Versuche mit viel stärkeren Strömen wiederholte.

Es ist also klar, daß der stets gleichgerichtete Ausschlag beim Tetanisiren nichts Anderes war, als der Ausdruck eines zufälligerweise vorhandenen Unterschiedes in der elektromotorischen Wirkung der beiden Beine, welche selbst dann gleichmäßig in Tetanus geriethen, wenn die Nadeln sich auf derselben Seite des Kreuzbeins befanden. Die Stromeschleifen, welche bis zur anderen Seite hinreichten, waren noch stark genug, um auch in den hier gelegenen Nervenstämmen den Gipfel anhaltender Erregung hervorzubringen. Man sollte jedoch meinen, daß man, durch passende Abschwächung der Ströme, zuletzt bei einem Punkt anlangen müßte, wo dies nicht mehr der Fall wäre, sondern der Tetanus auf das Bein der Seite, wo sich die Nadeln befänden, wirklich eingeschränkt bliebe.

Ich habe indessen diesen Versuch auf sich beruhen lassen, da die obigen für das, was wir hier beabsichtigen, bereits völlig ausreichen, und ich außerdem so viel gesehen hatte, als daß ein anderer Zweck, den ich mit dem letzten Versuch verband, doch nicht zu erreichen sein würde. Ich wünschte nämlich dabei zugleich ein Mittel zu erhalten, um die Nachwirkung des Tetanus an einem warmblütigen Thiere zu erforschen. Um diese Nachwirkung zu beobachten, muß man über einen Kreis gebieten, in dem außer dem Strom einer ruhenden Muskelmasse und einem anderen Strom, der diesem die Wage hält, kein, oder nur ein so schwacher Strom vorhanden ist, daß dieser letztere nebst dem Unterschied der beiden einander entgegenwirkenden Ströme, gegen den Strom durch die Nachwirkung nicht in Betracht kommt. Wenn man dann bei offenem Kreise tetanisirt und unmittelbar nach Aufhören

des Tetanus den Kreis schließt, kann man den Strom durch die Nachwirkung rein beobachten (S. oben S. 153. 292). Ich habe aber in den Versuchen am Kaninchen die Bedingung der Abwesenheit anderer Ströme im Kreise nie so vollkommen erfüllt gesehen, daß es sich gelohnt hätte, einen Versuch zur Beobachtung der Nachwirkung anzustellen.

Kehren wir zum eigentlichen Gegenstande dieser Untersuchung zurück. Wir haben gefunden, daß der ruhende Strom des Unterschenkels des Kaninchens, statt aufsteigend wie am Frosch, vielmehr absteigend ist, daß folglich beim Tetanus die negative Schwankung dieses Stromes, statt einer absteigenden Wirkung, wie am Frosch, vielmehr eine aufsteigende hervorbringt. Dies Ergebniss ist geeignet, die Zweifel Derjenigen zu heben, welche, mit CIMA und MATTEUCCI, einen Widerspruch darin sehen, daß die elektromotorische Wirkung beim Tetanus in den Beinen des Frosches eine absteigende, in den Armen des Menschen eine aufsteigende ist. Es zeigt, meinen theoretischen Auseinandersetzungen gemäß, daß die Richtung der elektromotorischen Wirkung beim Tetanus erst dann von Bedeutung wird, wenn die Wirkungsrichtung der ruhenden Muskeln bereits feststeht. Es beweist abermals, was ich schon so oft einsichtlich zu machen versucht habe, daß die Wirkungsrichtung und -Größe der Gliedmassen bei ruhenden Muskeln an sich etwas ganz Unwesentliches, Gleichgültiges ist, und, wie die Wirkungsrichtung und -Größe einzelner Muskeln zwischen ihren sehnigen Enden von einem Muskel zum anderen, in derselben Thierart von einer Gliedmasse zur anderen, in derselben Gliedmasse von einer Thierart zur anderen schwanken kann.

Es ist aber, wenn ich nicht irre, durch die obigen Versuche noch etwas mehr geschehen. Wir haben gefunden, daß auch am menschlichen Unterschenkel die elektromotorische Wirkung bei der Zusammenziehung aufsteigend ist. Auch Denjenigen also, die, wie der Berichterstatter der Pariser Commission, zwar zugeben, daß der ruhende Strom der menschlichen Arme sehr wohl absteigend sein könne, aber noch den Beweis verlangen, daß er wirklich absteigend sei, auch Diesen dürfte jetzt, wenn sie billig sein wollen, Genüge geleistet sein. Denn der Versuch am Arm hat vor dem Versuch am Unterschenkel nichts voraus. Lassen wir also den Arm bei Seite und halten uns lediglich an den Unterschenkel. Es ist keine Frage, daß der Unterschenkel des Kaninchens ungleich menschenähnlicher gebildet ist als der des Frosches, zwar, wegen des tiefen Ansatzes der Beuger des Kniegelenkes, nicht in seinen äußeren Umrissen am unversehrten Thier, doch hinsichtlich der Anordnung seiner Muskeln. Von diesem menschenähnlich gebildeten Unterschenkel steht nun fest, daß auch er bei der Zusammenziehung nicht

absteigend wirkt, wie der des Frosches, sondern aufsteigend wie der des Menschen. Und ein aufmerksamerer Blick auf die Verschiedenheit im Bau des Menschen- und Kaninchenunterschenkels einerseits und des Froschunterschenkels andererseits weist auch bald einen Umstand auf, der die Verschiedenheit in der elektromotorischen Wirkung auf beiden Seiten, wenn auch nicht als nothwendig erkennen läßt, doch wenigstens begreiflich macht.

Der sogenannte Gastroknemius des Frosches besitzt nämlich an seinem oberen Ende keinen freien natürlichen Querschnitt (Vergl. oben Bd. I. S. 512. 513. Bd. II. Abth. II. S. 106). In der folgenden Beschreibung des Baues dieses Muskels ist der Frosch auf seinen Füßen stehend wie ein Mensch gedacht. Das Kopfende des Muskels heißt daher das obere, das Fußende das untere, die Tibialfläche wird als vordere, die Rückenfläche als hintere bezeichnet. Außen und Innen bezieht sich auf die den Muskel symmetrisch hälftende Ebene.

Eine sehnige Scheidewand, welche senkrecht auf der Ausbreitung der Achillessehne steht, hälftet den Muskel nahe symmetrisch. Sie ist die in's Innere des Muskels eindringende Fortsetzung seiner beiden Kopfsehnen, der kurzen oberen hinteren und inneren, deren oberer Zipfel sich an das Ober-, der untere an das Unterschenkelbein heftet, und der längeren unteren äußeren und vorderen, die zwar einige ihrer äußeren Fasern an das Oberschenkelbein schickt, großentheils jedoch verschmilzt mit dem äußeren Rand der Aponeurose des Triceps Cuv., so daß dieser Muskel auch noch das Fußgelenk strecken kann. Man sieht diese letztere Sehne gut in *e* Fig. 141. Taf. V dieses Bandes. Ihr oberes Ende ist, behufs der Präparation des N. peronäus (S. oben Abth. I. S. 546), von der Aponeurose des Triceps getrennt worden, aber die Stelle, wo es davon abgelöst wurde, ist noch deutlich erkennbar.

Die sehnige Scheidewand des Gastroknemius hat einen vorderen geraden und einen hinteren gewölbten Rand. Letzterer tritt an der Rückenfläche des Muskels nirgends zu Tage. Ersterer dagegen wird ungefähr in den oberen sechs Siebenteln der Längsmittellinie der abgeplatteten Tibialfläche sichtbar. Die Muskelbündel des Gastroknemius sind nämlich sehr viel kürzer als der ganze Muskel, und nehmen folgenden Verlauf.

Diejenigen dieser Bündel, welche von der Längsmittellinie der Ausbreitung der Achillessehne, oder ihrer Durchschnittslinie mit der fortgesetzt gedachten Ebene der sehnigen Scheidewand entspringen, laufen schräg nach oben und vorn, und heften sich an den gewölbten hinteren Rand der Scheidewand. Das oberste dieser Bündel liegt in der Längsmittellinie des oberen fleischigen Theils der Rückenfläche. Das

unterste bildet das unterste Siebentel der Längsmittellinie der Tibialfläche, deren sechs obere Siebentel eingenommen sind durch den vorderen geraden Rand der sehnigen Scheidewand.

Die Bündel, welche von den beiden Hälften der Ausbreitung zur Seite der Längsmittellinie entspringen, laufen schräg nach oben, vorn und innen, und heften sich an die entsprechenden Seitenflächen der Scheidewand. Dabei treffen unstreitig solche Bündel mit ihren oberen Enden nahe aufeinander, deren untere Enden von symmetrischen Punkten der Ausbreitung kommen.

Endlich die Bündel, welche von dem Umfange selbst der Ausbreitung entspringen, heften sich an den vorderen geraden Rand der sehnigen Scheidewand. Sie bilden den fleischigen Theil der Oberfläche des Muskels. In der Tibialfläche verlaufen sie rein nach oben und innen, daher der vordere Rand der Scheidewand mit den von beiden Seiten unter gleichen Winkeln schräg daran stofsenden Bündeln das Bild eines mit dem Kiel nach oben gehaltenen Federschaftes mit seinen Strahlen gewährt. Es gehört danach der Gastroknemius des Frosches zu den gefiederten Muskeln.

Nur eine kleine Abweichung von dem hier geschilderten symmetrisch regelmässigen Bau wird bemerkbar an der Stelle, wo sich die längere der beiden Kopfsehnen, die untere vordere und äufsere, in die Scheidewand fortsetzt. Diese Sehne kommt zwischen den beiden Hälften des Muskels, unter und vor der anderen Kopfsehne, hervor wie ein Bücherzeichen aus einem Buche. Sogleich aber schlägt sie sich, der Oberfläche des Muskels entlang, nach oben und aufsen, und löst sich von der Oberfläche, um frei nach oben zu gehen, erst wenn sie den äufseren Umfang des Muskels erreicht hat. Die mit der Oberfläche des Muskels verwachsene Strecke der Sehne nun dient einigen Bündeln zum Ansatz, deren obere Enden also nicht an die mittlere Scheidewand gehen, und dies ist der einzige Punkt am oberen Ende des Gastroknemius, wo man von einem freien natürlichen Querschnitt desselben sprechen kann.

Benetzt man diese Stelle mit einer entwickelnden Flüssigkeit, so erhält man stets einen kleinen absteigenden Ausschlag. Er rührt ganz gewifs nicht allein von der negativen Schwankung her, die die Folge ist der Zuckungen, welche das Anätzen häufig begleiten. So ist also, obschon unvollkommen, auch am Gastroknemius des Frosches der oben S. 106. 123 beschriebene Versuch anstellbar.

Ueberall anderwärts am oberen Ende des Muskels ist es so gut als ob gar kein natürlicher Querschnitt vorhanden wäre. Die sehnige Scheidewand des Gastroknemius gelingt es nämlich nicht selten bei der

oben Abth. I. S. 97 beschriebenen Darstellungsweise des künstlichen Längsschnittes in zwei Blätter zu spalten. Jedes dieser Blätter enthält alsdann den oberen natürlichen Querschnitt der einen Seitenhälfte des Muskels, deren unterer natürlicher Querschnitt zu suchen ist in der entsprechenden Hälfte der Ausbreitung der Achillessehne. Es ist also als ob ursprünglich ein oberer vorderer Querschnitt des Muskels dagewesen wäre, entsprechend dem unteren hinteren Querschnitt, der mit der Ausbreitung der Achillessehne bekleidet ist, und als ob dieser obere vordere Querschnitt in der Längsmittellinie nach hinten eingeknickt, seine beiden symmetrischen Hälften, wie die eines Buches, welches man zuschlägt, nach vorn zusammengeklappt, und mit einander verklebt worden wären.

Dadurch ist aber die Negativität des oberen Querschnittes ganz außer Spiel gebracht. In elektrischer Beziehung würde nichts am Gastroknemius geändert werden, wenn die Scheidewand daraus entfernt würde, und je zwei Bündel, deren obere Enden jetzt an entsprechenden Punkten ihrer beiden Seitenflächen aufsitzen, mit einander verwachsen zu einem Bogen oder einer Schlinge, deren beide Schenkel sich nach wie vor an symmetrische Punkte der Ausbreitung der Achillessehne hefteten.

Der Gastroknemius besitzt somit nur Eine negative Flächenbegrenzung, die Ausbreitung der Achillessehne über dem unteren natürlichen Querschnitt. Seine ganze übrige Begrenzung ist neutral, oder in Bezug auf den natürlichen Querschnitt positiv (S. oben S. 116).¹ Dasselbe gilt beiläufig vom inneren Kopf des Triceps Cuv., der einen dem des Gastroknemius sehr ähnlichen Bau besitzt (S. oben Bd. I. S. 492. 496). Dies ist der Grund, weshalb diese Muskeln, im unversehrten Zustande und bei mäfsiger Entwicklung der parelektronomischen Schicht, nur aufsteigend, bei hoher Entwicklung der Schicht, nur absteigend wirken können (Vergl. oben S. 35). Um sie bei mäfsiger Entwicklung der Schicht absteigend wirken zu sehen, mufs am oberen Ende des Muskels ein künstlicher Querschnitt angelegt werden.

Sehr verschieden von dem Gastroknemius des Frosches ist nun die entsprechende Muskelgruppe an der Wade des Kaninchens und des Menschen gebildet. Hier besitzen nämlich die beiden Gastroknemii, der externus und der internus, an ihrem oberen Ende jeder einen freien

¹ Die in der Fig. 33. Taf. IV. Bd. I. gegebene Abbildung eines künstlichen Längsschnittes vom Gastroknemius giebt insofern kein gutes Bild von dem Bau des Muskels, als der Längsschnitt darin nicht zusammenfällt mit der sehnigen Scheidewand, sondern sie unter einem spitzen Winkel schneidet. Der Bau des Gastroknemius war mir damals noch nicht so klar geworden wie jetzt.

natürlichen Querschnitt. Daraus folgt nun freilich nicht mit Nothwendigkeit, daß der Unterschenkel absteigend wirken müsse. Denn es könnten ja die unteren Querschnitte der Muskeln die Oberhand haben über die oberen. Allein es ist, wie oben S. 349 bevorwortet wurde, doch wenigstens einsichtlich gemacht, wie, im Gegensatze zum Unterschenkel des Frosches, der des Kaninchens, folglich auch der des Menschen, absteigend wirken könne.

(x) Der Strom beim willkürlichen Tetanus ist nicht thermoëlektrischen Ursprungs.

Dem Einwurfe, daß der Strom beim willkürlichen Tetanus ein thermoëlektrischer sei, erzeugt durch die bei der Muskelzusammenziehung entwickelte Wärme, fehlte es im Munde seiner Urheber¹ eigentlich an jeder thatsächlichen Grundlage. Denn vor meinen oben S. 207 ff. beschriebenen Versuchen war aufer der verschollenen Beobachtung NOBILI's an der Thon-Thermokette, deren Analogie doch eine sehr entfernte ist, von Thermoströmen feuchter Leiter nichts bekannt. Auferdem war es im höchsten Grade unwahrscheinlich, daß in einem Kreise von so bedeutendem Widerstande irgend ein Thermostrom sichtbar gemacht werden könne. Jetzt steht die Sache anders. Wir wissen, daß zwei ungleich warme sonst gleichartige Hautstellen einen Strom erzeugen, der die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom unter Umständen an die Hemmung führt. Dadurch wird das Bedenken, von dem hier die Rede ist, erst zu einem solchen, welches ernstliche Berücksichtigung verdient.

Und beim ersten Blick scheint es beinahe, als ob man auf diesem Wege den Strom beim willkürlichen Tetanus wirklich erklären könnte, ohne ihn abhängig zu machen von der negativen Schwankung des Muskelstromes der menschlichen Gliedmaßen. Der Natur der Dinge nach werden die Versuche darüber angestellt bei einer Temperatur der Zuleitungsflüssigkeit zwischen 0° und 30° C. Innerhalb dieser Grenzen verhält sich die wärmere Hautstelle negativ gegen die kältere, und zwar, bei gleichem Temperaturunterschied, um so mehr, je näher dem Nullpunkt. Der angespannte Arm, um uns an die gangbarste Form des Versuches zu halten, wird, im Verhältniß zum erschlafteu, erwärmt. Es muß sich folglich der Finger des angespannten Armes innerhalb der angegebenen Temperaturgrenze negativ verhalten gegen den Finger des in Ruhe gebliebenen. So verhält er sich aber in der That. Stellt man

¹ Gedruckt worden ist dieser Einwand meines Wissens nur von DESPRETZ und von HUNT an den oben S. 311. 313 Anm. angegebenen Stellen.

den Versuch mit Zuleitungsflüssigkeit von 0° an, so wird zwar der Strom nicht stärker, wie es nach dem Obigen der Fall sein sollte, sondern schwächer. Dies läßt sich aber aus dem bei niederer Temperatur größeren Widerstande der Oberhaut erklären (S. oben S. 212). Die Nachwirkung des Tetanus erklärt sich natürlich bei dieser Deutungsweise der Erscheinung gerade so gut wie bei der anderen.

Bei näherer Erwägung indessen stellt sich dieser erste Anschein bald als ganz trügllich heraus. Erstens halte ich es für sehr unwahrscheinlich, daß bereits nach wenigen Secunden das Anspannen der Armmuskeln eine irgend merkliche Temperaturerhöhung der Haut der Finger, das der Oberschenkelmuskeln bei der oben S. 290 beschriebenen Gestalt des Versuches eine solche der Haut des Fusses zur Folge habe. Versuche darüber anzustellen, habe ich nicht für nöthig gehalten. Denn zugegeben, es finde beim Anspannen, was jedenfalls ganz unmöglich ist, eine Temperaturerhöhung der eingetauchten Hautstelle um mehrere Grade C. wirklich statt, so würde der dadurch bedingte Temperaturunterschied doch ganz unvernünftig sein, am Multiplicator für den Nervenstrom einen Ausschlag von der Größe zu erzeugen, wie wir ihn beim Anspannen beobachtet haben. Dieser Ausschlag beläuft sich auf 40° und darüber. Dagegen beim gleichzeitigen Eintauchen eines Fingers bei 15° und eines Fingers bei 30° C. in die Zuleitungsgefäße erhält man höchstens $20-30^{\circ}$ Ausschlag (S. oben S. 208. 227), obschon der Widerstand der Oberhaut an letzterem Finger bereits sehr vermindert ist (S. oben S. 212). Ein Temperaturunterschied der Finger von 5° C. z. B. aber bleibt bereits so gut wie wirkungslos. Es ist also schon hienach nicht daran zu denken, den Strom beim willkürlichen Tetanus von der Temperaturerhöhung der angespannten Gliedmaße abzuleiten.

Bei der Gestalt des Versuches ferner, bei der der Strom des Unterarmes von Elbogen und Finger abgeleitet wird (S. oben S. 291), müßte der Finger mehr erwärmt werden als der Elbogen, denn der Strom ist aufsteigend im Unterarm, d. h. der Finger erscheint in Folge des Tetanus negativer gegen den Elbogen. Dies scheint undenkbar, um so mehr als, wie man sich erinnert, bei dieser Versuchsweise auch die Oberarmmuskeln angespannt werden. Wenn also überhaupt eine merkliche Erwärmung der Oberhaut des Armes stattfindet, so wird die Haut des Elbogens daran sicherlich ebensoviel und leicht noch mehr Antheil haben als die viel entlegene der Finger.

Vollends entscheidend aber ist nachstehende Betrachtung. Man entsinnt sich der merkwürdigen Thatsache, daß, während zwischen 0° und darunter, und etwa 30° C. sich der wärmere Finger negativ verhält gegen den kälteren, sich umgekehrt, zwischen etwa 30° , und 45° und

darüber, der wärmere Finger positiv verhält gegen den kälteren (S. oben S. 208). Wäre der Strom bei der Zusammenziehung durch die Temperaturerhöhung der angespannten Gliedmaße bedingt, so müßte also offenbar dieser Strom seine Richtung umkehren, wenn man ihn in Zuleitungsflüssigkeit von einer Temperatur über 30° anstellt. Dies ist aber, wie wir schon wissen, nicht der Fall. Vielmehr behält der Strom seine Richtung bei, und erscheint sogar beträchtlich verstärkt wegen des durch die Wärme verminderten Widerstandes der Oberhaut (S. oben S. 303).

Damit ist, wie es scheint, die Sache abgethan. Doch werden sich später zu diesen sogar noch andere Gründe gesellen. Da aber jetzt durch HELMHOLTZ auch in Muskeln kaltblütiger Thiere, die dem Kreislauf entzogen sind, eine Temperaturerhöhung beim Tetanus nachgewiesen ist,¹ so könnte die Gegenpartei sich vielleicht noch folgendermaßen vernehmen lassen. Die Unmöglichkeit, den Strom beim willkürlichen Tetanus von einer Temperaturerhöhung der eingetauchten Hautstelle abzuleiten, müsse nach dem Obigen zwar zugegeben werden. Aber könnte nicht der Strom, wenngleich im Inneren der Gliedmaßen erzeugt, doch nur durch die Temperaturerhöhung der Muskeln bedingt sein? Ist nicht vielleicht die ganze Erscheinung der negativen Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung einfach thermoëlektrischer Natur?

Diese Ansicht, die ich wirklich habe äußern hören, ist jedoch nicht minder unhaltbar als die so eben von der Hand gewiesene. Zugegeben, obschon dies gewiß nicht richtig ist, die von HELMHOLTZ beobachtete Temperaturerhöhung der Muskeln um etwa ein bis zwei Zehntel Grade C. sei im Stande, einen so starken elektromotorischen Unterschied zu erzeugen, wie der der negativen Schwankung zu Grunde liegt. Wie sollte es kommen, daß nicht Längs- und Querschnitt des Muskels in gleichem Maße erwärmt würden? Wie sollte vielmehr stets die Vertheilung der thermoëlektrischen Spannungen am Muskel gerade dieselbe sein, nur mit entgegengesetztem Zeichen, wie die der Spannungen, welche den ruhenden Muskelstrom erzeugen?

Schon dies würde genügen. Aber keine geringere Schwierigkeit entspringt für die thermoëlektrische Theorie der negativen Schwankung aus der Untersuchung des zuckenden Muskels mittelst des stromprüfenden Froschschenkels. Diese Untersuchung lehrt bekanntlich, daß die elektromotorische Wirkung der Zusammenziehung keine allmähig wiederum abnehmende ist, sondern daß sie ebenso schnell verschwindet, wie sie eintritt, daß das Ganze einen blitzschnellen Stromstoß, einem voltaëlektrischen Inductionsschlage vergleichbar, vorstellt. Nur so wird

¹ MÜLLER'S Archiv für Anatomie und Physiologie. Jahrgang 1848. S. 144.*

es verständlich, dafs es für das Erscheinen und die Stärke der secundären Zuckung gleichgültig ist, ob der ruhende Muskelstrom im Nerven des stromprüfenden Schenkels auf- oder absteigt. Die elektromotorische Wirkung des Tetanus aber ist eine dichtgedrängte Reihe solcher schnellen Stöße (S. oben Abth. I. S. 99 ff.). Es müfste also die in jeder einzelnen Zusammenziehung blitzschnell freigewordene Wärme ebenso schnell wieder gebunden werden, und nach Beendigung des Tetanus dürfte keine merkliche Menge freier Wärme zurückbleiben. Wollte man aber auch jenes schnelle Wiederumgebundenwerden der freigewordenen Wärme als Hypothese zugeben, man dürfte es nicht. Denn nach HELMHOLTZ geht die Nadel des Thermomultiplicators sehr langsam wieder auf den Nullpunkt zurück, wenn man mit der Reizung aufhört, oder wenn die Reizbarkeit der Muskeln erlischt.¹

Endlich ist noch zu erwähnen, dafs auch der Nervenstrom seine negative Schwankung hat, von nicht geringerer Gröfse im Verhältnifs zu seiner Stärke als die des Muskelstromes und von derselben Beschaffenheit in Bezug auf die Vertheilung der Spannungen, während HELMHOLTZ zum Schlusse gelangt ist, dafs, wenn eine Wärmeentwicklung die Innervation begleite, sie gegen die in den Muskeln verschwindend klein sei, und jedenfalls nicht über wenige Tausendtheile eines Grades hinausgehe.²

Will man der Wärmeentwicklung in den Muskeln einen Einflufs auf die elektrischen Erscheinungen zugestehen, so glaube ich daher, thut man besser, diesen Einflufs vorläufig in der leichten Verminderung des eigenthümlichen Widerstandes der Muskeln zu suchen, welche wir oben Abth. I. S. 81 im Gefolge der Zusammenziehung entdeckt haben.

(XI) Beweis, dafs der Strom beim willkürlichen Tetanus nicht auf Veränderung der elektromotorischen Kräfte der Haut beruhe.

Von den drei oben S. 336 aufgezählten Einwürfen gegen die in dieser Nummer mitgetheilten Versuche bleibt uns jetzt noch der letzte zu erwägen. Es wird gefragt, ob nicht der Strom beim willkürlichen Tetanus, statt der Ausdruck zu sein der negativen Schwankung des Muskelstromes der Gliedmaßen, herrühren könne von einer irgendwie vermittelten Veränderung der elektromotorischen Kräfte an der Grenze der Haut und der Zuleitungsflüssigkeit.

Wir haben zwar, nach Mafsgabe unserer bisherigen Kenntnifs, alles Nöthige gethan, um einer solchen Veränderung vorzubeugen. Nach mög-

¹ Ebendas. S. 157.*

² Ebendas. S. 164.*

lichst genauer Erforschung der elektromotorischen Beschaffenheit der Haut schien uns, abgesehen von der leicht zu vermeidenden Wirkung, die das Ausdehnen der Haut begleitet, keine andere Gefahr hier zu drohen als seitens der Benetzung neuer Hautstellen mit der Zuleitungsflüssigkeit. Wir haben daher Vorkehrungen getroffen, damit die eingetauchten Körpertheile die Tiefe, bis zu der sie von der Flüssigkeit bespült werden, bei der Zusammenziehung nicht verändern, und damit eine solche Veränderung, wenn sie dennoch stattfände, wenigstens elektromotorisch wirkungslos bliebe (S. oben S. 281. 334). Wir durften also glauben, in dieser Beziehung genug gethan zu haben.

Die Urheber des in Rede stehenden Einwurfes kennen diese Mafsregeln und ihre Tragweite zum Theil sehr wohl. Allein sie fühlen sich dabei nicht beruhigt. Sie argwöhnen vielmehr, dafs, in Folge der Muskelanstrengung, die elektromotorische Beschaffenheit der Haut selber eine Veränderung eingehen könnte. Welcher Art diese Veränderung sei, und wie sie zu Stande komme, darüber lassen sie sich nicht aus.

Nur Herr BECQUEREL der Vater hat sich in den Sitzungen, die die Commission der Pariser Akademie bei mir hielt, darüber erklärt. Seiner Meinung nach nämlich würde beim willkürlichen Tetanus des Armes eine verstärkte Hautabsonderung am Finger stattfinden. Um diese Meinung zu erhärten, forderte Herr BECQUEREL mich auf, während ich beide Zeigefinger zum Eintauchen in die Zuleitungsgefäfsse bereit hielt, den einen Arm anzuspannen, ihn einige Zeitlang angespannt zu halten, und kurze Zeit nach dem Abspannen die Zeigefinger einzutauchen. Es entstand ein schwacher Ausschlag in derselben Richtung, als ob bei eingetauchten Fingern derselbe Arm angespannt worden wäre.

Wie man leicht bemerkt, war nämlich der von Herrn BECQUEREL vorgeschlagene Versuch nichts Anderes, als eine fehlerhafte Form des oben S. 292. 293 beschriebenen Versuches, durch den ich die elektromotorische Nachwirkung des Tetanus am lebenden unversehrten Menschen nachgewiesen habe. Fehlerhaft nenne ich die BECQUEREL'sche Versuchsweise deshalb, weil dabei gar leicht Täuschungen durch Hautungleichartigkeiten eintreten können, die sich entwickeln, während die Finger, ohne zum Kreise geschlossen zu sein, allerlei Einflüssen ausgesetzt an der Luft gehalten werden. Weder aber hat Herr BECQUEREL dies jemals einsehen wollen, noch hat die Commission meiner Erklärung des BECQUEREL'schen Versuches jemals Gehör geschenkt. Sondern dieser Versuch findet sich, ohne weitere Angabe seiner Bedeutung, in einer Anmerkung zum Bericht angeführt,¹ als von Herrn BECQUEREL angegeben, während

¹ Comptes rendus etc. 15 Juillet 1850. t. XXXI. p. 38. *

doch in einer der Abhandlungen, die dem Berichte zu Grunde liegen, die Nachwirkung des Tetanus auf den Muskelstrom ausdrücklich beschrieben steht! (S. oben S. 151 Anm. 1.) Die Verhandlung aber über den Strom bei der Zusammenziehung schließt der Berichterstatter mit folgenden Worten, die sich an die oben S. 336. 337 angeführten anschließen: »Mais »admettons, pour un instant, que cette première difficulté soit levée, que »la forme des muscles du bras qui entrent ici en jeu, que leur structure, »leur enlacement, leur disposition absolue et relative conduisent à la con- »clusion voulue, c'est-à-dire qu'il suffise d'y appliquer les lois du courant »musculaire,¹ pour faire voir qu'en composant les directions et les inten- »sités, l'on obtient pour résultat final un courant continu dirigé de l'épaule »à la main; toute la question serait-elle résolue? faudrait-il regarder comme »certain que les deux expériences (S. oben S. 337) sont identiques, et »qu'elles s'expliquent rigoureusement par la même cause? Nous ne le pen- »sons pas, il y aurait encore des doutes dépendants de la diversité des »conditions et de la complication du problème: mais le moment n'est pas »venu de les faire ressortir et d'en discuter la valeur.«² Worin diese Zweifel bestehen, die die Commission sich also sogar für den Fall noch vorbehält, daß die zuerst von ihr gestellte unmögliche Aufgabe gelöst wäre, die aufsteigende Richtung des Stromes beim willkürlichen Tetanus der Armmuskeln aus der Anordnung dieser Muskeln abzuleiten (S. oben S. 338), dies geht ziemlich deutlich hervor aus einer späteren Aeußerung PUILLET's in seinen *Notions générales de Physique et de Météorologie* (2^{me} Éd. Paris 1852. p. 288. 289), wo er von der thierischen Elektrizität, mit Inbegriff des in Rede stehenden Stromes, sagt: »On ne sait »pas si elle doit son origine à des actions chimiques ordinaires, ou à »des forces résultant de l'organisation elle-même.« Ohne geradezu der BECQUEREL'schen Hypothese zu huldigen, die vielmehr wohl durch seinen Einfluß von der Erwähnung in dem Bericht ausgeschlossen blieb, fürchtet auch PUILLET, daß der Strom bei der Zusammenziehung noch irgendwie durch Hautungleichartigkeiten bedingt sein möge.

Ich will im Folgenden die Gründe zusammenstellen, aus denen ich mich für berechtigt halte, die BECQUEREL'sche Vermuthung, so wie jede ähnliche, welche die Ursache des Stromes beim willkürlichen Tetanus in einer Veränderung der elektromotorischen Beschaffenheit der Haut sucht, von der Hand zu weisen. Ein Theil dieser Gründe beruht auf

¹ Unter lois du courant musculaire versteht Herr PUILLET nach meinem Vorgehen das, was ich im Deutschen das Gesetz des Muskelstromes zu nennen pflege, nicht etwa das, was MATTEUCCI, offenbar unpassend, mit demselben Namen belegt hatte (S. oben Bd. I. S. 527).

² Comptes rendus etc. 15 Juillet 1850. t. XXXI. p. 46.*

Thatsachen, die uns schon von früherher bekannt sind. Ein anderer Theil stützt sich auf noch anzustellende Versuche.

Was zunächst BECQUEREL'S Annahme einer vermehrten Hautabsonderung an der tetanisirten Gliedmaße betrifft, so führt heftige und anhaltende Muskelbewegung allerdings eine lebhaftere Thätigkeit der Schweifsdrüsen herbei. Allein es ist mir nicht bewußt, daß örtliche Muskelzusammenziehung, und noch dazu von so kurzer Dauer, wie die, um welche es sich hier handelt, örtlichen Schweiß bewirkte. Oder wollte man, um dies wahrscheinlicher zu machen, sich auf Krankheitsfälle berufen, gleich den von HOLLAND und von GIESKER und HENLE beobachteten, wo beim Sprechen und Kauen Schweiß auf der Wange ausbrach? ¹ Jedenfalls fühlt und sieht man hier nichts von einer solchen vermehrten Absonderung der Schweifsdrüsen. Auch steht die elektromotorische Wirkung gar nicht im Verhältniß zur subjectiven Anstrengung des Individuums, sondern zur wirklichen Leistung seiner Muskeln. Es ist aber offenbar die erste, welche die Schweißabsonderung bedingt. Wer daran zweifeln sollte, kann sich täglich auf Turnsälen überzeugen, wie ein schwächlicher^e ungeübter Mensch, der sich sehr anstrengt, bei geringerer Leistung mehr in Schweiß geräth, als ein kräftiger und geübter bei viel gewaltigerer.

Allein wir wollen zugeben, daß die örtliche Zusammenziehung, wenn auch in unwahrnehmbarem Maße, doch wirklich eine vermehrte Thätigkeit der Schweifsdrüsen an der Haut der entsprechenden Gliedmaßen herbeiführe. Es fragt sich alsdann noch, ob dadurch auch eine elektromotorische Wirkung gesetzt werde, und zwar in der Richtung, wie es der Fall sein müßte, um dadurch die Ströme beim willkürlichen Tetanus zu erklären. Ich habe versucht, diese Frage unmittelbar durch den Versuch zu entscheiden.

Um örtlichen Schweiß der Hand hervorzurufen, steckte ich Hand und Unterarm in einen luftdichten Sack von dünner Guttapercha, der unterhalb des Elbogens mittelst eines Taschentuches so um den Arm zugebunden wurde, daß er ohne belästigenden Druck doch gut schloß. Ueber der Guttaperchahülle wurden Hand und Unterarm noch mit einer wollenen Decke umwickelt. Vorher hatte ich die Hände in den mit Kochsalzlösung gefüllten Handgefäßen auf Richtung und Größe ihres Eigenstromes geprüft. In der Guttaperchahülle bedeckte sich die Hand nach einiger Zeit wirklich mit Schweiß. Als ich nun, nach viertelstündigem Aufenthalt der Hand in der Guttaperchahülle, das elektromotorische Verhalten der geschwitzten Hand gegen die ungeschwitzte un-

¹ HENLE, Pathologische Untersuchungen. Berlin 1840. S. 147; — Allgemeine Anatomie u. s. w. Leipzig 1841. S. 698.*

tersuchte, fand ich erstere stark positiv gegen letztere. In einigen Fällen wurde die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom gegen die Hemmung geführt. Die Wirkung ging natürlich in kurzer Zeit vorüber. Wurde einige Minuten später die Prüfung wiederholt, so zeigte sich wieder der Eigenstrom der Hände wie vor dem Versuch.

Da die Hand in der Guttaperchahülle von der Verdunstung abgeschlossen ist, kann sich offenbar ihre Temperatur steigern im Vergleich zu der der anderen Hand. Während die oberflächliche Temperatur dieser letzteren $28-30^{\circ}$ C. beträgt (S. oben S. 226), mag die jener nahe 37° kommen. Bei $28-30^{\circ}$ ist die Haut, wie man sich erinnert, am negativsten (S. oben S. 208), und man könnte also versucht sein, den hier beobachteten Strom für nichts als einen Thermostrom zu halten, erzeugt durch den Unterschied der Temperatur, der durch die gehemmte Verdunstung der einen Hand bedingt würde.

Diese Vorstellung ist jedoch nicht richtig. Erstens ist zu bedenken, daß, sobald man die Hand aus der Guttaperchahülle zieht, eine starke Verdunstung eintritt, in Folge deren die Hand wiederum oberflächlich abgekühlt wird, wie man sehr deutlich durch das Gefühl wahrnimmt. Für's zweite habe ich versucht, einen wie starken Strom ich denn erhalten würde, wenn ich die eine Hand in Lösung von 37° , die andere in solcher von 30° einige Zeit hielte und dann beide gleichzeitig in die Handgefäße übertrüge, deren Lösung 16° warm war. Die Wirkung war fast unmerklich, während, wie gesagt, in dem Versuch mit der Guttaperchahülle die Nadel nicht selten bis an die Hemmung geht. Und doch muß der Widerstand des Kreises im letzteren Versuch entschieden beträchtlicher sein als im ersteren, wo die Haut beider Hände reichlich durchfeuchtet wird.

Ich habe untersucht, wie sich diese Ströme wegen ungleichen Schwitzens beider Hände in verschiedenen Zuleitungsflüssigkeiten verhalten würden. In Brunnenwasser fand ich sie wie in Kochsalzlösung, nur schienen sie mir stärker zu sein. In der Säure hatten sie dieselbe Richtung, schienen aber schwächer als in der Lösung. Endlich in Kalihydratlösung bin ich über ihre Richtung nicht ganz in's Reine gekommen. Das erstmal, als ich den Versuch anstellte, hatten die Ströme die umgekehrte Richtung von der in den übrigen Zuleitungsflüssigkeiten. Als ich aber, um mich dieses wichtigen Ergebnisses zu versichern, den Versuch später einmal wiederholte, hatten die Ströme die andere Richtung, nämlich diesmal dieselbe wie in den übrigen Zuleitungsflüssigkeiten.

Wie dem auch sei, wir wissen von diesen Strömen nunmehr so viel als wir brauchen, um die Zulässigkeit der BECQUEREL'schen Hypothese zu beurtheilen. Verschiedener Zustand der beiden Hände in Bezug auf Schweiß ist wirklich im Stande, einen Strom zu erzeugen. Allein

dieser Strom hat die verkehrte Richtung von der, die er haben müßte, damit es möglich wäre, die elektromotorische Wirkung beim willkürlichen Tetanus zu erklären durch einen Schweifsausbruch an der tetanisirten Gliedmaße. Er ist, in dem Arme der schwitzenden Hand, statt aufsteigend, wie er sollte, vielmehr absteigend. Die BECQUEREL'sche Hypothese ist also dergestalt unmittelbar widerlegt.

Nicht besser besteht die Probe des Versuches eine andere Vermuthung, auf die man hier gerathen könnte, und die mit der BECQUEREL'schen wenigstens noch den Vortheil theilt, einigermaßen in der Wirklichkeit zu fussen. Es ist Thatsache, daß heftige örtliche Zusammenziehung eine Hyperämie, einen Congestionszustand der betreffenden Gliedmaße herbeiführt. Damit ein solcher Zustand merklich werde, dazu gehört nun freilich etwas mehr, als die in meinem Versuch stattfindende Anstrengung. Nichtsdestoweniger könnte man doch fragen, ob nicht eine durch den Tetanus bewirkte Hyperämie der Haut den Grund des dabei sich kundgebenden Stromes enthalte.

Es ist nichts leichter, als einen außerordentlich viel größeren Unterschied im Congestionszustande beider Hände herbeizuführen, als er, falls wirklich einer dadurch bewirkt wird, die Folge sein kann des Anspannens sämtlicher Muskeln des einen Armes in meinem Versuch. Man braucht dazu bekanntlich nur, während die eine Hand am Körper schlaff herunterhängt, die andere einige Zeit lang über den Kopf erhaben zu halten. Diese wird blutleer und leichenblaß, während jene von Blut strotzt und krebseroth erscheint. Ich habe mich aber nicht überzeugen können, daß die solchergestalt verschieden mit Blut angefüllten Hände, gleichzeitig in die Handgefäße getaucht, sich irgend anders elektromotorisch verhielten, wie sonst. Der im äußersten Maße verschiedene Congestionszustand zweier Hautstellen scheint auf ihr elektromotorisches Verhalten keinen merklichen Einfluß auszuüben. Um wie viel weniger kann also in Betracht kommen der geringe Unterschied der Art, der in meinem Versuch durch die Zusammenziehung vielleicht bewirkt wird.

Es gab noch eine andere Art, dieselbe Frage dem Versuch zu unterwerfen.

Nach dem Muster des PETIT-MOREL'schen Schraubentourniquet's liefs ich mir, von Herrn BIRK sen., ein für das erste Glied des Zeigefingers passendes Tourniquet machen, welches dazu bestimmt war, dieses Glied schnell und mit großer Kraft ohne Erschütterung zusammenzuschnüren. Die Schraube des Tourniquets lag, wie der Kasten eines Siegelringes, an der Rückenfläche des Fingers (S. Fig. 148. Taf. VI.). Das Band umfaßte seine Volarfläche. Die Schraube wurde mäsig an-

gezogen, so daß das Tourniquet, gleich einem Siegelringe, fest am Finger hing, und beide Zeigefinger in die Fingergefäße getaucht. War die Nadel zur Ruhe gekommen, so wurde das Tourniquet rasch und kräftig zugezogen. Sofort röthete sich der Finger und schwoll unterhalb des Bandes an. So kräftig wirkte übrigens die Schraube, daß die Spur des Bandes noch nach vielen Stunden sichtbar war. Nichtsdestoweniger blieb die Nadel des Multiplicators für den Nervenstrom während des Zuziehens des Tourniquets unbewegt, wenn nur der Finger dabei ruhig gehalten worden war. Einigemal gab sich eine äußerst schwache Wirkung zu erkennen in absteigender Richtung auf der Seite, wo das Tourniquet lag. Vielleicht ist dieselbe auf Ausdehnung der Haut des Fingers durch Spannung nach dem Tourniquet hin zu deuten (S. oben S. 261). Wie dem auch sei, man sieht abermals, daß eine ungleich bedeutendere Aenderung des Kreislaufes, als die welche bei der Zusammenziehung stattfinden kann, sich keiner elektromotorischen Wirkung fähig erweist.

Dies ist aber noch nicht Alles. Sondern wenn nun das Tourniquet so fest zugezogen blieb als es irgend erträglich war, und es wurden die Muskeln desselben Armes angespannt, so trat sofort der gewöhnliche Strom in aufsteigender Richtung ein. Es ist aber wohl hinreichend klar, daß dies nicht die Folge sein konnte einer Veränderung des Hautkreislaufes des eingetauchten Fingers unterhalb des Tourniquets. Denn dieser Kreislauf konnte, eben wegen des Tourniquets, gar keine Veränderung mehr erfahren durch Ursachen, welche, wie die Zusammenziehung der Armmuskeln, oberhalb der umschnürten Stelle ihren Sitz hatten. Und auf alle Fälle war die durch das Tourniquet bewirkte Hyperämie der Haut bereits so bedeutend, daß, wenn wirklich durch das Tourniquet hindurch noch eine ähnliche Wirkung seitens der Muskeln gelangt wäre, diese zur Wirkung des Tourniquets doch nur einen verschwindenden Bruchtheil hinzutragen konnte.

In der beschriebenen Gestalt ist der Versuch von mir mit Herrn Stud. LINDNER angestellt worden, indem abwechselnd der Eine von uns das Tourniquet an dem Finger des Anderen zuzog. Allein schon ehe ich in Besitz des Tourniquets war, habe ich mit meinen Freunden den Herren G. KIRCHHOFF und A. FICK denselben Versuch in folgender Art ausgeführt, deren hier noch gedacht werden mag, da sie, obschon unvollkommener, vor der vorigen den Vorzug hat; in's Werk gesetzt werden zu können mit Hilfsmitteln, die in Jedermanns Händen sind.

Es wurde um das erste Glied des Zeigefingers der einen Hand ein vieldoppelter Ring aus Zwirnsfäden gelegt, durch den ein Knebel gesteckt war. Unter dem Knebel lag eine Kautchukplatte, um zu ver-

hüten, dafs beim Drehen des Knebels eine Hautfalte ergriffen und eingeklemmt würde. Obschon natürlich die Handhabung dieser Vorrichtung sehr viel schwieriger war als die des Tourniquets, und es insbesondere nicht leicht war, den Knebel umzudrehen ohne den zu knebelnden Finger dabei etwas zu bewegen, so war doch der Erfolg des Versuches im Wesentlichen ganz der nämliche wie mit dem Tourniquet. Beim Zudrehen des Knebels blieb die Nadel so gut wie unbewegt, und während er auf's äufserste zuge dreht gehalten wurde, konnte der Strom wegen des willkürlichen Tetanus wie gewöhnlich hervorgebracht werden.

Ich habe auch an den Herren KIRCHHOFF und FICK und an mir selber ein gewöhnliches PETIT-MOREL'sches Schraubentourniquet dem Oberarm angelegt, und die A. brachialis bis zum Verschwinden des Pulses an der A. radialis zusammengedrückt. Auch bei dieser Versuchsweise findet unzweifelhaft schon eine viel gröfsere Veränderung des Blutlaufes in den Haargefäfsen der Haut statt, als beim willkürlichen Tetanus, bei dem die A. radialis, so viel es das Zittern des Armes zu beurtheilen erlaubt, ruhig fortschlägt. Die Hautvenen unterhalb des Tourniquets schwellen an und ihre Klappen treten hervor. Doch blieb auch hier die Nadel während des Zuznürens unbewegt. Hingegen verliefs sie sofort den Nullpunkt im richtigen Sinne, als, bei zuzgeschnürtem Tourniquet, die Armmuskeln so gut es anging angespannt wurden.

Nach diesen Versuchen, wird man gestehen, ist die Congestionshypothese, gleich der von der vermehrten Thätigkeit der Schweifsdrüsen, als thatsächlich widerlegt zu betrachten. Ich weifs nicht, welche Hypothese der Art zur Verdächtigung meines Versuches nun noch übrig bleibt, die auch nur einen Schein von Berechtigung hätte. Ich kann nicht errathen, was Herr BECQUEREL nunmehr vorbringen wird, um nur nicht gezwungen zu sein, die verhasste Wahrheit zuzugeben. Ich könnte hier füglich diesen Kampf, der gleichsam zu einem Ossianischen mit Nebelgestalten wird, auf sich beruhen lassen. Indessen habe ich noch einige Betrachtungen und Thatsachen mitzutheilen, wodurch, wie ich glaube, in den Augen jedes Unbefangenen der Sieg vollends zu meinen Gunsten entschieden wird.

Ich hebe also zunächst nochmals ausdrücklich hervor, dafs es keine bekannte Veränderung der Haut giebt, welche man noch anrufen könnte, um die Ströme beim willkürlichen Tetanus dadurch zu erklären. Aber noch mehr, es ergeben sich, theils bereits aus dem Vorhergehenden, theils aus dem Folgenden, Bedingungen für die Natur dieser Veränderung, die es mehr als unwahrscheinlich, die es undenkbar scheinen lassen, dafs jemals eine solche Veränderung in Wirklichkeit aufgedeckt werde.

Diese Veränderung müßte im unmittelbaren Gefolge der Zusammenziehung, bei allen Menschen mit nie fehlender Regelmäßigkeit, und der mechanischen Leistung der Muskeln proportional, auftreten. Sie müßte die Zusammenziehung selber um etwas überdauern. Sie müßte die davon betroffene Hautstelle, z. B. die Hand, den Zeigefinger, den Fuß, den Ellenbogen, in angemessenem Grade negativ erscheinen lassen gegen eine nicht davon betroffene, z. B. die andere Hand, den anderen Zeigefinger, Fuß oder Ellenbogen, oder die Brust, u. d. m., damit der in den Gliedmaßen aufsteigende Strom zu Stande käme.

Obschon hierin nichts Unmögliches liegt, so verdient doch bemerkt zu werden, daß alle Veränderungen der elektromotorischen Beschaffenheit der Haut, auf die wir in Wirklichkeit geführt worden sind, vielmehr die Haut positiver, und nicht negativer erscheinen lassen. Die kalte oder warme Hautstelle verhält sich positiv gegen die bei natürlicher Temperatur verharrende (S. oben S. 208). Die ersteingetauchte Hautstelle verhält sich wenigstens in Kochsalzlösung und Brunnenwasser regelmäßig positiv gegen die jüngstbenetzte (S. oben S. 218). Die ausgedehnte Hautstelle verhält sich positiv gegen die nicht ausgedehnte (S. oben S. 264). Die verletzte Hautstelle verhält sich positiv gegen die nicht verletzte (S. oben S. 268). Endlich die schwitzende Hautstelle verhält sich positiv gegen die nicht schwitzende (S. oben S. 358).

Einzig die hypothetische Veränderung der Haut, die wir hier construiren, wie sie sein müßte, um die Ströme beim willkürlichen Tetanus dadurch zu erklären, einzig diese würde das Vorrecht haben, die Haut negativer, statt positiver erscheinen zu machen. Und sie müßte dies gleichmäßig in Zuleitungsflüssigkeiten der verschiedensten Art. Diese letztere Forderung klingt zwar theoretisch sehr bedenklich, hat indess thatsächlich hier wohl weniger zu bedeuten, da ja merkwürdigerweise auch die meisten der uns bekannt gewordenen wirklichen Hautströme ihre Richtung in den verschiedenartigsten Zuleitungsflüssigkeiten bewahren (S. oben S. 273). Ohnehin muß, wie ich sogleich beweisen werde, jene vorausgesetzte Veränderung nicht oder nicht bloß an der Oberfläche der Haut, sondern auch unter ihr in dem Papillarkörper ihren Sitz haben.

Ich habe es mich nämlich nicht verdriessen lassen, mir auch noch die thatsächliche Ueberzeugung davon zu verschaffen, daß die elektromotorische Wirkung beim willkürlichen Tetanus in gleicher Richtung fortbesteht, unter sonst gleichen Umständen aber an Stärke zunimmt, wenn die Oberhaut entfernt wird. So muß natürlich das Verhalten sein, wenn der Strom bei der Zusammenziehung von den Muskeln herührt, da alsdann der Widerstand der Oberhaut fortgeschafft wird (S. oben S. 304).

Ich begann damit, mir nur an den beiden Zeigefingern Stichwunden in der oben S. 272 beschriebenen Art beizubringen, und stellte den Versuch abwechselnd an mit blutenden Wunden und nachdem sie mit Klebäther verschlossen worden waren. Meine Absicht war, dabei zu beobachten, ob der Strom wegen der Zusammenziehung bei offenen Wunden stärker erscheinen würde als bei verklebten. Wäre dies mit Sicherheit der Fall gewesen, so hätte ich offenbar die Frage bereits durch diesen einfachen Versuch für erledigt halten dürfen. Allein obschon bei Gegenwart von Wunden von gleicher Beschaffenheit an zwei Hautstellen sich ein leidliches Gleichgewicht im Kreise herzustellen pflegt (S. oben S. 268), so fand ich doch diese Anordnung zu feineren Beobachtungen nicht geeignet, weil oft die Nadel auf keine Weise zur Ruhe zu bringen ist, sondern zwischen $\pm 20-40^\circ$ im Hin- und Herwandern begriffen bleibt. Es schien mir daher wohl, als ob die Wirkung des Tetanus bei offenen Wunden die bei verklebten stets um ein Merkliches übertraf. Indessen fand ich mich durch dies Ergebnifs noch nicht befriedigt.

Es blieb nun nichts übrig als folgender Versuchsplan. Es mußte der Strom von einer bestimmt umschriebenen Hautstelle zuerst im unverletzten Zustande abgeleitet werden. Dann mußte diese Hautstelle mittelst Blasenpflasters ihrer Oberhaut beraubt, und der Versuch unter übrigen gleichen Umständen wiederholt werden. Nach der Heilung mußte er zum dritten Mal an derselben Stelle vorgenommen werden, um die Ueberzeugung zu gewinnen, dafs die bei Gegenwart der Verletzung wahrgenommene Veränderung des Stromes auch wirklich der Verletzung zuzuschreiben war.

Die Hindernisse, die sich der Ausführung dieses Planes widersetzen, sind außerordentlich groß. An den Händen und Füßen können aus Gründen, die keiner Auseinandersetzung bedürfen, die Blasenpflasterwunden nicht gut angelegt werden. Die Elbogen sind auch keine bequeme Stelle, obschon ich später einmal mich noch dazu verstehen mußte, mir hier ein Blasenpflaster anzulegen (S. unten). So bleibt keine zum Eintauchen geschickte Hautstelle übrig, um den Versuch daran vorzunehmen, und wir finden uns auf die alte Schwierigkeit zurückgeworfen, wie alsdann die Ableitung mit Sicherheit zu bewerkstelligen sei, da, wie man sich erinnert, mit Bäuschen hier nun einmal nichts anzufangen ist (S. oben S. 222. 281).

Folgendermaßen ist es mir gelungen, diese Hindernisse zu besiegen. Als Hautstellen, von denen die Ableitung vorgenommen werden sollte, wählte ich die Rückenfläche der beiden Unterarme dicht oberhalb der Knöchel des Handgelenks.

Aus einer starken Platte geschwefelter Guttapercha verfertigte ich über einer hölzernen Form zwei an beiden Enden offene cylindrische Röhren von elliptischem Querschnitt. Die Länge jeder Röhre betrug 62^{mm}. Die große Axe der Ellipse des Querschnittes maß 33^{mm}, die kleine Axe 20^{mm}. Der untere Rand der Röhren war nicht scharf abgeschnitten, sondern, gleich dem hinteren Rande des Brustgefäßes (S. oben S. 234), in 11^{mm} Breite umgelegt, so daß er zu der als Kopf eines Hutes gedachten Röhre die Krämpe abgab (Fig. 149 A. Taf. VI.).

Diese Röhren wurden an der bezeichneten Stelle des Unterarmes mit ihrem unteren breiten Rande, oder ihrer Krämpe, so aufgesetzt, daß die große Axe ihres elliptischen Querschnittes der Länge des Armes nach verlief. Wie das nur mit drei Seitenwänden versehene parallelepipedische Brustgefäß im Verein mit der Brust ein vollständiges Gefäß bildete, worin eine Zuleitungsflüssigkeit die Brusthaut frei, als wäre sie eingetaucht, bespühlen konnte: so sollten hier die eines Bodens erman gelnden Handgelenkgefäße (so mögen die Röhren heißen) durch die Rückenfläche des Unterarmes gleichfalls ergänzt werden zu einem vollständigen Gefäße, das man mit der Flüssigkeit füllen könnte, um so den Strom von der den Grund des Gefäßes bildenden Hautstelle sicher, als wäre sie eingetaucht, abzuleiten.

Hier wie dort war das Schwierige die Art des Verschlusses. Um ihn zu erzielen, waren zunächst die Krämpfen eines jeden der beiden Handgelenkgefäße im knetbaren Zustande der bezeichneten Hautstelle an einem bestimmten Arm angedrückt worden und in dieser Lage erkalten gelassen. Sodann hatte ich eigenthümliche Binden, welche den Dienst des Gurtes beim Brustgefäß versahen, indem sie die mit Oel bestrichenen Krämpfen gegen die entsprechende Stelle des Unterarmes andrückten.

Die Binden bestanden aus einem länglich viereckigen Stücke doppelt gelegter starker Leinwand. Die beiden schmälere Seiten des länglich viereckten Stückes waren zu zwei Zipfeln ausgeschnitten. Denkt man sich zwei Fähnlein, wie sie an den Lanzen der Uhlanten befindlich sind, mit dem an den Schaft genagelten Ende zusammengenäht, so hat man eine deutliche Vorstellung von der allgemeinen Gestalt meiner Binden. An jeden der vier Zipfel war ein Band genäht. In der Mitte der Binden befand sich eine elliptische Oeffnung, die große Axe der Ellipse quer auf die Längsrichtung der Binde gestellt (Fig. 149 B. Taf. VI.).

Durch diese Oeffnung wurde der Kopf der hutförmigen Handgelenkgefäße gesteckt, wie der Kopf durch die Oeffnung in einem Chilenischen Poncho. Die Gefäße wurden dann mit ihren Krämpfen an der Rückenfläche des Armes in die richtige Lage gebracht, die Bänder an den vier Zipfeln an der Volarfläche zu zweien verschlungen, nach der

Rückenfläche fortgeführt und dort über den Krämpfen fest zugebunden. Es zeigte sich, daß die Gefäße auf diese Weise vollkommen dicht hielten unter dem Druck einer Flüssigkeitssäule, die sie bis an ihren oberen freien Rand erfüllte.

Der eigentliche Versuch begann nun damit, daß, nachdem mir von einem Gehülften (Herrn LINDNER) die Handgelenkgefäße angelegt worden waren, ich den Stab der in Fig. 147 Taf. V abgebildeten Vorrichtung mit den Händen ergriff, als wollte ich den Strom beim willkürlichen Tetanus in der gewöhnlichen Art, mit den Fingern in den Fingergefäßen, darstellen. Dabei kann man leicht den unteren Theil der Rückenfläche des Unterarmes rein nach aufwärts kehren und nahe waagrecht halten, so daß die darauf befindlichen Handgelenkgefäße mit ihrer Oeffnung nach oben senkrecht zu stehen kommen. Die Handgelenkgefäße wurden mit Kochsalzlösung gefüllt, die aber diesmal nicht gesättigt war, sondern zu gleichen Theilen aus gesättigter Lösung und Brunnenwasser bestand. Der Grund davon wird sofort einleuchten. In der Nähe der Handgelenkgefäße waren die gewöhnlichen Zuleitungsgefäße passend aufgestellt, und wurden mit jenen in hergebrachter Weise leitend verbunden durch zweimal rechtwinklig gebogene heberartige Röhren voll gesättigter Kochsalzlösung, die an beiden Enden durch Fließpapierstopfen verschlossen waren, jedoch nicht auf den Grund der Handgelenkgefäße reichten. Endlich die Zuleitungsgefäße hingen mit dem Multiplicator für den Nervenstrom zusammen.

Als ich nun den einen oder den anderen Arm willkürlich tetanisirte, wobei der Stab der Vorrichtung Fig. 147 dazu da war, um dem Verschütten der Zuleitungsflüssigkeit durch Bewegung der Hände vorzubeugen, entstand ein kaum wahrnehmbarer Ausschlag in aufsteigender Richtung im tetanisirten Arm. Mit gesättigter Kochsalzlösung in den Handgelenkgefäßen betrug er 2—3°. Diese große Schwäche der Wirkung erklärt sich theils aus der geringen Ausdehnung der benetzten Hautstelle und der geringen Leitungsfähigkeit der Haut der Rückenfläche des Armes im Vergleich z. B. zu der der Handsohle; theils mag sie ihren Grund haben in der in Bezug auf die Anordnung der Muskeln unvortheilhaften Lage der Ableitungsstellen.

Nachdem dergestalt die elektromotorische Wirkung des Tetanus bei dieser Art der Ableitung des Stromes und bei unverletzter Haut erforscht war, legte ich mir am Abend desselben Tages an den Hautstellen, welche den Grund der Handgelenkgefäße bildeten, mit Oel eingeriebene Blasenpflaster (*Emplastrum vesicatorium ordinarium Ph. Bor.*). Die Blasenpflaster waren elliptisch, wie der Querschnitt der Handgelenkgefäße. Ihre große Axe maß 22, ihre kleine 13^{mm}. Sie kamen natürlich so

zu liegen, daß ihre Axen und Mittelpunkte zusammenfielen mit denen der elliptischen Hautstellen, welche den Grund der Handgelenkgefäße bildeten. Es versteht sich von selbst, daß diese Stellen und ihre Umgebung zuvor rasirt worden waren. Rings um die Blasenpflaster wurde die Haut sorgfältig und in einer dicken Schicht mit Klebäther bestrichen, damit nicht, wenn die Pflaster sich verschöben, die Blasen außerhalb des passenden Bezirkes sich hinauserstreckten.

Am anderen Morgen waren zwei gute Blasen gebildet. Sie wurden geöffnet und die Oberhaut von denselben entfernt. Abermals ergriff ich den Stab der Vorrichtung Fig. 147. Taf. V mit den Händen, als wollte ich den Versuch in der gewöhnlichen Form anstellen. Die Handgelenkgefäße wurden aufgesetzt, so daß sich die Wunden in deren Grunde befanden, festgebunden, und mit der verdünnteren Kochsalzlösung gefüllt. Es schien mir erlaubt, die Unannehmlichkeit, die dieser Theil des Versuches für mich mit sich führte, dadurch in etwas zu vermindern, daß ich nicht völlig gesättigte Lösung mit dem entblößten Papillarkörper in Berührung brachte. Man begreift nun auch leicht, weshalb ich es vermied, die heberförmigen Röhren, welche die Handgelenkgefäße mit den Zuleitungsgefäßen in Verbindung setzten, auf den Grund der ersteren Gefäße reichen zu lassen. Ihr Ende würde hier auf der Wundfläche geruht und heftige Schmerzen verursacht haben.

So war nun endlich derselbe Kreis als am gestrigen Tage mit dem einzigen Unterschiede hergestellt, daß am Grunde der beiden Handgelenkgefäße die Zuleitungsflüssigkeit diesmal zwar eine etwas kleinere, dafür aber von der Oberhaut entblößte Stelle der Rückenfläche des Unterarmes bespühlte. Die Wunden erwiesen sich sehr schön gleichartig, so daß die Nadel sich nahe dem Nullpunkt einstellte. Kaum aber spannte ich die Muskeln des einen Armes an, so ging sie in aufsteigendem Sinne bis auf 65° . Dasselbe war der Fall mit dem anderen Arm. Jeder Arm wurde dreimal willkürlich tetanisirt und alle dreimal mit demselben Erfolge.

Außer meinem Gehülfen, Herrn LINDNER, war mein Freund Herr Dr. G. WERTHER Zeuge dieses Versuches. Nachdem er vollendet war, wurde an den Wunden noch ein Theil der oben S. 269. 275 beschriebenen Beobachtungen angestellt. Nach der theils mechanischen, theils chemischen Mißhandlung, die die Wunden bei diesen verschiedenen Versuchen erfahren hatten, heilten sie nur schwer. Es stiefs sich ein Brandschorf ab und erst nach ungefähr acht Tagen gelang es mir sie trocken zu legen. Als sie, nach mehreren Wochen, vollkommen geheilt waren, so daß nur noch rothe Flecke ihre Stätte bezeichneten, wiederholte ich den Versuch und beobachtete, wie man sich leicht

denken kann, denselben Erfolg wie das erste Mal vor Anlegung der Wunden.

Hier ist der Ort zu berichten, daß ich, durch v. HUMBOLDT's berühmte Versuche¹ auf diesen Kunstgriff aufmerksam gemacht, mir bereits früher² an denselben Stellen Blasenpflasterwunden angelegt hatte, in der Hoffnung, mit Hilfe derselben secundäre Zuckung des stromprüfenden Froschschenkels von den menschlichen Gliedmaßen zu erlangen. Zuerst hatte ich nur an dem einen Arm eine Wunde und brachte den stromprüfenden Schenkel zwischen Zunge und Wunde an, d. h. ich berührte den Nerven des Schenkels mit der Zunge, während der Fuß auf der Wunde lag, und umgekehrt, und strengte dann meine Armmuskeln schnell und kräftig an. Nie jedoch erfolgte eine Zuckung, die als secundäre Zuckung auszulegen gewesen wäre. In der Meinung, daß vielleicht zwischen Handgelenk und Zunge kein kräftiger Muskelstrom vorhanden sei, brachte ich jetzt auch noch am anderen Arm eine Wunde an der entsprechenden Stelle an. Die erste Wunde war währenddem mit Unguentum Sabinæ eiternd erhalten (S. oben S. 269). Allein auch zwischen beiden Wunden wollte keine secundäre Zuckung erscheinen.

Da ich damals noch nicht im Besitz der Handgelenkgefäße war, mit den Bäuschen nicht zum Ziele kam und auch die Versuche mit den Händen in den Handgefäßen noch nicht angestellt hatte, so konnte ich nicht wissen, ob das Fehlschlagen der secundären Zuckung in den obigen Versuchen nicht darauf beruhte, daß zwischen den zur Ableitung gewählten Stellen an der Rückenfläche des Unterarmes oberhalb der Knöchel beim Anspannen eines Armes gar keine so kräftige elektromotorische Wirkung stattfindet, wie z. B. zwischen den Fingern. Es war dies zwar nicht wahrscheinlich; es lag mir aber so viel daran, die secundäre Zuckung vom unversehrten lebenden menschlichen Körper aus zu erlangen, daß ich kein Mittel dazu unversucht lassen mochte, welches auch nur die mindeste Aussicht auf Erfolg bot. Ein solches Mittel aber lag hier allerdings nahe. Da ich beim Gebrauch des stromprüfenden Schenkels in der Wahl der Hautstellen, von denen ich den Strom ab-

¹ GREN's Neues Journal der Physik. Bd. II. 1795. S. 119;* — Bd. III. 1796. S. 166;* — Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfasern u. s. w. Posen und Berlin 1799. Bd. I. S. 191. 197. 203. 206. 321. 323.* — S. auch PHILIPP MICHAELIS, in GREN's Neuem Journal der Physik. Bd. IV. 1797. S. 12. 21.*

² Im März 1849. Die Herren v. HUMBOLDT, JOH. MÜLLER und HELMHOLTZ sahen am 15. Mai d. Jahres (S. oben S. 309) noch die Narben an meinen Armen. Ich führe dies nur an, um der Meinung vorzubeugen, als sei ich erst durch die Versuche DESPRETZ', MATTEUCCI's, ZANTEDESCHI's und CIMA's (S. oben S. 310. 314. 318. 320) auf den Gedanken gebracht worden, den Strom beim willkürlichen Tetanus auch am stromprüfenden Schenkel nachzuweisen.

zuleiten gedachte, nicht mehr durch die Rücksicht beschränkt war, ob diese Hautstellen eintauchbar seien oder nicht, so konnte ich sie so wählen, daß ich zwischen ihnen bei der Zusammenziehung jedenfalls den stärksten Strom erhielt, der bei dieser Versuchsweise überhaupt zu erhalten ist. Dazu war nur nöthig, die eine Wunde über dem natürlichen Längsschnitt einer kräftigen Muskelmasse, die andere über dem natürlichen Querschnitt derselben oder einer benachbarten Muskelmasse anzulegen. Alsdann mußte ich bei der Zusammenziehung der Muskelmassen in einem zwischen beiden Wunden angebrachten Leiter die Wirkung der negativen Schwankung in solchem Mafse erhalten, wie die Nebenschließung durch die Lederhaut und die übrigen angrenzenden Gebilde es nur irgend gestattete. (Vergl. oben S. 303 ff.)

Ich setzte diesen Versuchsplan in's Werk, indem ich an einem und demselben Arm ein Blasenpflaster an der Rückenfläche des Unterarmes über dem Bauch des Supinator longus, Extensor carpi radialis longus und brevis, und ein zweites an der Rückenfläche des Oberarmes, oberhalb des Olekranon über dem von diesem Fortsatz emporsteigenden Sehnen Spiegel des Triceps brachii anbrachte, unter dem der untere natürliche Querschnitt dieses Muskels liegt. Der Erfolg war indess nichtig. Es gelang mir nicht durch plötzliches Anspannen meiner Armmuskeln den stromprüfenden Schenkel zum Zucken zu bringen, weder als der Fuß die eine, der Nerv die andere Wunde berührte, noch als ein in der Längsmittlebene des Beckens gehälftetes ächtes GALVANI'sches Präparat (S. oben Bd. I. S. 467) die beiden Wunden mit seinen Füßen berührte; noch endlich als ich von den Wunden aus mit gesättigter Kochsalzlösung getränkte und mit Eiweißshäutchen bekleidete Bäusche einander so nahe brachte, daß ich den Zwischenraum zwischen denselben mit dem Nerven des stromprüfenden Schenkels überbrücken konnte. Leider habe ich damals versäumt, auch noch den Kunstgriff anzuwenden, den wir oben S. 307 gebraucht haben, um leichter Zuckung zu erlangen für den Fall, daß der Strom bei der Zusammenziehung, wie es den Anschein hat, ein mehr stetiger sein sollte.

Ebensowenig wie bei der Zusammenziehung fand übrigens Zuckung statt, wenn bei ruhenden Muskeln die Kette in den obigen Fällen rasch geschlossen und geöffnet wurde. Dies erklärt sich aus der Schwächung des Muskelstromes durch die parelektronomische Schicht und die Nebenschließung durch die Lederhaut.

Möglicherweise war es ein Fehler, den ich bei diesen Versuchen beging, daß die Wunden über Längs- und Querschnitt zweier verschiedenen Muskelgruppen angelegt waren. Unter der Voraussetzung, daß die Wechsel von An- und Abspannung, aus denen sich der Tetanus zu-

sammensetzt, in allen Muskeln eines Gliedmaßes zusammenfallen, würde gegen jenes Verfahren allerdings nichts einzuwenden sein. Diese Voraussetzung schien hier um so mehr gerechtfertigt, als die sämmtlichen vier Muskeln von einem und demselben Nerven (dem N. radialis) versorgt werden. Nichtsdestoweniger ist oben S. 306 gezeigt worden, daß beim willkürlichen Tetanus am lebenden Körper auf jene Annahme nicht mehr zu fußen ist, und es muß somit fraglich bleiben, ob nicht in diesem Umstande ein Grund zum Mißlingen meiner Bestrebungen gelegen habe.

Uebrigens ist auch noch nicht ausgemacht, daß der Strom in dem zwischen den beiden letztbezeichneten Hautstellen angebrachten Nerven des stromprüfenden Schenkels den zwischen den Handgelenkwunden wirklich sehr an Stärke übertraf. Was diesen anlangt, so ist nach dem Ergebniss des jetzt am Multiplicator mit Hülfe der Handgelenkgefäße gelungenen Versuches, und mit Hinblick auf die oben S. 305 gegebene Auseinandersetzung, nunmehr wohl deutlich, daß auch er nicht die hinreichende absolute Stärke besaß, um Zuckung zu bewirken, so wenig wie der durch Zusammenziehung bewirkte Strom bei irgend einer der von uns versuchten Anordnungen.¹

Auf die absolute Stärke dieses Stromes kam es uns hier übrigens im Wesentlichen gar nicht an. Es kam uns an darauf, durch die Beobachtung die voraussichtliche Verstärkung des Stromes durch Entfernung der Oberhaut zu bestätigen, und dies ist uns auf das Vollständigste gelungen (Vergl. oben S. 304). Der Strom beim willkürlichen Tetanus hat also auch diese Probe überstanden, und der hypothetischen Veränderung der elektromotorischen Eigenschaften der Haut, wodurch Einige diesen Strom erklären möchten, wird somit, erwähntermassen (S. oben S. 363), die neue Bedingung vorgeschrieben, eine solche zu sein, welche nicht oder nicht bloß an der Oberfläche der Haut, sondern auch unter ihr in dem Papillarkörper ihren Sitz habe.

Auch diese Bedingung läßt sich noch ertragen. Sie schließt noch keine Unmöglichkeit, noch keinen Widerspruch in sich ein. Etwas anderes ist es mit den beiden Punkten, die ich nun noch darzulegen habe.

Der erste Punkt ist der, daß die Veränderung der Haut, von der

¹ Ich darf die Beschreibung meiner Versuche an Blasenpflasterwunden nicht verlassen, ohne zu erwähnen, daß ich mehrmals vergeblich versucht habe, v. HUMBOLDT's merkwürdige Beobachtung über die durch Galvanisiren der Wunden bewirkte bösartige Umwandlung ihrer Feuchtigkeit zu erneuern. Man sehe an den oben S. 368 angegebenen Stellen. Sollte diese Beobachtung vielleicht darin ihre Erklärung finden, daß die Lymphe der Blasenpflasterwunden Cantharidin enthält? Sie riecht wenigstens nach Canthariden (vergl. MARGUERON, Médecine éclairée par les Sciences exactes. t. IV. No. 3; — HUFELAND und GOETTLING, Aufklärungen der Arzneiwissenschaft u. s. w. Bd. I. 1793. S. 59. 60*).

die Rede ist, durch nichts anderes vermittelt sein könnte, als durch die Nerven. Dies geht mit Bestimmtheit hervor aus dem Erfolg des Versuches mit dem Tourniquet in seinen verschiedenen Gestalten (S. oben S. 360 ff.). Ich frage nun erstlich, welche Veränderung die Nerven in der Haut, den Papillarkörper mit eingerechnet, im Nu hervorbringen sollen, wodurch die Haut negativer würde im Verhältniß der mechanischen Leistung der Muskeln, die gleichzeitig angespannt werden. Ich frage für's zweite ob es irgend denkbar ist, daß eine solche Veränderung in der Haut des Fusses durch die Nerven vermittelt werde, in Folge der Anstrengung allein der Gruppe der Unterschenkelstrecker, mit der der N. ischiadicus gar nichts zu schaffen hat, dessen Zweige grosentheils die Haut des Fusses versehen, während Aeste der N. cruralis sich in jenen Muskeln verbreiten (S. oben S. 290). Wenn mich nicht Alles täuscht, sind durch diese Fragen die Vertheidiger der hypothetischen Veränderung, die Gegner meiner Lehre, ad absurdum geführt.

Aber nicht genug. Bei der oben S. 291 beschriebenen Form des Versuches, bei der der Strom vom Zeigefinger und Elbogen desselben Armes abgeleitet wird und sämtliche Muskeln des Armes angespannt werden, müßte ohne Zweifel auch die Haut des Elbogens die hypothetische Veränderung erleiden. Denn wenn man den Versuch mit beiden Elbogen in beiden Handgefäßen oder mit dem einen Elbogen in dem einen Handgefäß einerseits, andererseits dem Brustgefäß macht, wobei auch sämtliche Muskeln des Armes angespannt werden, entsteht in dem Oberarm des angespannten Armes ein aufsteigender Strom, d. h. der Elbogen dieses Armes ist negativer geworden (S. oben S. 290). In dem eben erwähnten Versuch, wo sich nur der Unterarm im Kreise befindet, ist der Strom bei der Zusammenziehung stets ansteigend; es findet stets eine Verstärkung des auch bei ruhenden Muskeln herrschenden starken Stromes von der Hand im Arm zum Elbogen statt. Will man also die in Rede stehende Hypothese durchführen, so sieht man sich gezwungen, zu dem Heer von Annahmen, welche man schon hat machen müssen, auch noch die hinzuzufügen, daß die Hautstellen durch die Veränderung, welche den Tetanus begleiten soll, umsomehr negativer werden, je mehr sie es schon sind im Verhältniß zu einander. Die Haut des Fingers, die bereits stark negativ ist gegen die des Elbogens, würde in Folge der Zusammenziehung mehr als der Elbogen an Negativität zunehmen, und daher der aufsteigende Strom. Anders kommt man nicht durch. Denn denkt man sich, daß die verschiedenen Stellen des Armes alle in gleichem Mafse jene Veränderung erfahren, so kommt kein Strom zu Stande; und denkt man sich, daß je positiver eine Hautstelle ist, um so stärker negativ werde sie durch die Zusammen-

ziehung, so erhält man einen absteigenden Strom statt des aufsteigenden, dessen man bedarf.

Also im geraden Verhältnifs zu ihrer Negativität sollen die verschiedenen Hautstellen negativer werden in Folge des willkürlichen Tetanus benachbarter Muskeln. Dieser Satz läßt eine unmittelbare experimentelle Prüfung zu. Außer Elbogen und Finger giebt es noch andere Hautstellen, zwischen denen ein starker beständiger Strom erhalten werden kann. Wenn man in der Umgebung dieser Hautstellen die Zusammenziehung von Muskeln vornähme, so müßte das Ergebnifs stets Verstärkung dieses Stromes sein.

Wenn z. B. der Strom zwischen Hand und Fuß aufsteigend ist im Bein (S. oben S. 236), folglich sich die Hand positiv verhält gegen den Fuß, und man spannt Arm und Bein zugleich an, so müßte, nach der obigen Schlußfolgerung, der Fuß mehr an Negativität zunehmen als die Hand, d. h. es müßte ein Ausschlag im Sinne des schon herrschenden aufsteigenden Stromes geschehen. Wäre hingegen der Strom ursprünglich absteigend, so müßte das Umgekehrte der Fall sein, der Ausschlag bei der Zusammenziehung müßte alsdann stets absteigend sein. Es müßte also die Richtung dieses Ausschlages statt durch ein beständiges Uebergewicht des Armes entweder oder des Beines bestimmt und somit selber beständig, vielmehr abhängig sein von der unbeständigen Richtung des Stromes zwischen Hand und Fuß, und zwar stets damit zusammenfallend.

Beim Anstellen des Versuches fand ich es ausnehmend schwer, ja kaum thunlich, Arm und Bein in ihrer ganzen Ausdehnung gleichzeitig mit gleicher Kraft anzuspannen. Demgemäß ging die Nadel aus der Ruhelage, in der sie durch den gerade herrschenden Strom gehalten wurde, gleichviel ob dieser auf- oder absteigend war, bald vor- bald rückwärts, bis zuletzt der Arm oder das Bein den Sieg davontrug, und sie im Sinne des stärker wirksamen Gliedes entschieden abgelenkt wurde. Auf keinen Fall hatte die Richtung, in der dies schließlichs geschah, irgend etwas zu schaffen mit der Richtung des herrschenden Stromes zwischen Hand und Fuß. Wenn eine vorwiegende Richtung jener Ablenkung unterschieden werden konnte, so war vielmehr das zu bemerken, daß der Arm, unstreitig wegen seiner größeren Uebung, meistens zuletzt das Uebergewicht erhielt.

Es gab noch eine andere Gelegenheit diesen Versuch auszuführen, bei der die Schwierigkeit fortfällt, die bei der beschriebenen Gestalt desselben aus der ungleichen Beherrschung von Arm und Bein wenigstens bei mir erwächst. Durch die beiden Hände selber nämlich wird diese Gelegenheit geboten, deren Rücken, wie man sich erinnert, sich stark positiv verhält gegen ihre Sohle.

Ich brauche nicht zu sagen, was sich von selbst versteht, daß man den Strom beim willkürlichen Tetanus der beiden Arme ebensogut bei Ableitung des Stromes vom Rücken allein, als bei Ableitung von der Handsohle allein wahrnehmen kann. Ich habe diesen Versuch an- gestellt, theils indem ich den Spiegel der Zuleitungsflüssigkeiten nur mit den genannten Hautstellen berührte, theils auch indem ich eine oder beide Handsohlen mit Klebäther überzog. Der Strom bei der Zusammenziehung erscheint in der richtigen Richtung, trotz der so sehr ver- schiedenen elektromotorischen Eigenschaften der beiden Hautstellen, ge- rade wie er dies von einer Wundfläche aus thut. Er erscheint schwächer namentlich vom Handrücken aus, einmal wegen vergrößerten Wider- standes, für's zweite wegen der Unbequemlichkeit, die der Versuch unter allen Umständen mit sich bringt, gleichviel wie man es bewirke, daß die Ableitung nur von Rücken oder nur von Sohle geschieht, ob durch Bestreichen der auszuschließenden Fläche mit Klebäther oder durch die besondere Haltung der Hände in den Zuleitungsgefäßen.

Wie dem auch sei, es ist nach der obigen Schlußfolge klar, daß wenn man die Zuleitungsflüssigkeit einerseits mit dem Handrücken, an- dererseits mit der Handsohle berührt, so daß man einen beständigen Strom im Körper von Handsohle zu Handrücken hat, und man spannt die Muskeln beider Arme an, so müßte stets ein Ausschlag in dem Sinne des herrschenden Stromes erfolgen. Dies ist jedoch nicht der Fall. Der Ausschlag ist vielmehr bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gerichtet, gerade als ob man den Versuch in seiner gewöhnlichen Gestalt anstellte (S. oben S. 286. 288).

(XII) Schlußbemerkungen über die Ströme beim willkürlichen Tetanus.

Ich glaube, daß nach diesen Versuchen und Betrachtungen jeder Unbefangene mir Recht geben wird, wenn ich hier aufhöre, Gründe gegen die Ansicht zu häufen, wonach die Ströme bei der Zusammen- ziehung auf einer Veränderung der elektromotorischen Beschaffenheit der Haut beruhen sollen.

Ich habe gezeigt, daß diese Ansicht jedes Grundes entbehrt, daß sie Unmöglichkeiten in sich schließt und auf Widersprüche führt. Ihr gegenüber steht eine Erklärung des Thatbestandes, so einfach, so natü- rlich, so nach allen Seiten befriedigend, daß es wirklich nicht zu begreifen sein würde, wie man nach einer anderen hat suchen können, wenn nicht zum Verständniß dieser Erklärung einige Vertrautheit mit dem Gang und den Ergebnissen dieser Untersuchungen gehörte.

Mir, der ich ganz natürlich im Besitz dieser Kenntnisse war, wie

denjenigen deutschen Forschern, die sie sich nach mir angeeignet haben, ist diese Ansicht stets als die richtige erschienen. Vollends ist dies nun der Fall, wo sie Stich gehalten hat vor Proben der verschiedensten Art, wo jede andere Deutung von ihr aus dem Felde geschlagen ist. Wird jetzt auch die Gegenpartei sich befriedigt erklären? Wird man aufhören, hypothetische Ursachen bei den Haaren herbeizuziehen, wo ausreichende Gründe bereits wirklich vorhanden sind? Ich weiß es nicht. Welches aber auch der Erfolg sei, ich fühle um so mehr das Recht, ehe ich die Waffen wieder aufnehme, hier erst erneute wohl-begründete Angriffe abzuwarten, als ich selber, wie hier beiläufig gesagt sein mag, dieser ganzen Angelegenheit niemals eine solche Wichtigkeit beigelegt habe, wie ein großer Theil der wissenschaftlichen Welt es gethan hat. Ich habe in dem in Rede stehenden Versuch nie etwas anderes gesehen, und sehe auch zur Stunde darin noch nichts anderes, als einen immerhin pikanten Folgesatz des Grundversuches, den ich bereits sechs Jahre früher in meinem *vorläufigen Abriss* beschrieb, der negativen Schwankung nämlich des Stromes eines auf elektrischem Wege tetanisirten Froschmuskels. Wäre der Versuch am Frosch gehörig bekannt, verstanden und gewürdigt worden, der am Menschen hätte schwerlich das Aufsehen, aber auch schwerlich den Widerspruch erweckt, wie es jetzt der Fall gewesen ist. Von meinem Standpunkt aus hat der so viel besprochene Versuch vor jenem unbeachtet geblieben eben so wenig voraus, als, nach JOH. MÜLLER's treffender Bemerkung, URE's galvanische Versuche an Hingerichteten vor dem gewöhnlichsten Froschschenkelversuch.¹ Sein wissenschaftlicher Werth ist daher in meinen Augen verhältnißmäßig sehr gering. Er beweist nur die Wirklichkeit von etwas, was sich ohnehin von selbst versteht. Die Art, wie der Strom darin zu Stande kommt, ist viel zu verwickelt, als daß er als Grundversuch dieser Klasse von Erscheinungen gelten, oder zur weiteren Fortbildung unserer Kenntniß derselben dienen könnte. Daß die Zusammenziehung darin willkürlich geschieht, kann nur denen ein Vorzug scheinen, die, mit der Physik der Nerven minder vertraut, nicht bedenken, daß ein willkürlich oder auf irgend eine andere Art tetanisirter Nerv sich in einem beliebigen Punkte unterhalb der Stelle, wo die Erregung geschah, in nichts von einander unterscheiden.

Folgendes ist also nunmehr die Vorstellungsweise, bei der wir hinsichtlich der Ströme durch willkürlichen Tetanus der menschlichen Gliedmaßen stehen bleiben. Es sind zwei verschiedene Fälle zu zer-

¹ Handbuch der Physiologie u. s. w. Bd. I. 3. Auflage. 1838. S. 642.*

gliedern, der in welchem die Ableitung der Ströme von asymmetrischen und der in welchem sie von symmetrischen Hautstellen geschieht.

Im ersten Falle ist fast stets ein starker Hautstrom vorhanden und widersetzt sich der Wahrnehmung des Stromes der ruhenden Muskeln in Gemeinschaft mit dem Widerstande der Oberhaut, der Nebenschließung durch die Lederhaut, endlich der Schwächung der elektromotorischen Kraft durch die parelektronomische Schicht. In dem oben beschriebenen Versuch, in welchem ich mit dem Nerven des stromprüfenden Schenkels den Kreis zweier, über Längs- und Querschnitt benachbarter Muskelgruppen angelegten Wunden schliessen und öffnen konnte, ohne dafs Zuckung erfolgte, waren die beiden ersten Hindernisse für die Wahrnehmung des Stromes der ruhenden Muskeln zwar beseitigt, aber die beiden letzten reichten noch hin, um sie zu vereiteln. Beim willkürlichen Tetanus werden die Muskelmassen, wegen der parelektronomischen Schicht, im negativen Sinne stärker wirksam als sie während der Ruhe positiv wirksam waren. Diese im Augenblick der Zusammenziehung zeitweise auftretende Wirkung ist es überdies leicht von den währenddem beständig bleibenden Hautströmen zu unterscheiden, und so kommen also die Ströme beim willkürlichen Tetanus zwischen asymmetrischen Hautstellen zu Stande. Sie sind aufsteigend von Hand und Fufs zum Rumpf, aufsteigend in Oberarm, Unterarm, Oberschenkel und Unterschenkel. Es ist daraus zu schliessen, dafs bei ruhenden Muskeln der Strom in allen diesen Gliedern und Gliederabtheilungen die umgekehrte Richtung hat, d. h. absteigend ist.

Was den Fall betrifft, wo die Ableitung der Ströme von symmetrischen Körperstellen geschieht, so fallen dabei die starken Hautströme fort, die bei der vorigen Klasse von Anordnungen ein wesentliches Hindernifs abgaben für die Wahrnehmung des Stromes der ruhenden Muskeln. Allein damit ist begreiflich nichts gewonnen für diese Wahrnehmung, weil nun die Muskelströme auf beiden Seiten sich das Gleichgewicht halten. Beim willkürlichen Tetanus der Muskeln auf der einen Seite kehrt sich der Strom auf dieser Seite, wie vorhin gesagt wurde, um, und wird stärker in negativer Richtung, als er in positiver war. Anstatt also ferner dem Strom der anderen Seite das Gleichgewicht zu halten, fügt er sich ihm hinzu, und es entsteht ein Ausschlag im Sinne des Stromes der nicht tetanisirten Muskeln. So verwickelt ist die Entstehungsweise dieses Ausschlages. Weder rührt er allein her von einer Abnahme des Stromes des tetanisirten Gliedmafses, wie *POUILLET* sich dachte (S. oben S. 337); noch entsteht erst im Augenblick der Zusammenziehung ein Strom in diesem Gliedmafs, wie ich selber es wohl darzustellen pflegte, so lange es sich eben nur darum handelte, den

nackten Thatbestand des Versuches zu veranschaulichen¹; sondern diese beiden Vorgänge finden gleichzeitig statt, indem ein in den ruhenden Muskeln vorhandener Strom sich beim Tetanus umkehrt, und in umgekehrter Richtung zu grösserer Stärke anwächst als ihm während der Ruhe im ursprünglichen Sinne zukam.

Oben S. 260 ist über den Eigenstrom zwischen symmetrischen Hautstellen unter anderen die Vermuthung geäußert worden, er möge der Ausdruck sein einer ungleichen Ausbildung der parelektronomischen Schicht an den Muskeln der beiden Seiten. In Bezug auf diese Vermuthung ist jetzt noch zu bemerken, daß ihre Zulässigkeit davon abhängt, ob sich im Laufe fortgesetzter Versuche mit Entschiedenheit eine stets gleiche Richtung des Eigenstromes zwischen beliebigen Fingern beider Hände und zwischen beiden Händen herausstellt (S. oben S. 205). Denn der Strom bei der Zusammenziehung behält zwischen beliebigen Fingern und den Händen stets einerlei Richtung. Es ist aber gleichgültig ob ein Arm über den anderen in Folge der negativen Schwankung, oder in Folge einer höheren Ausbildung der parelektronomischen Schicht an den Muskeln dieses letzteren, den Sieg davontrage. Es kann daher wohl der durch verschiedene Ausbildung der parelektronomischen Schicht bedingte Unterschied der Ströme der ruhenden Muskeln beider Arme sein Zeichen wechseln, d. h. bald der eine Arm, bald der andere das Uebergewicht haben, aber in der Richtung, in der dieser Unterschied einmal erscheint, muß er sich auch zwischen beliebigen Fingern der beiden Hände und diesen selber zeigen. Sollte sich diese Ansicht von dem Wesen und der Ursache des Eigenstromes bei fortgesetzten Forschungen wirklich bestätigen, so sieht man endlich, daß derselbe ganz übereinkommen würde mit dem Strome, den wir beim Eintauchen der beiden Füße eines rittlings angebrachten GALVANI'schen Präparates in die beiden Zuleitungsgefäße des Multiplicators am Anfang dieser Untersuchungen erhielten (S. oben Bd. I. S. 469) und erst viel später (S. oben S. 170) mit Hülfe unserer Kenntnifs der parelektronomischen Schicht zu erklären vermochten.

¹ Monatsberichte der Berliner Akademie. October 1848. S. 362; — Comptes rendus etc. 21 Mai 1849. t. XXVIII. p. 641.* (Vergl. oben S. 337 Anm.).

§. V.

Von den secundär-elektromotorischen Wirkungen der Muskeln und Nerven.

1. Einleitung.

Die elektromotorischen Erscheinungen der Nerven und Muskeln, um die es sich bisher handelte, lassen sich, wenn wir uns rein an das Thatsächliche halten, in zwei große Klassen eintheilen.

Die eine Klasse umfaßt diejenigen Erscheinungen, die ohne irgend einen äußeren Einfluß, durch eine den Geweben innewohnende Thätigkeit, hervorgebracht werden. Hierher gehören der Strom des ruhenden Muskels und Nerven, nebst den Veränderungen, welche beide Ströme theils beim Tetanisiren, theils in Folge allerhand verderblicher Einflüsse erleiden, gleichviel ob diese Veränderungen nur so lange anhalten, als der Einfluß, der sie hervorrief, oder ob sie denselben mehr oder weniger überdauern. Denn die Veränderungen der elektromotorischen Thätigkeit sind in diesen Fällen nicht unmittelbare Wirkungen der äußeren Einflüsse, sondern diese treffen die Gewebe überhaupt, verändern deren Zustand und mit ihm die elektromotorische Thätigkeit, daher denn auch Einflüsse der verschiedensten Art letztere in gleicher Weise bedingen, wofern sie auf die Gewebe einerlei Wirkung ausüben, z. B. die mannigfaltigen Reize, wodurch wir Tetanus und gleichzeitig negative Schwankung des Muskel- und Nervenstromes erzeugt haben.

Die andere Klasse elektromotorischer Erscheinungen wird gebildet durch den von uns sogenannten elektrotonischen Zustand der Nerven, der sein Entsprechendes bei den Muskeln noch nicht gefunden hat. Unter dem Einfluß eines elektrischen Stromes wirken während der Dauer desselben die Nerven in bestimmter Art elektromotorisch. Der fremde elektrische Strom erscheint als die unmittelbare Ursache des im Nerven auftretenden elektrischen Vorganges und kann in seiner Wirksamkeit durch kein anderes Agens ersetzt werden.

Jetzt wartet unser noch eine dritte Klasse elektromotorischer Phänomene der Nerven und Muskeln. Sie gleicht der vorigen darin, daß ein fremder elektrischer Strom zunächst als unmittelbare Ursache der an den beiden Geweben wahrnehmbaren elektromotorischen Leistungen erscheint. Sie unterscheidet sich aber von derselben darin, daß diesmal die elektrische Thätigkeit der Nerven und Muskeln erst bemerkbar wird, nachdem der fremde Strom vorüber ist, und daß sie ihren Sitz zunächst ausschließlich in der unmittelbar betroffenen Strecke hat. Es

wird sich uns, im Lauf der Untersuchung, allerdings die Frage aufdrängen, ob nicht diese Erscheinungen mit denen des elektrotonischen Zustandes wesentlich einerlei seien, wie auch schon die in diesem Zustand sich äussernden, beim ersten Blick scheinbar neuen elektromotorischen Kräfte mit höchster Wahrscheinlichkeit als einerlei mit denen bezeichnet worden sind, die die Erscheinung des Stromes des ruhenden Nerven bedingen. Einstweilen jedoch wird es rathsam sein, die neuen Erscheinungen, frei von irgend welcher Voraussetzung, so zu untersuchen und zu zergliedern, als ob es sich um eine neue Art Ladung in einer polarisirbaren Reihe von Leitern handelte, eine Klasse von Wirkungen, womit die in Rede stehenden Erscheinungen in der That zunächst die auffallendste Aehnlichkeit zeigen.

Die Grundwahrnehmung, von der ich hier ausging, wurde denn auch bei Gelegenheit der oben Bd. I. S. 376 mitgetheilten Untersuchung der PELTIER'schen Ladung gemacht. Da diese letztere Erscheinung in der nächsten Folge eine grosse Rolle spielen wird, so dürfte es angemessen sein, das damals darüber Ermittelte mit Berücksichtigung einiger Umstände, welche mir seitdem bekannt geworden sind, kurz zu wiederholen.

Zuerst nämlich bin ich jetzt in Stand gesetzt, PELTIER's eigene Angaben mitzutheilen.¹ »On doit à M. RITTER« — sagt er — »puis à M. DE LA RIVE, la connaissance de ce fait: qu'un arc métallique formant un circuit hydro-électrique par son immersion dans deux liquides séparés devient un couple voltaïque et produit un courant en sens inverse d'autant plus énergique que le métal est plus inaltérable. On avait pensé d'abord qu'une polarisation moléculaire de tout l'arc était la cause de ce contre-courant; mais il a été reconnu depuis qu'il n'y avait que les bouts immergés qui jouissaient de cette faculté, et qu'elle était due à une couche d'oxygène au pôle positif, et une d'hydrogène au pôle négatif. La même cause produit les mêmes effets sur la grenouille: la pate positive se charge d'oxygène et la négative d'hydrogène. Le contre-courant se démontre en plongeant les pates dans deux tasses où aboutit le fil d'un galvanomètre très-sensible. . . . Plus la pile sera forte, plus le temps du courant sera long, plus les pates seront chargées. . . . Ce qui est vrai pour une grenouille entière l'est encore pour un muscle, pour une portion de muscle. . . . Au-dessus des portions immergées il n'y a aucun effet produit. C'est en vain que l'on interroge toutes les parties non immergées par des fils de pla-

¹ Sie stehen L'Institut 1834. t. II. No. 84. p. 410.* — S. auch Notice sur la Vie et les Travaux scientifiques de J. C. A. PELTIER etc. Paris 1847. p. 112. 113.*

tine et un bon galvanomètre, on ne trouve aucune de ces agglomérations électriques, comme le suppose M. MARIANINI.« (Vergl. oben Bd. I. S. 376.)

Für seine Behauptung, daß das positive Bein sich mit Sauerstoff, das negative mit Wasserstoff überziehe, führt PELTIER nicht den mindesten Beweis an. Er stellt vielmehr, wie man sieht, auch noch die Meinung auf, das mit den Zersetzungsproducten des Wassers oberflächlich bekleidete Muskelfleisch verhalte sich elektromotorisch gleich einer metallischen Zwischenplatte, ohne weder zu zeigen, daß die Thatsachen zu dieser Ansicht zwingen, noch dieselbe auf anderem Wege annehmbarer zu machen. Auffallend ist, daß er hiebei des Froschstromes gar nicht gedenkt, mit dem doch der von den Gliedmaßen ausgehende secundäre Strom sich algebraisch summirt. BECQUEREL und MATTEUCCI (S. oben Bd. I. S. 377) haben zu PELTIER's Angaben nichts hinzugefügt, nur daß der letztere erwähnt, man könne die elektromotorische Gegenkraft auch mittelst des stromprüfenden Schenkels darthun, und aus mehreren hintereinander durchströmten Froschgliedmaßen eine secundäre Säule zusammensetzen.¹

Nachdem wir oben a. a. O. das Dasein einer solchen rasch vergänglichen, von Stromstärke und -Dauer innerhalb gewisser Grenzen abhängigen Gegenkraft an durchströmten Froschgliedmaßen festgestellt hatten, gelang es uns auch alsbald, an der Eintrittsstelle des Stromes in das Präparat den elektropositiven, an seiner Austrittsstelle den elektro-negativen Bestandtheil des zuleitenden Elektrolyten nachzuweisen. Die thierischen Gewebe scheinen sich also in der That, wie sich PELTIER dachte, gleich einer metallischen Zwischenplatte dem Wandern der Ionen zu widersetzen und somit sie zur Ausscheidung zu veranlassen. Es lag uns demnach sehr nahe uns eine der ursprünglichen PELTIER'schen ähnliche Vorstellung von dem Wesen des von ihm entdeckten Ladungsvorganges zu bilden, denn die Vermuthung, auf die er diese Vorstellung gründete, war für uns eine Thatsache. Der Versuch indeß, den PELTIER anstellte um die Richtigkeit seiner Vorstellung zu prüfen, und dessen Ergebnifs ihn darin bestärkte, gab in unseren Händen einen ganz anderen Erfolg. Dieser Versuch bestand darin, nach dem Durchgang des Stromes die Multiplicatorenden auch solchen Theilen des Präparates anzulegen, die gar nicht mit der Zuleitungsflüssigkeit in Berührung gewesen waren. PELTIER erhielt dabei keine Spur von Wirkung, wie aus den gesperrten Worten in seiner oben angeführten Mitthei-

¹ Bibliothèque universelle etc. Nouvelle Série. Décembre 1838. t. XVIII. p. 360*; — Essai etc. p. 14.*

lung erhellt, und schloß daraus folgerichtig, daß der Sitz der elektromotorischen Kraft nur an der Grenze der durchströmten Theile und der Zuleitungsflüssigkeit sei. Er täuschte sich aber, was den Thatbestand anlangt; denn in Wirklichkeit verhält sich, wie wir fanden, jeder einzelne Theil des Präparates in derselben Richtung elektromotorisch wirksam wie das Ganze.

So wurden wir zur Annahme geführt, daß die durchströmten Froschmuskeln in derselben Art Ladungen annehmen, wie dies der Fall sein müßte mit Platinschwamm oder mit einem Stück Kohle, die mit einem Elektrolyten getränkt wäre. Ein solches würde nach allen Richtungen eine dichtgedrängte Reihe unzähliger, nach Art der Metalle polarisirbarer Zwischenplatten darbieten. Es müßte also, nach dem Durchgang eines Stromes, auf allen Punkten eine dem daselbst herrschenden Strom entgegengesetzte und seiner Dichte entsprechende elektromotorische Kraft entfalten. Gleichviel wo die Multiplicatorenden angelegt würden, mit Ausschluß solcher Punkte der Oberfläche die auf isoëlektrischen Curven gelegen waren, würde man einen Strom in umgekehrter Richtung von dem ursprünglichen erhalten. Der Strom müßte, bei gleichem Widerstande des Kreises, um so stärker sein, je länger die Strecke des Kohlenstückes wäre, die man dergestalt mit den Multiplicatorenden umfaßte.

Nach den hier vorgezeichneten Gesetzen schienen die Muskeln polarisierbar zu sein. Anstatt um die Erzeugung einer GROVE'schen Gasbatterie oder einer Kette aus mehreren flüssigen Leitern durch den Strom, wie sie PELTIER muthmaßte, würde es sich demnach hier vielmehr handeln um eine den Muskeln zustehende besondere Eigenschaft den elektrischen Strömen gegenüber, die man die innere Polarisirbarkeit nennen kann.

PELTIER betrachtete, ohne irgend einen Beweis dafür beizubringen, die von ihm entdeckte Erscheinung als den Muskeln lediglich vermöge ihres Aggregatzustandes, und ganz unabhängig von ihren Lebenseigenschaften zukommend. Es war jedoch, wie man sieht, die Möglichkeit sehr wohl vorhanden, daß dies besondere Verhalten der Muskeln in Beziehung stehe zu ihren sonstigen elektromotorischen Eigenschaften. Indessen glaubten wir durch den Versuch zu finden, daß auch gesotene Muskeln noch ebenso wie die zuckungsfähigen innerlich polarisierbar seien,¹ und es schien also in der That, als ob die innere Polarisirbarkeit nichts mit dem Lebenszustande zu schaffen habe.

¹ Die Folge wird lehren, daß unsere Vorstellungen über diesen Punkt einer wesentlichen Berichtigung bedürfen. S. unten, 6.

Es entstand somit die Vermuthung, daß noch andere poröse und mit Flüssigkeiten getränkte Körper derselben Erscheinung fähig seien. Es wurden in dieser Hinsicht geprüft Froschhaut, thierische Blase, elastisches Gewebe, Holz und poröser Thon. Blase, Holz und poröser Thon waren mit Wasser getränkt. Die Blase und der Thon gaben kein Zeichen von Polarisation. Die Froschhaut und das Holz dagegen zeigten Polarisation, als sie dem Strom ausgesetzt und dann in den Multiplicatorkreis gebracht wurden. Auch das elastische Gewebe gab eine secundär-elektromotorische Wirkung, allein merkwürdigerweise in umgekehrter Richtung von den Muskeln, dem Holz und der Froschhaut, d. h. dem ursprünglichen Strom gleichgerichtet.

Diese Wirkungen nahmen wir ohne Weiteres für einerlei mit den an den Muskeln beobachteten, d. h. für gleichfalls auf innerer Polarisation beruhend. Wir hatten jedoch nicht gezeigt, daß dieselben auch beobachtet werden können, wenn man die Multiplicatorenden an beliebige zwei auf der Bahn des Stroms gelegene Punkte anbringt. Nun ist aber allerdings die Möglichkeit vorhanden, daß auch an den Berührungstellen dieser Körper mit der Zuleitungsflüssigkeit, wie an denen der Muskeln, eine Ausscheidung von Zersetzungstoffen stattfindet, (obschon wir beim Holz vergeblich danach suchten); daß diese Ausscheidung, was wir damals nicht bedachten, elektromotorisch wirke; und daß diese Wirkung sich bei den Muskeln mit der inneren Polarisation und dem Muskelstrom algebraisch summirt, die secundären Ströme der übrigen porösen Körper aber allein bedingt habe. Es kann folglich noch gar nicht für bewiesen gelten, daß jene Körper gleich den Muskeln eine innere Polarisirbarkeit in der einen oder der anderen Richtung besitzen, und unsere damalige Untersuchung ist daher auch in diesem Punkte als unvollständig anzusehen.

Sie wird jetzt, was diese und manche andere Lücke betrifft, ergänzt werden. Folgendes ist nunmehr die Wahrnehmung, die mich hier zu weiteren Ermittlungen aufforderte. Bei den Versuchen über die innere Polarisation der Froschmuskeln ereignete es sich zuweilen, daß anstatt eines Ausschlages in umgekehrter Richtung des ursprünglichen Stromes ein solcher in derselben Richtung erhalten wurde. Dies geschah vorzüglich, wenn bei verhältnißmäßig großer Stärke des ursprünglichen Stromes das Präparat demselben nur kurze Zeit ausgesetzt wurde. Diese gleichgerichtete Wirkung war vorübergehend wie die umgekehrte, von PELTIER zuerst gesehene, mit der sie sich übrigens, wie mit der den Muskeln eigenen elektromotorischen Wirkung, algebraisch zu summiren schien. Was sie aber, nächst der Richtung, in meinen Augen vorzüglich vor derselben auszeichnete, war der Umstand, daß

sie nicht, gleich jener, den Verlust der Lebenseigenschaften zu überdauern schien. Durch diesen Umstand erhielt die neue Erscheinung offenbar eine ungeweine Wichtigkeit. Die Vermuthung lag unabweisbar nahe, dafs dieselbe mit den uns bereits bekannten elektromotorischen Erscheinungen der Muskeln auf die eine oder die andere Art zusammenhänge, dafs sie vielleicht nichts sei als eine neue Bewegungserscheinung des Muskelstromes unter dem Einflusse fremder Stromeskräfte, wie wir dergleichen ja an den Nerven kennen gelernt haben. Zur näheren Untersuchung dieses Verhaltens schreiten wir also jetzt. Doch findet sich, dafs, ehe wir zu dieser Untersuchung selbst gelangen, noch eine lange Reihe vorbereitender Studien durchzumachen ist.

Die Gesamtheit der elektromotorischen Erscheinungen, welche in dem Folgenden als das Ergebnifs der Durchströmung der Muskeln und Nerven, sowie anderer thierischer und pflanzlicher Theile, ja sogar poröser feuchter Leiter nicht organischen Ursprungs, beschrieben werden sollen, mag übrigens mit dem Namen der secundär-elektromotorischen Erscheinungen umfaßt werden.

2. Beschreibung der Versuchsweisen und Vorrichtungen.

- (i) Von der Art, bei diesen Versuchen den erregenden Strom den thierischen Theilen zu- und den erregten davon abzuleiten.

Die älteren, so eben in Erinnerung gebrachten Ergebnisse wurden gewonnen, indem die Gliedmaßen zuerst wie gewöhnlich am Multiplikator für den Muskelstrom geprüft, dann von den Zuleitungsgefäßen des Multiplikators auf die der Säule übertragen, und zuletzt zwischen die Multiplikatorenden in ihre frühere Lage gebracht wurden. Auch wird man, mit Hülfe dieser Versuchsweise, dieselben im Allgemeinen bestätigen können. Um jedoch diese Erscheinungen genauer zu verfolgen, mußten feinere Hilfsmittel angewandt werden.

Erstens mußten die Versuche, statt mit unförmlichen Gewebemassen, wie ein Froschschenkel sie darbietet, mit einzelnen Muskeln angestellt werden.

Sodann erwies es sich als unumgänglich nöthig, dafs die thierischen Theile, während sie vom erregenden Strom getroffen wurden, unverrückt im Multiplikatorkreise blieben. Es war nämlich oft zweifelhaft ob eine nach der Einwirkung des Stromes beobachtete Veränderung des elektromotorischen Verhaltens herrühre von dieser Einwirkung oder von veränderter Lage der thierischen Theile zwischen den Multiplikatorenden. Dazu mußten diese Theile also nebst der beiderseits zunächst daran stofsenden Strecke feuchten Leiters beliebig zu einem Theile bald

des Multiplicatorkreises, bald der erregenden Kette gemacht werden können, ohne das im letzteren Fall eine Wirkung der Kette auf die Nadel anders bemerkbar wurde, als nachdem die thierischen Theile wieder Theil des Multiplicatorkreises geworden, in Folge der Einwirkung des Stromes auf dieselben. Dies suchte ich zuerst mit Hülfe der Fig. 150 Taf. VI. im Grundriß schematisch dargestellten Anordnung zu erreichen.

Auf einer wohl isolirenden Unterlage sieht man in M, M_1 die gewöhnlichen Zuleitungsgefäße des Multiplicators \mathfrak{M} nebeneinander so aufgestellt, das ihre Platinplatten nicht in einer Ebene liegen, sondern das das eine Gefäß, M in der Zeichnung, eine gewisse Strecke hinter dem anderen M_1 zu stehen kommt. M und M_1 gegenüber und in gleicher Entfernung von beiden, befinden sich zwei ganz ähnliche Zuleitungsgefäße S, S_1 , in denen aber die Kochsalzlösung durch gesättigte schwefelsaure Kupferoxydlösung und die Platinplatten durch Kupferplatten ersetzt sind. Diese Gefäße stellen die Enden der erregenden Kette \mathfrak{S} dar, deren Beständigkeit dergestalt möglichst gesichert ist. Zinkplatten in gesättigter schwefelsaurer Zinkoxydlösung wären als Elektroden der Säule vielleicht insofern vorzuziehen gewesen, als die Polarisation mittelst derselben noch sicherer vermieden wird. Doch bietet die Kupferlösung vermöge ihrer Färbung den Vortheil dar, das man die Grenzen ihrer Verbreitung in Bäschen, Röhren mit Flüssigkeit u. d. m. stets leicht erkennt und daher nie Gefahr läuft, durch unbenannte Verunreinigungen mit derselben in die Irre geführt zu werden. Die vier Gefäße sind mit Zuleitungsbäschen der gewöhnlichen Art versehen, von denen die in S, S_1 tauchenden natürlich mit der Kupferlösung getränkt sind. Die Lücke zwischen dem Bausch in M und dem in S , und die zwischen dem in M_1 und dem in S_1 , sind mit Hilfsbäschen H, H_1 von der eigenthümlichen Gestalt überbrückt, die man in der Figur erkennt. Diese Bäsche, die ich die Querbäsche nennen will, sind mit Kochsalzlösung getränkt, und ruhen deshalb unmittelbar auf den ebendamit getränkten Zuleitungsbäschen des Multiplicators in M und M_1 auf. Hingegen von den Zuleitungsbäschen der Säule S und S_1 sind sie durch mehrere Lagen Fließpapier getrennt, von denen die unteren an die Zuleitungsbäsche stoßenden mit schwefelsaurer Kupferoxydlösung, die oberen, an die Querbäsche stoßenden mit Kochsalzlösung getränkt sind. Diese Sicherheitsbäsche, wie ich sie nenne, verhindern, das die Zuleitungsbäsche und die Querbäsche einander verunreinigen, und müssen demgemäß jedesmal erneut werden, wenn die Kupferlösung den mit der Salzlösung, und die Salzlösung den mit der Kupferlösung getränkten Bausch durchdrungen hat. Natürlich ist solche Einrichtung getroffen, das der durch die Sicher-

heitsbäusche bedingte Unterschied der Höhe der Unterlagen, auf denen die Querbäusche ruhen, auf irgend eine andere Art ausgeglichen wird.

Wie man sieht bieten die einander gegenüberstehenden Ränder *ab*, *cd* der Querbäusche, gehörig mit Eiweißhäutchen versehen, eine eben so bequeme Gelegenheit zum Auflegen thierischer Theile dar, als die vorderen Ränder der Zuleitungsbäusche bei der gewöhnlichen Gestalt unserer Vorrichtung, während die vorspringenden senkrechten Kanten derselben in anderen Fällen dienen können, um an senkrechte Flächen freischwebender Theile behufs der Erforschung ihrer elektromotorischen Kräfte angelegt zu werden. Dergestalt abgeleitete Theile würden, nebst den Querbäuschen, einen Theil entweder des Multiplicator- oder des Säulenkreises bilden, je nachdem der eine oder der andere dieser Kreise geschlossen ist.

Es fragt sich nun zunächst, ob es bei dieser Anordnung und bei offenem Multiplicatorkreise gelinge, den Strom durch die Bäusche und den dieselben verbindenden Schließungsbausch zu senden, ohne dafs ein Theil desselben in den Multiplicatorkreis einbreche, und ohne dafs, beim Schließen des Multiplicatorkreises unmittelbar nach Oeffnung des Säulenkreises, eine Wirkung auf die Nadel stattfindet.

Dies ist in der That der Fall. Bei den grofsen Stromstärken aber, und der grofsen Empfindlichkeit des Multiplicators die hier oft nothwendig sind, genügt es dazu nicht, einfach den einen Kreis während der Schließung des anderen an Einer Stelle zu öffnen. Alsdann würde im Fall der Schließung des Kettenkreises, wenigstens bei schlechter Leitung zwischen den Querbäuschen, eine Wirkung auf die Nadel stattfinden nach Art der oben Abth. I. S. 496 beschriebenen. Um diese sicher zu beseitigen, giebt es zwei Mittel. Erstens das oben ebendasselbst angegebene, den Multiplicator sowohl als die Säule auf das vollkommenste zu isoliren. Zweitens, den Kreis nicht bloß an Einer Stelle zu öffnen, sondern die beiden Zuleitungsgefäße, die zu einem der beiden Kreise gehören, zugleich beziehlich vom Multiplicator oder von der Säule abzuschneiden, also in Fig. 150 z. B. den Multiplicatorkreis bei *e* und *f*, den Säulenkreis bei *g* und *h* zu unterbrechen.

Ich hatte, um ganz sicher zu gehen, beide Mittel zugleich in Anwendung gebracht, und es dadurch erlangt, dafs ich von den Gefäßen *S*, *S*₁ aus den Strom einer fünfziggliedrigen Grove'schen Säule durch die Querbäusche und den sie verbindenden Schließungsbausch senden konnte, ohne dafs sich die leiseste Spur einer Nadelbewegung an dem, sonst zwischen den Gefäßen *M*, *M*₁ befindlichen, zeitweise aber beiderseits von denselben abgeschnittenen Multiplicator für den Nervenstrom kundgab. Ebenso unbewegt blieb die Nadel, wenn alsdann plötzlich

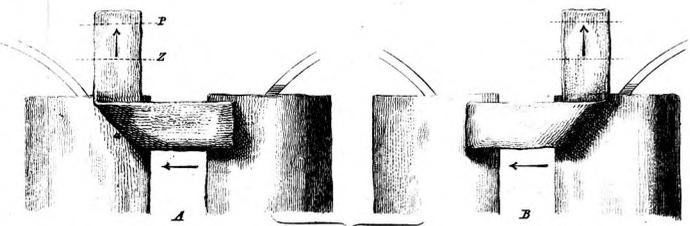


Fig. 81.

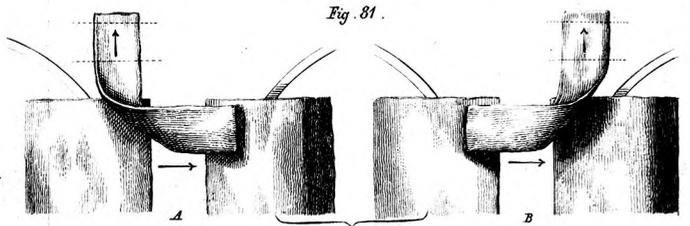


Fig. 82.

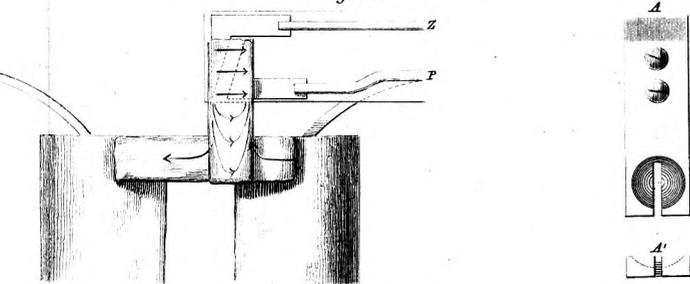


Fig. 79.



Fig. 87-1.0

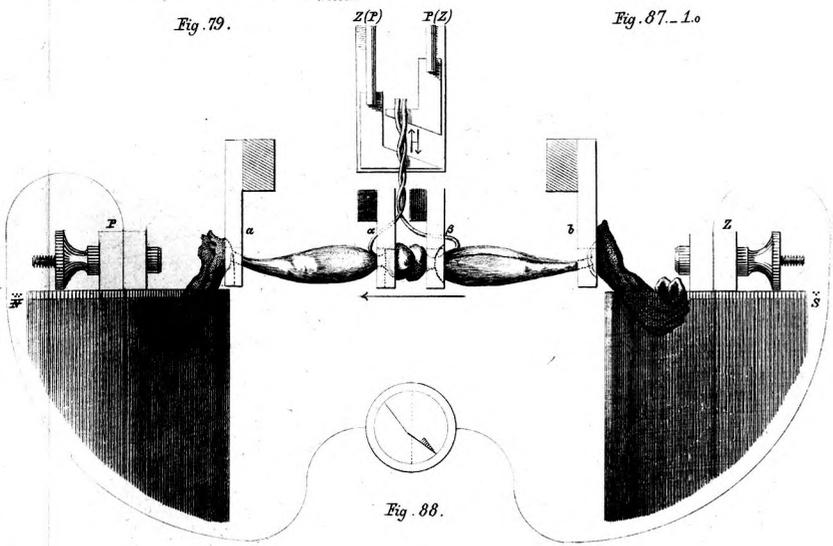


Fig. 88.

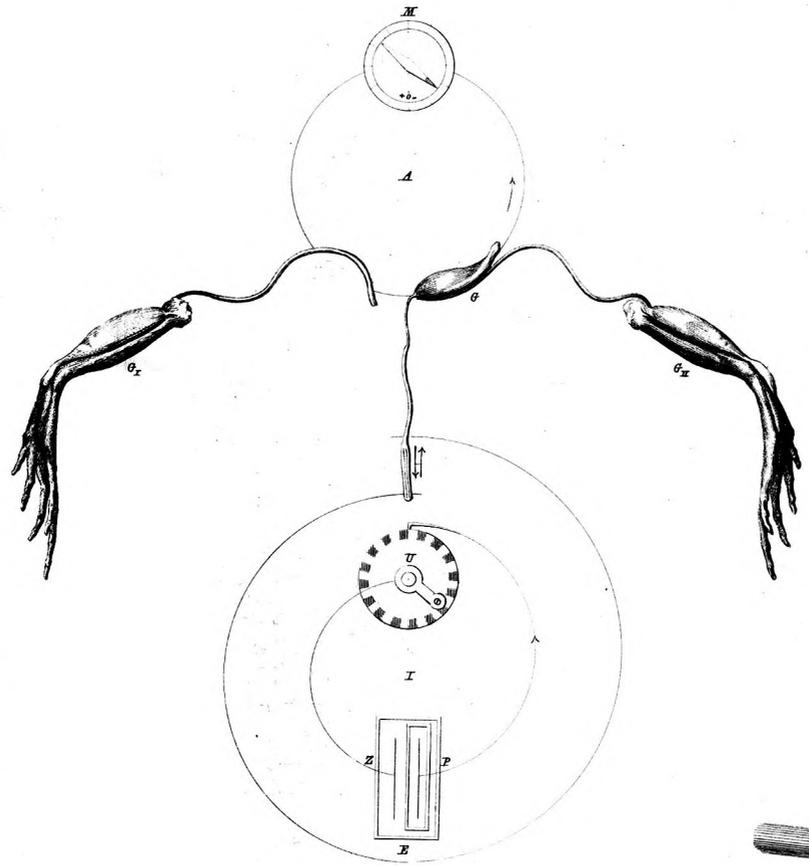


Fig. 85.

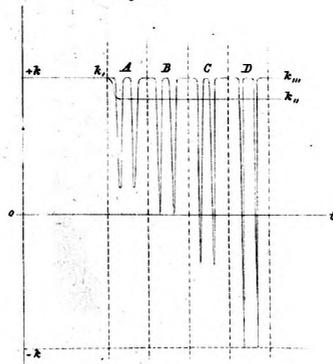


Fig. 89.

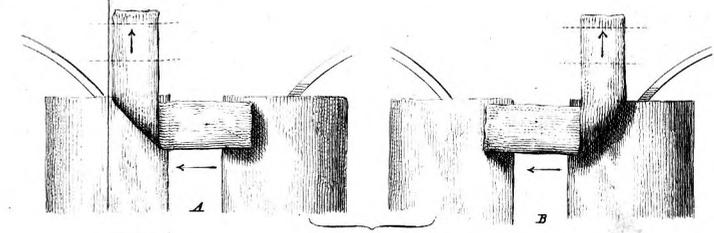


Fig. 83.

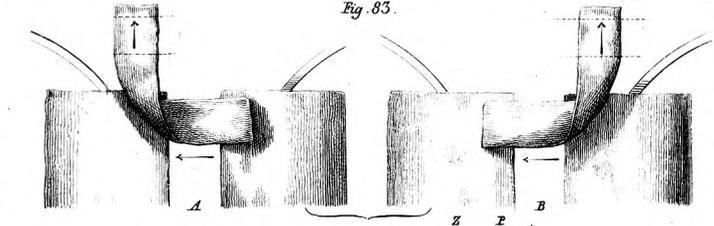


Fig. 84.

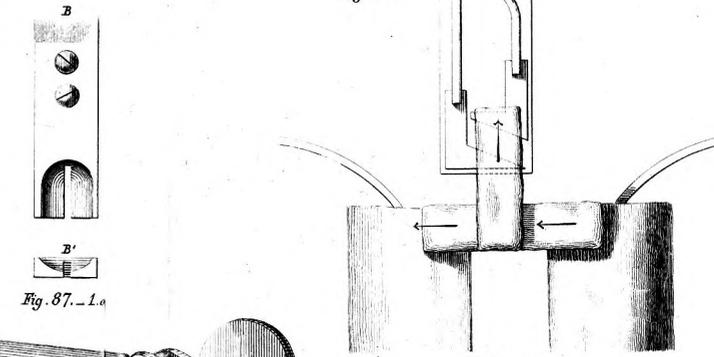


Fig. 80.

Fig. 87-1.0

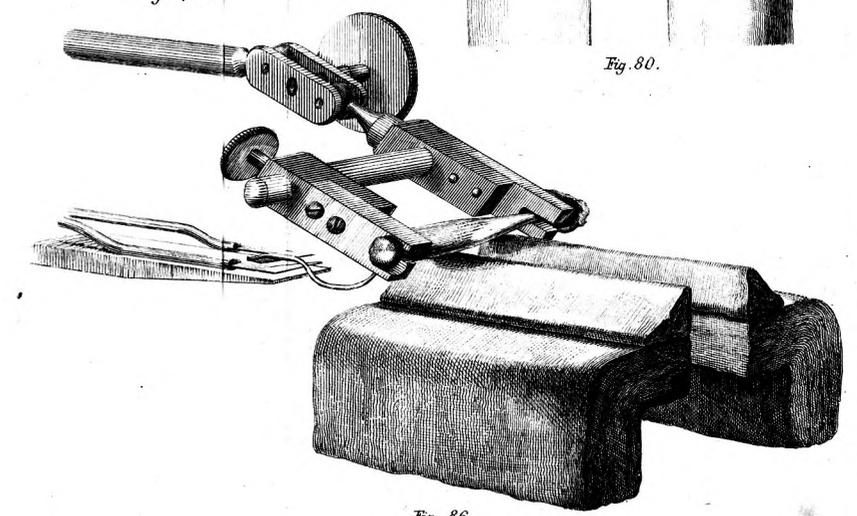


Fig. 86.

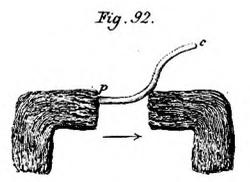


Fig. 92.

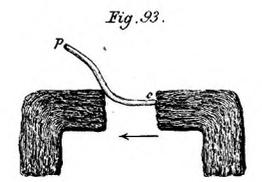


Fig. 93.

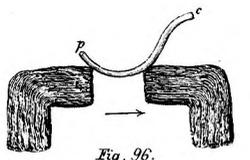


Fig. 96.

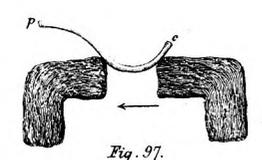


Fig. 97.

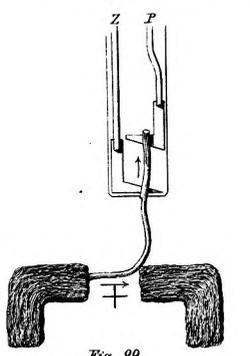


Fig. 99.

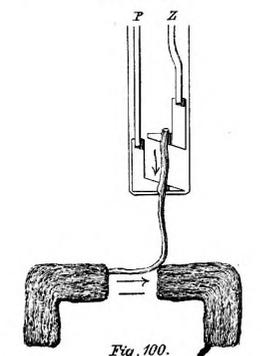


Fig. 100.

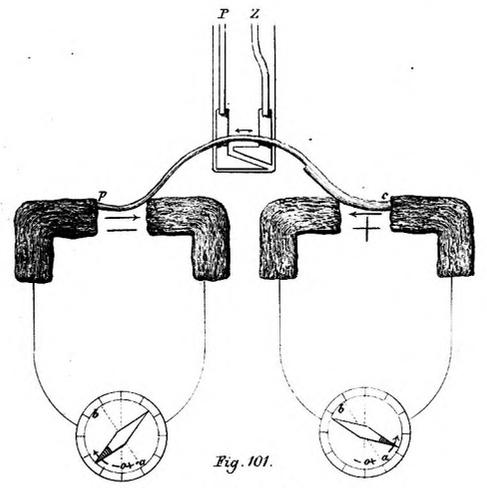


Fig. 101.

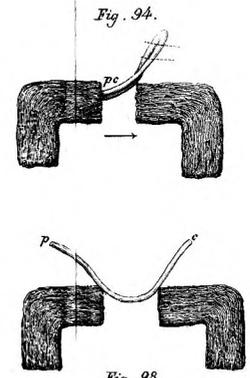


Fig. 94.

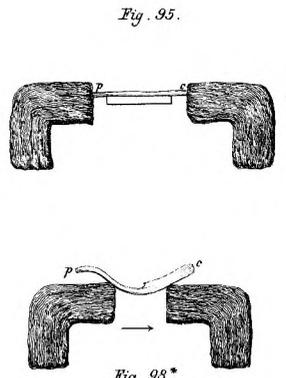


Fig. 95.

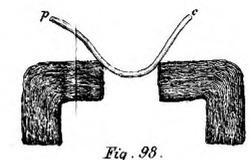


Fig. 98.

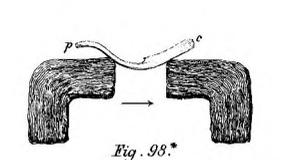


Fig. 98*.

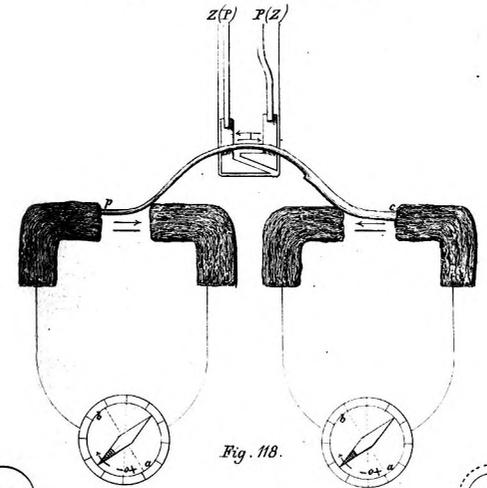


Fig. 102.

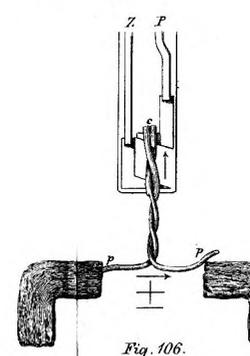


Fig. 106.

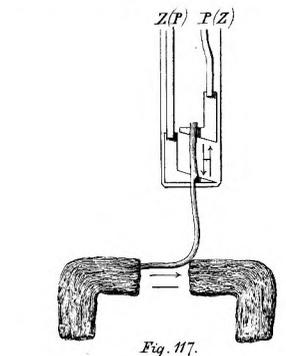


Fig. 107.

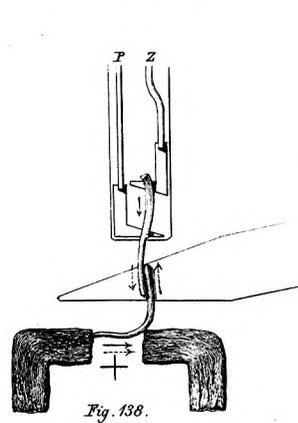


Fig. 138.

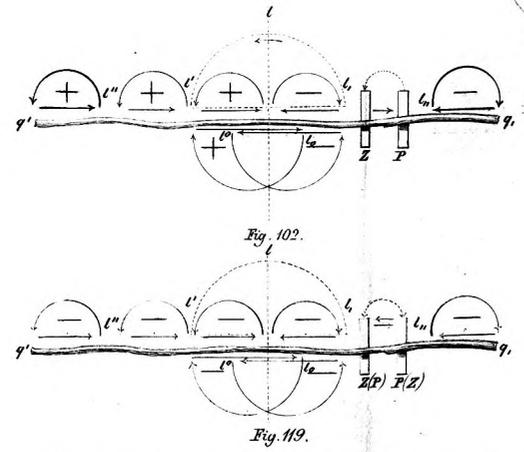


Fig. 102.

Fig. 119.

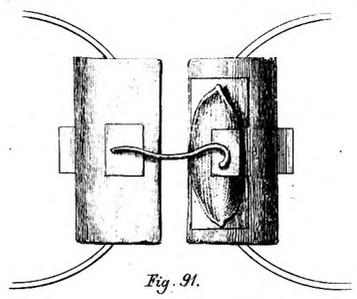


Fig. 91.

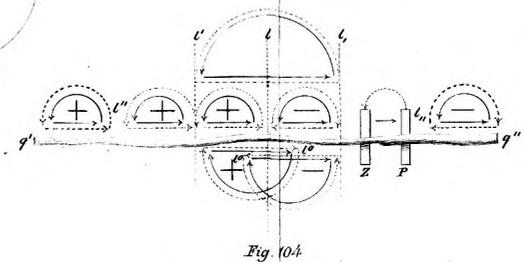


Fig. 104.

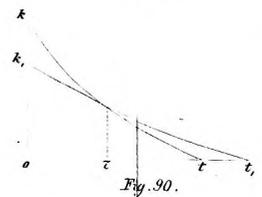


Fig. 90.

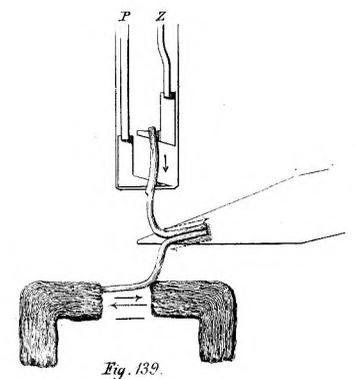
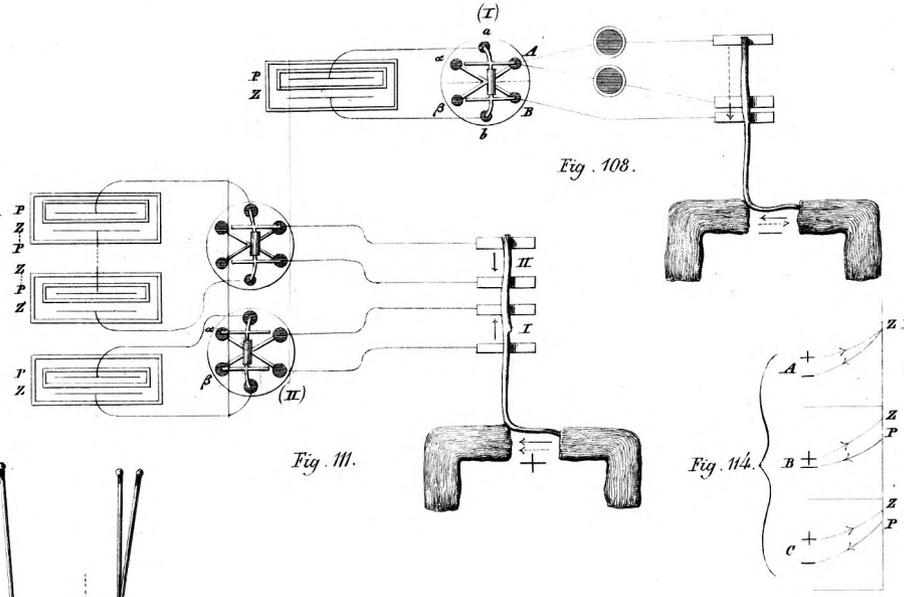
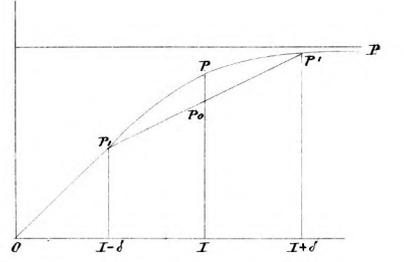
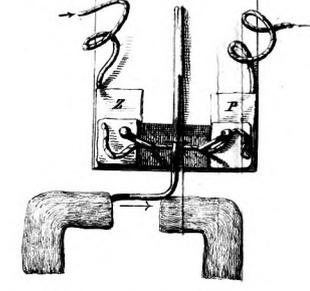
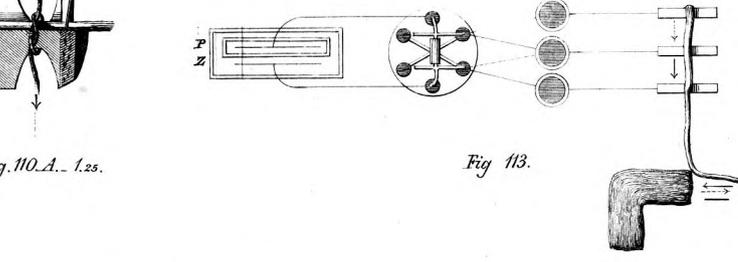
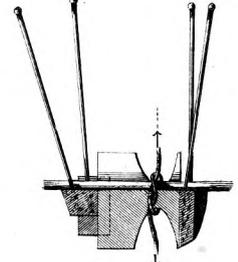
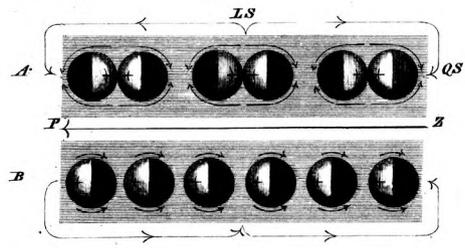
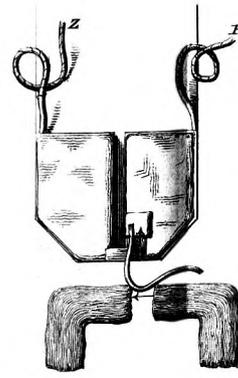
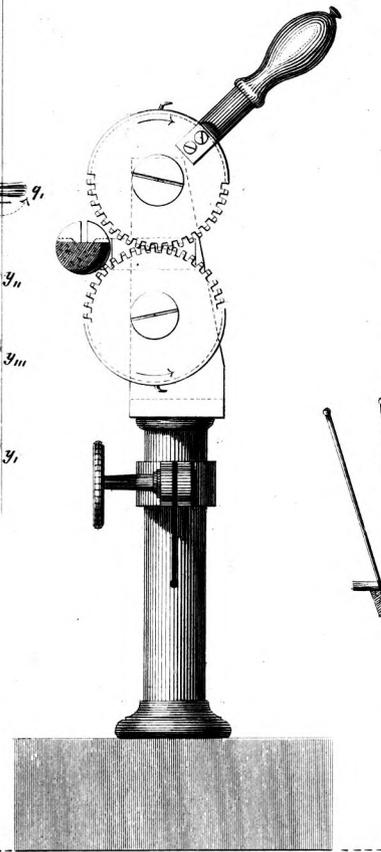
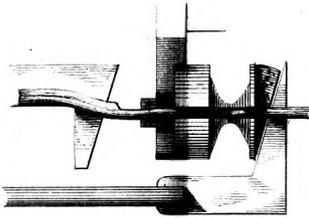
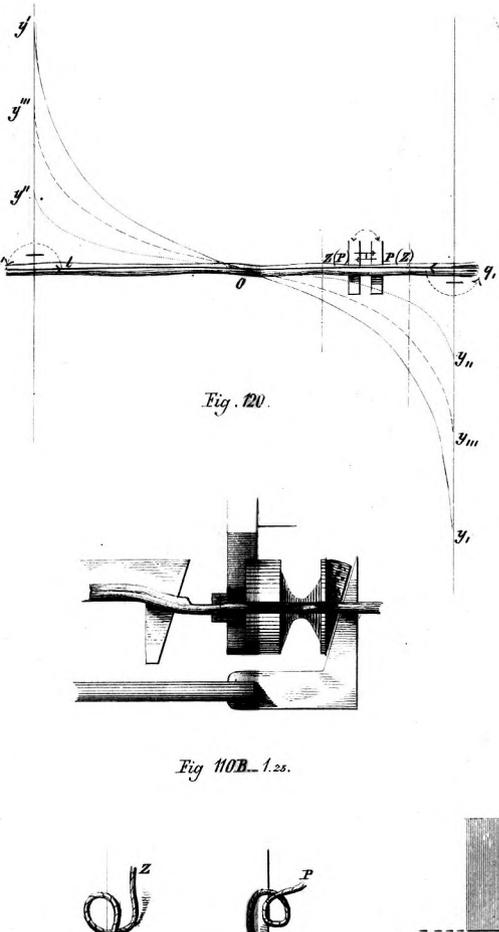
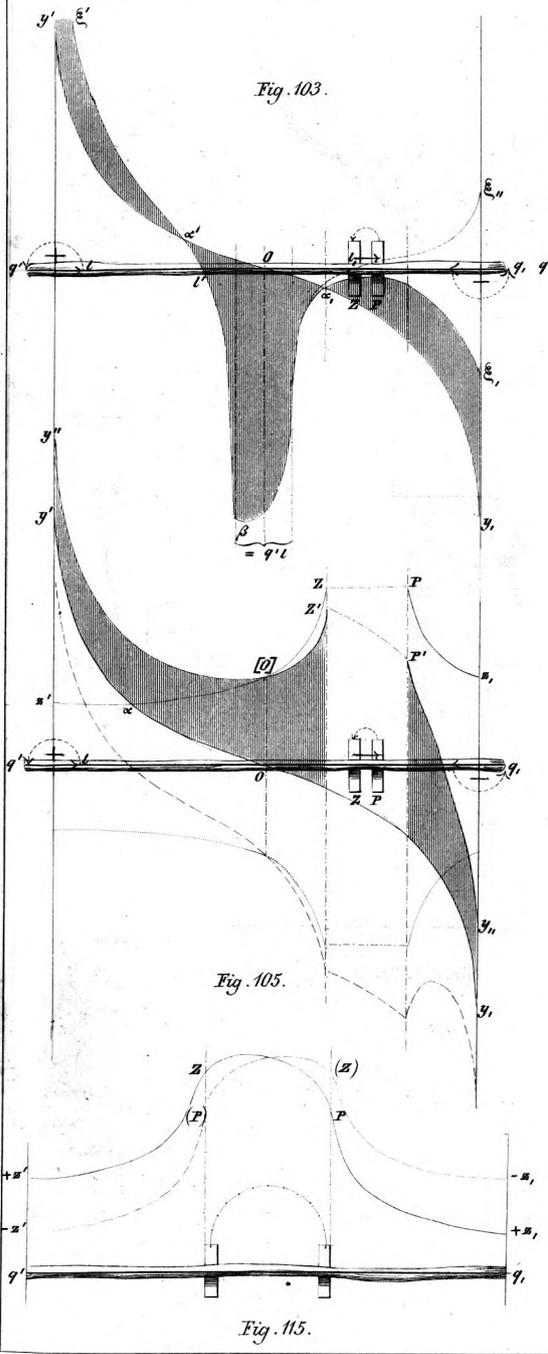


Fig. 139.



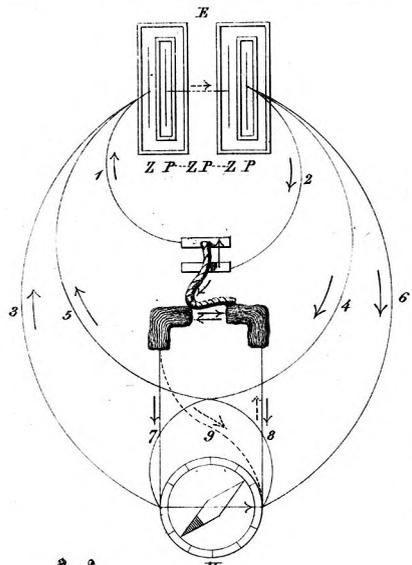


Fig. 127.

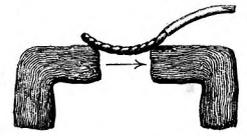


Fig. 133.

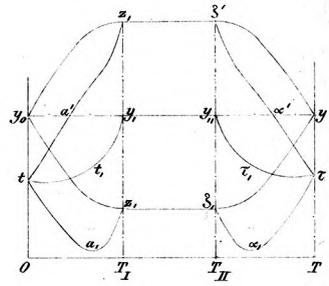


Fig. 137.

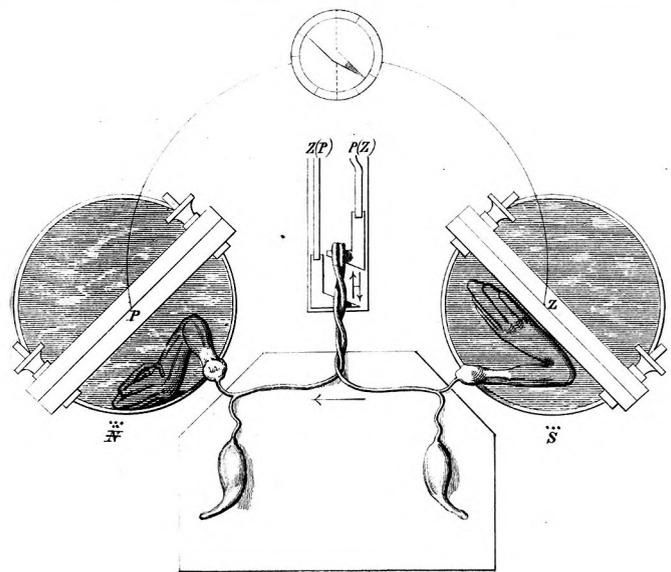


Fig. 122.

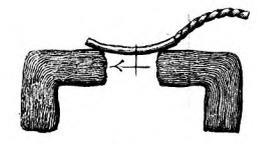


Fig. 134.

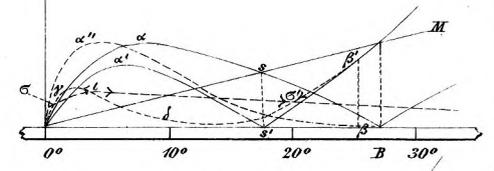


Fig. 126.

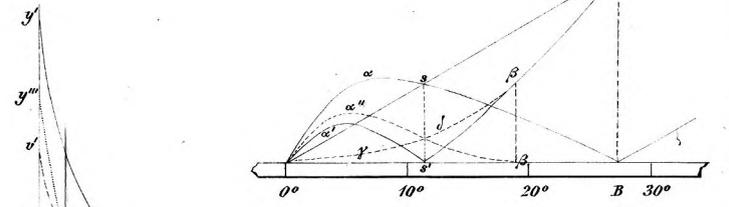


Fig. 125.

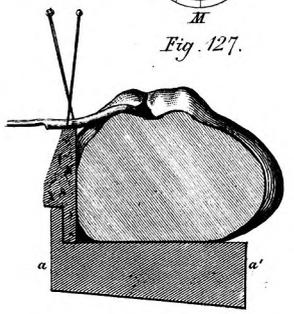


Fig. 130-0.75.

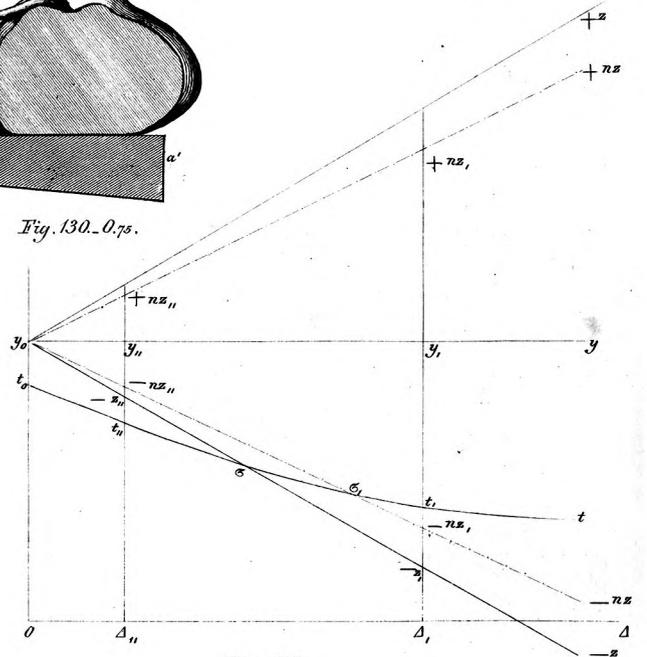


Fig. 123.



Fig. 131-1.0.

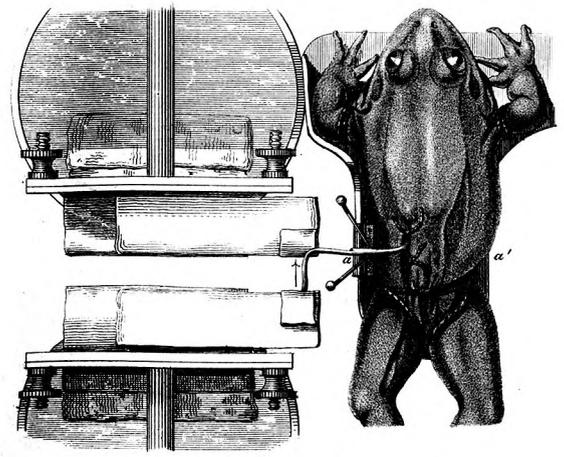


Fig. 129-0.5.

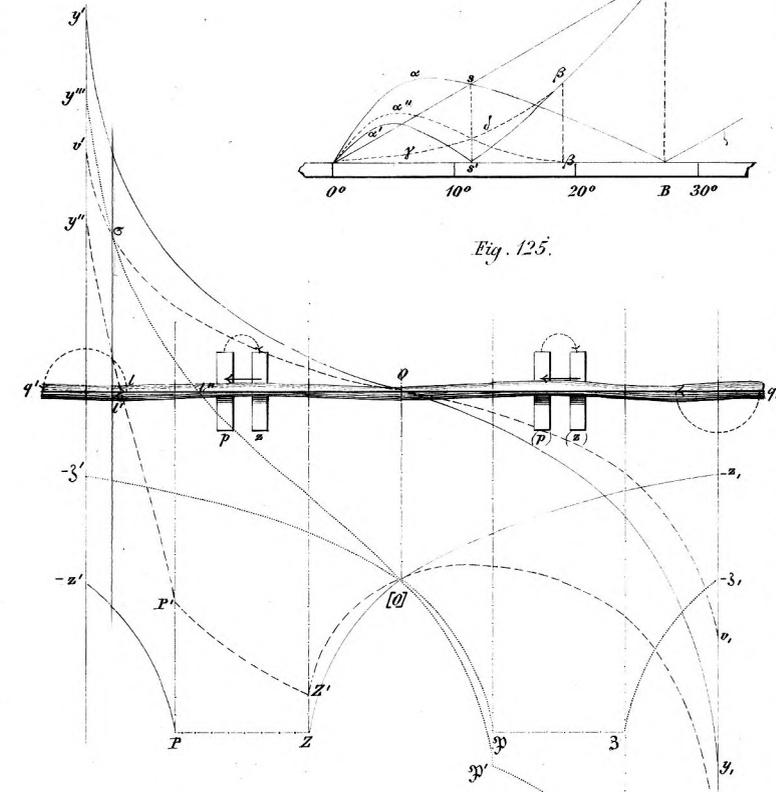


Fig. 124.

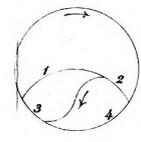


Fig. 128.

Fig. 147.

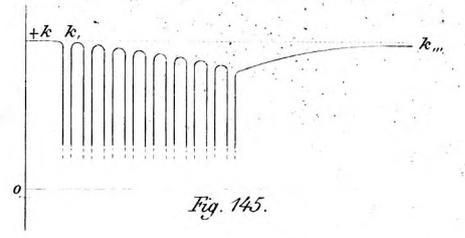
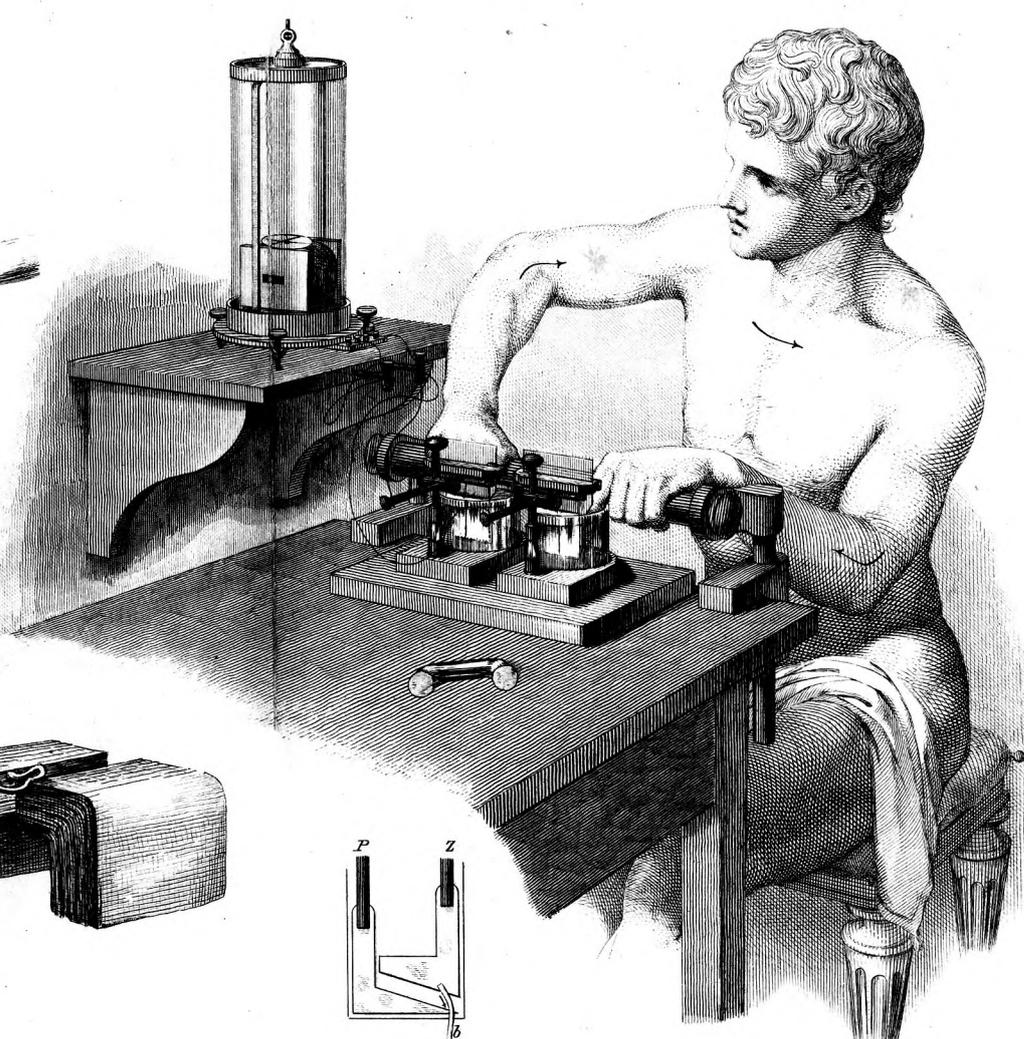


Fig. 145.

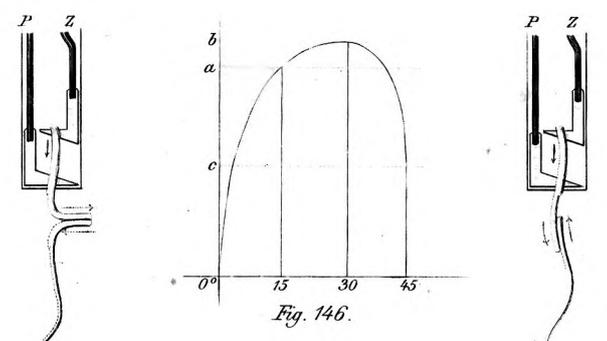


Fig. 146.

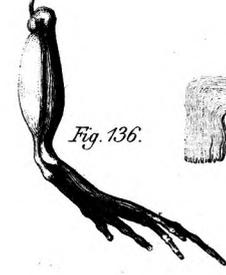


Fig. 136.

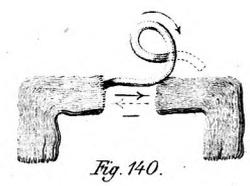


Fig. 140.



Fig. 135.

Fig. 142. - 0.75.

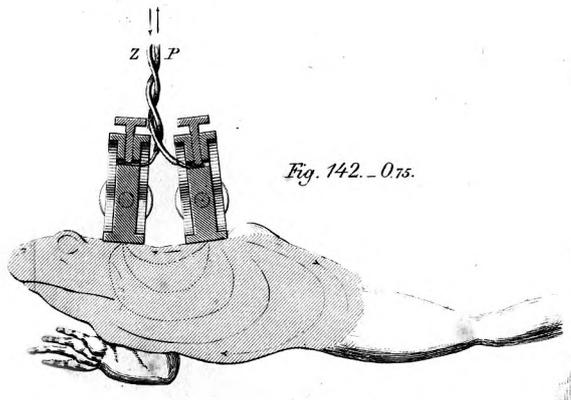


Fig. 144. - 180.

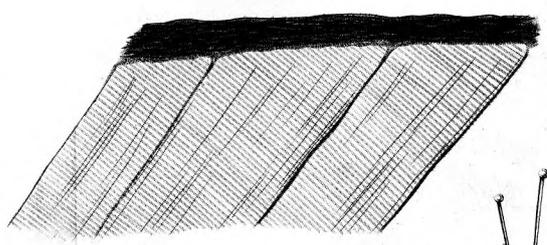


Fig. 132.

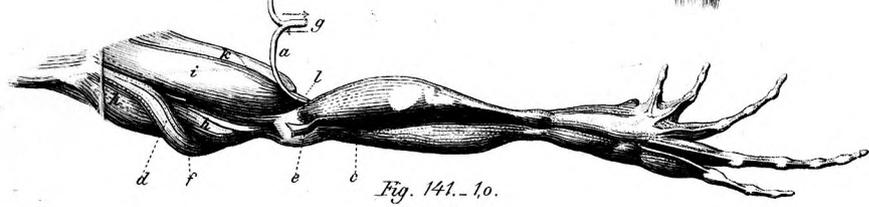
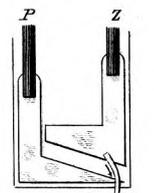
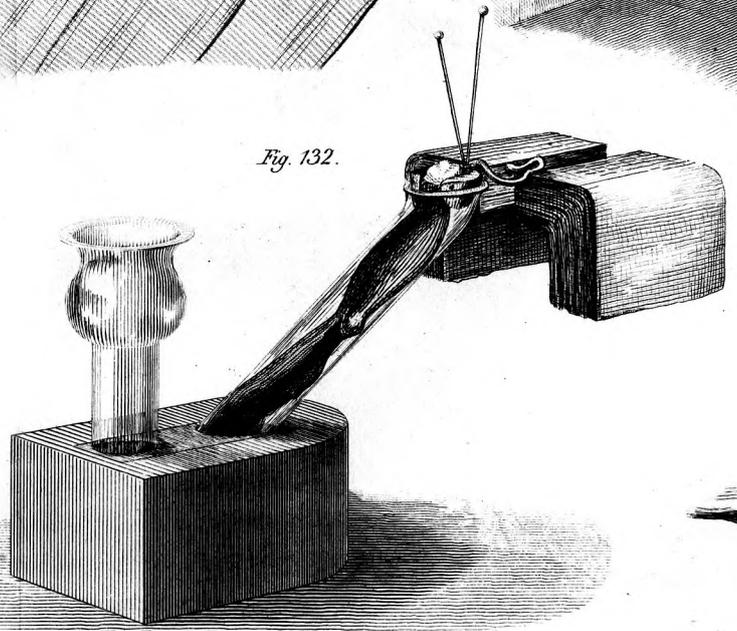


Fig. 141. - 10.

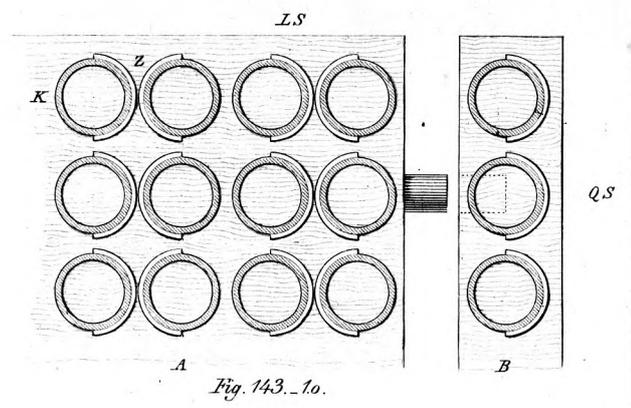


Fig. 143. - 10.