

I. *Vorläufiger Abriss einer Untersuchung über den sogenannten Froschstrom und über die elektromotorischen Fische;*

von Emil du Bois-Reymond.

Im Frühling 1841 forderte mich Hr. Geheimerath J. Müller auf, eine Untersuchung über den Froschstrom, *courant de la grenouille* Nobili, anzustellen. Die Resultate, zu welchen ich bis jetzt gelangt bin, sind folgende.

1) Wird ein frisch getödteter enthäuteter Frosch an Kopf und Füßen mit den Enden eines leitenden Bogens in der Art berührt, daß dadurch keine neue Spannung gesetzt wird ¹⁾, so zeigt gleichwohl eine in diesen

1) Sämmtliche Versuche, mit Ausnahme begreiflich der unter (8) und (18) beschriebenen, sind an einem Multiplicator von der üblichen Construction angestellt, auf dessen Rahmen ein Kilometer von 0",0065 Par. dickem Kupferdraht in 4650 einfachen Windungen aufgetragen ist, und dessen Nadelspiel, bei Anwendung der Melloni'schen Compensation (*Arch. de l'Electr. No. 3, p. 656*), eine so hohe Beweglichkeit besitzt, daß die geringe Schwächung der oberen Nadel, welche durch die strahlende Wärme einer dicht neben der Glasglocke des Instruments angebrachten Kerzenflamme bewirkt wird, hinreicht, um eine Drehung der Azimuthebene, in welcher dasselbe im Gleichgewicht ist, im Werthe von 9° nach sich zu ziehen. — Der im Text ausgesprochenen Bedingung, daß durch die Berührung der Enden des multiplicirenden Leiters mit den thierischen Theilen keine neue Spannung gesetzt werden dürfe, wurde nach Nobili's und Matteucci's Vorgang dadurch Genüge geleistet, daß diese Enden aus einem feuchten Leiter bestehend gewählt wurden; wodurch nämlich der Experimentator in Stand gesetzt ist, jede selbständige elektromotorische Wirkung der metallischen Multiplicatorenden auf's genaueste zu controlliren. — Indem ich einerseits den Leitungswiderstand dieser feuchten Multiplicatorenden möglichst reducirte, andererseits mich eines so höchst empfindlichen Instruments bediente, ward es möglich, daß die Win-

Bogen eingeschaltete stromprüfende Vorrichtung einen in demselben gegenwärtigen, von dem Kopf zu den Füßen des Thiers gerichteten, Strom an. Ein Strom von gleicher Richtung und fast gleicher Intensität wird wahrgenommen, wenn der indifferente leitende Bogen Füße und Becken eines Galvani'schen Präparats berührt. In gleicher Richtung, d. h. in dem Bogen von dem dem Kopfe näher gelegenen Punkte zu dem den Füßen näher gelegenen verlaufend, aber von geringerer Intensität, zeigt sich der Strom am Oberschenkel und am Unterschenkel des Frosches. Noch schwächer, aber immer gleichgerichtet, fand ich ihn an dem bloßen Rumpf des Frosches ohne vordere und hintere Extremitäten zwischen Kopf und Steißbein; einen kräftigen Strom von den Schultern in dem Bogen zu den Händchen, geben endlich die vorderen Extremitäten selbst.

2) Ein Kaninchenbein auf die nämliche Weise untersucht, zeigt den Strom in demselben Sinn als das Froschbein, allein ungleich schwächer. Ein Taubenbein, und die vorderen und hinteren Extremitäten von *Lac. agilis* zeigen denselben in umgekehrter Richtung. Der bloße Unterschenkel der Taube zeigt ihn dagegen in derselben Richtung wie das Kaninchenbein und Froschbein, und zwar stärker als das Gesamtbein der Taube.

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. Diefs beruht nur zum Theil darauf, daß die Haut in Rücksicht des indifferenten leitenden Bogens Nebenleitung bildet (38).

kelwerthe der von mir beobachteten Nadelbewegungen die von Nobili und Matteucci verzeichneten bei weitem übertreffen, indem z. B. der durch den Gesamtfrosch, das galvanische Präparat (1) oder den *M. Gastrocnemius* vom Frosch (7) erzeugte erste Ausschlag nicht selten die Nadel gegen die Repositorien führte, während die in diesen Fällen hinterbleibende anscheinend constante Ablenkung zwischen 8° und 11° betrug.

4) Auch der lebendige, ganz unversehrte Frosch zeigt den Strom in derselben Stärke, als der eben getödtete nicht enthäutete, und immer in derselben Richtung.

5) Gehirn und Rückenmark, die Brust- und Baucheingeweide, die großen Nervenstämme können entfernt werden, ohne daß der Strom des Gesamtfrosches, oder des galvanischen Präparats, oder seiner einzelnen Theile (1) anders dadurch verändert würde, als es die Veränderung des Leitungswiderstandes etwa mit sich bringt.

6) Das frisch präparirte, von allem Muskelfleisch befreite, unversehrte (61) Knochengestüt wirkt nicht elektromotorisch.

7) Berührt man mit den Enden des indifferenten leitenden Bogens die beiden Sehnen eines frei präparirten *M. Gastrocnemius* vom Frosch, so ist in dem Bogen ein Strom in gleicher Richtung und von nahezu gleicher Intensität gegenwärtig, als wenn der Gesamtfrosch oder das galvanische Präparat auf die bezeichnete Weise berührt worden wären.

8) Die vereinigte Wirkung zweier Gastrocnemien ist hinreichend, um Zersetzung eines mittelst salpetriger Säure sehr empfindlich gemachten Jodkalium-Stärkebreies zu bewirken. Die jodstärkemehlhaltige Jodwasserstoffsäure scheidet sich am centralen Ende der Muskelkette aus.

9) Untersucht man mittelst des indifferenten leitenden Bogens die einzelnen, frei heraus präparirten Muskeln des Frosches, so findet man unter denselben einige, welche den Strom in derselben Richtung zeigen, als die Gesamtextremitäten dieses Thieres, d. h. anscheinend in der Substanz der Organe nach der Cerebrospinalaxe hin; andere, welche anscheinend nicht elektromotorisch wirken, wiederum noch andere, welche im umgekehrten Sinne wie die erstgenannten thätig sind.

10) Dasselbe läßt sich an Muskeln des Kaninchens und der Taube wahrnehmen.

11) Untersucht man genauer einen von den Mus-

keln, welche anscheinend keinen Strom zeigen, so findet man, daß dieselben, an ihren Sehnen mit den Enden des indifferenten leitenden Bogens berührt, allerdings zu keiner Stromentwicklung Anlaß geben, eben so wenig, wenn man zwei Punkte des Mantels des Cylinders oder der Seitenflächen des Prisma's, welche die Muskeln darstellen, berührt; daß aber alsbald ein Strom wahrgenommen wird, wenn die berührten Punkte, der eine dem Mantel des Cylinders, oder den Seitenflächen des Prisma's, der andere deren Grundfläche, nämlich der Sehne, angehörig sind; und zwar ist der Strom stets im Bogen so gerichtet, daß er sich von dem einen Punkt zum andern in der Ordnung, wie sie genannt sind, bewegt.

12) Durch eine Reihe von Versuchen läßt sich darthun, daß das Sehnen- und Bindegewebe in diesen Fällen sich als indifferenten feuchten Leiter verhält.

13) Bedenkt man, was eigentlich die Sehne ist, so sieht man, daß sie hier nichts weiter vorstellt, als einen leitenden, selbst nicht elektromorisch wirksamen Ueberzug über den darunter gelegenen natürlichen Querschnitt sämtlicher Primitiv-Muskelbündel oder secundären Muskelzellen, oder des Muskels im Allgemeinen, wenn man unter seinem Querschnitt eine solche Flächenbegrenzung an demselben verstehen will, daß darin nur freie Enden der Primitiv-Muskelbündel enthalten sind.

14) Da aber ein Bruchtheil eines Muskels noch der Zusammenziehung fähig ist, folglich noch keine seiner wichtigeren Eigenschaften eingebüßt haben kann, so stand zu vermuthen, daß ein künstlicher Querschnitt des Muskels sich eben so wie der natürliche, d. h. negativ, gegen die Außenfläche desselben verhalten werde. Dieß ist in der That der Fall. Schneidet man einen der bezeichneten Oberschenkelmuskeln vom Frosch senkrecht auf die Richtung der Primitiv-Muskelbündel oberhalb der unteren oder unterhalb der oberen Sehne durch, so verhält sich die solchergestalt dargestellte Schnittfläche elek-

tromotorisch homogen mit dem noch mit der Sehne bekleideten natürlichen Querschnitt am anderen Ende des Muskels, heterogen aber und zwar negativ gegen die Außenfläche des Muskels.

15) Beim Weitergehen findet sich, daß auch die natürliche Außenfläche des Muskels ersetzt werden könne durch eine künstlich, durch Zerreißen oder mittelst des Messers dargestellte so beschaffene Flächenbegrenzung an demselben, daß darin nur Mäntel oder Seitenflächen der als Cylinder oder Prismen gedachten Formelemente des Muskels enthalten sind. Schneidet man aus einem Muskel einen Muskelfleischriemen, das heißt, ein bloßes Bündel von secundären Muskelzellen von cylindrischer oder prismatischer Form, so giebt das Bündel durchaus keine elektromotorische Wirkung, so lange die beiden Enden des indifferenten leitenden Bogens, in welchen die stromprüfende Vorrichtung eingeschaltet ist, an die beiden Grundflächen des Bündels, d. h. an die Querschnitte des Muskels, oder an zwei Punkte des Mantels oder der Seitenflächen des Cylinders oder des Prisma's, welche das Bündel darstellt, angelegt werden. So wie aber der leitende Bogen einen Punkt der künstlichen Außenfläche mit einem Punkt des künstlichen Querschnitts in Verbindung setzt, zeigt die stromprüfende Vorrichtung einen Strom an, der von dem einen Punkt zum andern, in der Richtung wie sie genannt sind, in dem Bogen sich bewegt.

16) Ein jeder Theil des Muskels verhält sich auf dieselbe Weise. Ich habe Wirkungen noch von so kleinen Muskelfleischpartien nach demselben Gesetz freilich mit sehr geringer Intensität erfolgen sehen, daß ich sie nachher mit Bequemlichkeit unter das Mikroskop bringen, und so nicht nur die Zahl der darin enthaltenen Primitiv-Muskelfasern bestimmen, sondern dieselben auch mittelst Essigsäure auf die Gegenwart von Primitiv-Nervenfasern oder secundären Nervenzellen untersuchen

konnte. In Fällen, wo ein deutlicher Strom wahrgenommen worden war, zeigten sich gleichwohl keine Nerven.

17) Dasselbe Gesetz beobachtet man sehr leicht an Muskelfleisch vom Kaninchen, der Taube, dem Schley (*Cypr. Tinca*), vorzüglich aber an den mit besonderer Energie elektromotorisch wirksamen Abdominalmuskeln des Flußkrebse.

18) Dießes Gesetz giebt ein Mittel an die Hand, das Galvani'sche Experiment ohne Metalle in seiner einfachsten und lehrreichsten Form anzustellen. Man präparirt einen Gastrocnemius vom Frosch mit seinem Nervenstamm vom Becken ab frei heraus, beugt den Nerven an seiner Insertionsstelle in den Muskel gegen diesen um, und läßt ihn der Länge nach langsam dergestalt herabsinken, daß immer neue, nach dem centralen Stumpf des Nerven zu gelegene Punkte desselben mit immer neuen, nach dem Schwanzende des Muskels zu gelegenen Punkten in Berührung kommen. So lange nur Außenfläche berührt wird, bleibt Alles in Ruhe; bei gehöriger Reizbarkeit erfolgt dagegen die Zuckung, sobald der Nerv die glänzende Ausbreitung der Achillessehne, d. h. einen den Querschnitt des Muskels bedeckenden indifferenten feuchten Leiter erreicht.

19) Augenscheinlich haben wir hier den Schlüssel zu Matteucci's jüngsten mir bekannt gewordenen hieher gehörigen elektro-physiologischen Untersuchungen gefunden, welche derselbe durch Dumas in der Sitzung der Pariser Academie der Wissenschaften vom 21. Febr. d. J. hat vorlegen lassen, und welche im *Journal l'Institut*, No. 426, mitgetheilt sind. »Wenn der frei heraus präparirte Nerv eines Froschschenkels in eine Muskelwunde irgend eines lebenden Thiers versenkt und in derselben bewegt wird (*pour peu qu'on remue*), so zuckt der Schenkel. Auch entstehen Zuckungen, wenn, während das freie Ende des Nerven den Grund der Wunde berührt, ein anderer Punkt desselben den Wundlippen

genähert wird. Bei Einführung der einen Platinplatte des Multiplimators in die Wunde, während die andere die Oberfläche des Muskels berührt, entsteht ein Ausschlag von 20° bis 30° , dessen constante Richtung einen Strom von Innen nach Außen in der Substanz des Muskels anzeigt.« Aus seinen sämtlichen Versuchen zieht alsdann Matteucci folgenden Schluß: »Wird das Innere einer Muskelmasse (*l'intérieur d'une masse musculaire*) oder der zu derselben gehörige Nerv, oder überhaupt irgend ein Theil des Nervensystems mit der Oberfläche dieser Muskelmasse mittelst eines leitenden Bogens in Verbindung gesetzt, so bewegt sich ein Strom in der Substanz der Organe vom Innern der Muskelmasse oder von dem Nerven nach ihrer Oberfläche oder Sehne hin.« Und a. a. O. No. 461: »*Si l'on met à nu l'un des muscles, soit de la poitrine, soit de la cuisse, d'un pigeon vivant, qu'on coupe ce muscle transversalement, puis, qu'on établit en contact avec lui les nerfs d'une cuisse préparée de grenouille, cette cuisse éprouve sur le champ une contraction . . .* «

20) Ein Stück *N. ischiadicus* vom Frosch oder vom Kaninchen wirkt elektromotorisch nach demselben Gesetz wie ein Stück Muskelfleisch. Berührt der indifferente leitende Bogen zwei Punkte der Außenfläche des Nerven, oder seine beiden Stümpfe, so wird kein Strom bemerkbar seyn; derselbe tritt sogleich hervor, und zwar in gleicher Richtung, obschon viel schwächer, als am Muskelfleischriemen, wenn der indifferente leitende Bogen einen Punkt der Außenfläche des Nerven mit einem Punkte seines Querschnitts in Verbindung setzt. Also auch das Innere des Nerven ist, wie das des Muskels, scheinbar gegen die von der Axe entfernten Theile negativ.

21) In Bezug auf Matteucci's Angabe, die Nerven vermöchten das Innere der Muskelmassen in elektromotorischen Effect zu ersetzen, ist zu erinnern, daß dieselben, gleich dem Sehnengewebe, in solchen Fällen

als indifferente feuchte Leiter fungirend, bald Querschnitt, bald Aufsfläche des Muskels zu ersetzen im Stand seyn würden, wenn nicht der Eintritt eines Nerven in seinen Muskel durch die Sehne die morphologisch unstatthafte Bedingung des ersteren Verhaltens wäre. Daher, so oft ich bisher diesem Umstand meine Aufmerksamkeit geschenkt habe, ich stets gefunden habe, dafs der Nerv als Aufsfläche des Muskels fungirte.

22) Aus den morphologischen Verhältnissen im Verein mit dem unter (12) angemerkten Umstand folgt, dafs es nicht möglich ist, weder am Gesamtmuskel noch am blofsen Muskelfleischriemen unmittelbar das positive Element des thierischen Elektromotors mit dem Ende des indifferenten leitenden Bogens in Berührung zu bringen. Aus Ursachen, welche aus (33) einigermassen einleuchten werden, ist es eben so wenig möglich, des im Querschnitt wirksamen negativen Substrats unmittelbar habhaft zu werden.

23) Es ist bereits unter (3) angedeutet worden, dafs es sich am Gesamtfrosch nicht um ein blofs Spannung setzendes elektromotorisches Moment handle, wie diefs aus sämtlichen früheren Untersuchungen am Frosche bisher einzig hervorging, sondern, da die Haut nebst den darunter befindlichen Lymphseen fortwährend Gelegenheit zur Ausgleichung dieser Spannung darbiete, um einen continuirlich kreisenden Strom. Wir erfahren aus (22), dafs dasselbe sogar am blofsen Muskelfleischriemen, geschweige denn an dem mit den Sehnen und seinen sämtlichen Bindegewebscheiden noch versehenen unversehrten Muskel der Fall sey. Folglich ist jeder Strom, den man mit Hülfe eines dieser thierischen Elektromotore an der in den indifferenten leitenden Bogen eingeschalteten stromprüfenden Vorrichtung darzustellen vermag durch Nebenschließung gewonnen.

24) Bei dem an und für sich geringen Moment der hier in's Spiel kommenden Ströme ist diefs beiläufig der

Grund, weshalb hier nie, wie bei den elektromotorischen Fischen, elektroskopische Wirkungen wahrgenommen werden können.

25) Denkt man sich einen kupfernen, an den Grundflächen roth gelassenen, am Mantel aber verzinkten Cylinder mit einer Schicht eines feuchten Leiters überzogen, so hat man zunächst ein deutliches Bild von dem an der Außenfläche gegen den Querschnitt positiven Muskelfleischriemen. In der That, werden zwei dem Mantel des Cylinders entsprechende Punkte des feuchten Leiters mit den Enden unseres indifferenten leitenden Bogens in Berührung gebracht, so bleibt an der stromprüfenden Vorrichtung das Gleichgewicht ungestört; dasselbe ist der Fall, wenn die berührten Punkte des feuchten Leiters den rothgebliebenen Grundflächen entsprechend sind. Das Gleichgewicht wird dagegen sogleich gestört erscheinen, wenn der eine Punkt über die Zink-Kupfergränze fort in die dem heterogenen Metall entsprechende Flüssigkeitszone hinausgerückt wird.

26) Es folgt, dafs, wenn beide Punkte hart an dieser Gränze entweder beide über Kupfer oder beide über Zink gelegen sind, eine äußerst kleine Verrückung des einen oder des anderen hinreichend seyn wird, um in dem sie verbindenden leitenden Bogen einen Strom, und zwar bald in dieser, bald in jener Richtung hin, zu erregen.

27) Mit vorläufiger Vernachlässigung der unter (15) und (16) mitgetheilten Thatsachen sind also die Muskeln, anscheinend in ihrem Innern negativ gegen ihre Außenfläche, solch einem Cylinder zu vergleichen. Allein die complicirten Formverhältnisse der organischen Körper erlauben nicht, eine exacte Analyse der Ursachen anzustellen, weshalb zwei einander ziemlich ähnlich gebaute Muskeln, bei Berührung ihrer Sehnen mit den Enden des indifferenten leitenden Bogens, der eine nach dieser, der andere nach jener Richtung elektromotorisch wirksam sind.

Da es aber in diesen Fällen möglich ist durch sehr geringe Verrückung der Berührungspunkte bald den Strom verschwinden zu machen, bald Wirkungen in dieser, bald endlich in jener Richtung nach Willkür zu erlangen; da man ferner bei Herstellung einer regelmässigen Form mittelst des Messers stets und ohne Ausnahme das oben ausgesprochene Gesetz bestätigt findet, so liegt es auf der Hand, dafs auch bei jenen Wirkungen an keine andere Heterogenität zu denken sey, als an die zwischen Aufsenfläche und Querschnitt, und dafs es dem besagten Umstand allein zugeschrieben werden müsse, wenn es nur selten glückt, einen deutlichen Zusammenhang zwischen der natürlichen Form des Muskel-Elektromotors und der ursprünglichen Strömungsrichtung nachzuweisen.

28) Dafs man bei oberflächlicher Untersuchung vom Gastrocnemius und dem grossen Unterschenkelstrecker mit seinen verschiedenen Köpfen stets einen Strom in gleicher Richtung als der Strom am Gesamtfrosch und dem Galvani'schen Präparat, d. h. anscheinend nach der Cerebrospinalaxe hin, erhält, leuchtet aus den Formen dieser Muskeln und der mechanischen Construction der Enden des indifferenten leitenden Bogens, auf die Jeder von selbst geführt wird, auf den ersten Blick ein. In der That machen diese Formen, dafs man am Schwanzende der Muskeln stets die silberglänzenden Ausbreitungen der Achillessehne und der entsprechenden Sehne des dem Gastrocnemius höchst ähnlich gebauten grossen Unterschenkelstreckers, d. h. Querschnitt, an dem Kopfende aber, wo die Anheftungen der Primitiv-Muskelbündel grösstentheils tief im Innern des Fleisches verborgen liegen, stets Aufsenfläche mit den Enden des indifferenten leitenden Bogens in Berührung bringt. Es gelingt übrigens sehr leicht, durch Schnitte, welche in passender Weise geführt sind, an beiden Muskeln Flächen darzustellen, zwischen welchen und den Ausbreitungen ihrer Schwanzsehnen keine Strömung, zwischen denselben aber und

Punkten der Außenfläche der Muskeln Strömung in umgekehrter Richtung wie an den unversehrten Muskeln stattfindet. Auch durch bloße Verrückung der Berührungspunkte mit den Enden des leitenden Bogens, welche jedoch hier in größerem Maasstab ausgeführt werden mufs, kann man analoge Resultate erzielen.

29) Aus Vorstehendem ist ferner deutlich, dafs die ganze übrige Masse des Frosches für jeden einzelnen Muskel, den man in der Vorstellung fixirt, Schließung, folglich in Rücksicht auf den indifferenten leitenden Bogen, Nebenschließung bildet.

30) Wäre nun auch diese ganze übrige Masse elektromotorisch indifferent, wer würde sich getrauen an diesem so complicirt geformten feuchten Leiter diejenigen Punkte, die dem Zink, d. h. der Außenfläche des einzig wirksam gedachten Muskels, und diejenigen, welche dem Kupfer, d. h. dem natürlichen Querschnitt dieses Muskels, entsprechen, endlich die Zink-Kupfergränze, um uns dieser schematischen Ausdrucksweise zu bedienen, auch nur annäherungsweise zu bestimmen? — Der Stand der Wissenschaft erlaubt diefs nicht, und somit ist die Nothwendigkeit ausgesprochen, auf eine exacte Auseinandersetzung der Art und Weise, wie die constante Strömungsrichtung am Gesamtfrosch und am Galvani'schen Präparat scheinbar nach der Cerebrospinalaxe hin zu Stande kommt, gänzlich zu verzichten; eine Nothwendigkeit, die noch einleuchtender wird, wenn man in Erwägung zieht, dafs die elektromotorische Thätigkeit vielmehr auf sehr verschiedenen Punkten in dem Körper des Frosches gegenwärtig ist, dafs es daher gar nicht eine, sondern doppelt so viele Zink-Kupfergränzen geben müsse, als es zusammengehörige Systeme von Muskeln, deren natürliche Querschnitte ungefähr nebeneinander zu liegen kommen, giebt, und dafs ein jedes solches System als ein einziger Muskel von außerordentlich complicirtem Bau, und von ganz unbestimmbar modellirten End-Quer-

schnitten zu betrachten ist. Ich halte die entsprechende Bestimmung erwähltermaßen bereits an den doch ungleich einfacher gestalteten einzelnen Muskeln des Frosches für unausführbar.

31) Die am Frosch anfänglich so wunderbar entgegenretende Beharrlichkeit des Stroms anscheinend nach der Cerebrospinalaxe seinen Weg zu nehmen, kann nach alle dem nicht mehr anders denn als eine täuschende Zufälligkeit erscheinen. Man thut daher besser, die Richtung des Stroms in dem Bogen, als, wie Nobili und Matteucci es thaten, die scheinbare in der Substanz der thierischen Elektromotore anzugeben.

32) Von Einfluss auf den Muskelstrom sind folgende Umstände:

1. Die Muskelcontraction. Matteucci hatte in seinem *Essai sur les phénomènes électriques des animaux*; Paris 1840. p. 81. 82 angezeigt, dass im Tetanus der Froschstrom verschwinde. Ich habe mich durch eine große Anzahl der sorgfältigsten Versuche, zu denen ich auf die unter (18) beschriebene Art präparirte Gastrocnemien vom Frosch benutzte, welche ich nach Nobili's Angabe (*Ann. de chim. et de phys. XLIV, p. 89*) vom Nerven aus tetanisirte, und mich dabei der Methode der Compensation bediente, auf's bestimmteste überzeugt, dass in der That während heftiger und andauernder Zusammenziehungen der Strom zwar bei weitem nicht verschwindet, allein doch merklich an Intensität abnimmt. Dasselbe fand ich mittelst der unsicheren, von Matteucci angewandten Methoden, den Gesamtfrosch durch Strychninintoxication, und das galvanische Präparat durch schnelle Präparation in Tetanus zu versetzen, bestätigt. Auch habe ich mich zu überzeugen nicht versäumt, dass diese Abnahme des normalen Stroms nicht daher rühre, wie man wohl hätte vermuthen können, dass während der Muskelzusammenziehung ein in umgekehrter Richtung wie der normale Strom des Gesamtfrosches, des Gal-

vanischen Präparats und des Gastrocnemius, nämlich von der Cerebrospinalaxe nach der Peripherie verlaufender Strom den normalen Strom zum Theil compensire. Eine Deutung dieses Einflusses der Muskularcontraction auf den Strom findet sich unter (49) mitgetheilt. Wie sich der Strom des Nerven verhalte, während das Nervenagens in Thätigkeit ist, bleibt zu untersuchen übrig.

33) 2. Die Todtenstarre. Der todtenstarre Muskel hüßt kurze Zeit nachdem die Reactionsfähigkeit verloren gegangen ist, seinen Strom ein. Auf einem künstlichen Querschnitt stirbt vermuthlich eine dünne Schicht sogleich ab (22). Ein analoger Vorgang wird sich wahrscheinlich an den Nerven nachweisen lassen, wo das Erscheinen der sogenannten Gerinnsel im Innern der Primivtröhren der Todtenstarre solcher Gewebe, welche flüssigen Faserstoff enthalten, entsprechen dürfte.

34) 3. Die Sepsis, das Vertrocknen etc. Der einmal wegen Todtenstarre verschwundene Strom kehrt nicht zurück. Er ist eine lediglich dem lebendigen Gewebe angehörige Erscheinung.

35) 4. Ich habe eine große Anzahl von Versuchen angestellt, deren Resultate sämmtlich nur als Corollarsätze zu (33) zu betrachten sind, indem sie auf die Wirkungsweise verschiedener deletärer Agentien Bezug haben, welche stets darauf hinausläuft, daß die Todtenstarre oder ein ihr entsprechender, mit dem Verlust der Lebenseigenschaften verknüpfter Zustand durch dieselben in kürzester Zeit herbeigeführt wird. Die Reactionsfähigkeit, und bald darauf der Strom eines Muskels werden vernichtet:

- a) Durch heftige elektrische Schläge.
- b) Durch Gefrieren des Muskels.
- c) Durch Immersion in warmes Wasser, und durch Aussetzung in Wasserdämpfen von bestimmter Temperatur.
- d) Siedhitze.

e) Folgende bis jetzt erprobte Reagentien: Alkoholhaltige (*Ph. Bor.*) und alkoholfreie, ziemlich concentrirte Blausäure. Essigsäures Strychnium. *Extr. Nuc. Vom. (aq.)*. Essigsäures Morphinum. *Extr. Op. aq.* Arsenige Säure. Salpetersäure. Salpetrige Säure. Essigsäure. Kalihydrat. Kohlensaures Kali. Chlornatrium. Sublimat. *Liq. Chlor. Stib. Ph. Bor.* Salpetersaures Silberoxyd. Schwefelsaures Kupferoxyd. Bleiessig *Ph. Bor.* Schwefelwasserstoff-Ammoniak. Chlorwasser *Ph. Bor.* Destillirtes Wasser. Alkohol. Schwefeläther.

36) Aus der ganzen (von 33 bis 35) angedeuteten Versuchsreihe folgt, dafs zur wahrnehmbaren Muskelzusammenziehung eine gröfsere Integrität des Muskelgewebes gehört, als zur elektromotorischen Wirkung desselben. Da indessen die Contraction erst wahrnehmbar zu werden beginnt, wenn ihr Moment grofs genug geworden ist, um Masse, Steifigkeit und Adhäsion des aufliegenden contractilen Organs zu überwinden, so wäre es denkbar, dafs Contraction und Strom als Minima durchaus gleichzeitig verschwänden.

37) Der Einflufs der Todesarten des Gesamtfrosches (Intoxication mit Blausäure, salpetersaurem Strychnium, *Tinct. Op. simpl., Commotio cerebri, Decapitation, Krankheit u. s. f.*) auf den Muskelstrom ist abhängig von dem Einflufs dieser Todesarten auf das frühere oder spätere Eintreten der Todtenstarre, d. h. des Muskelstodes. Diefs im Verein mit Brück e's Bemerkung in Müller's Archiv, 1842, S. 185, ist unstreitig die Deutung der Behauptung Matteucci's, dafs der im Tetanus wegen Strychninvergiftung verschwundene Strom überhaupt nicht wiederkehre. *Essai etc., p. 82.*

38) Was die Ursache des Stroms betrifft, so giebt folgender Versuch einen schätzbaren Fingerzeig an die Hand, um derselben auf die Spur zu kommen. Ich habe bereits oben unter (3) angedeutet, dafs die auferordentlich geringe Intensität des Froschstroms am nicht enthäu-

teten, sowohl frisch getödteten als noch lebendigen Frosch nur zum kleinsten Theil dadurch bedingt sey, daß die Haut in Rücksicht des indifferenten leitenden Bogens, in welchen die stromprüfende Vorrichtung eingeschaltet ist, Nebenschließung bilde. Zieht man dem einmal enthäutet gewesenen Frosch die Haut wieder über, so bleibt der Strom ungleich größer, als er vor dem Abziehen gewesen war, wenn er auch wirklich durch ihre Gegenwart geschwächt erscheint, wie es denn möglich ist, durch eine Theden'sche Einwicklung mittelst schmalen, mit irgend einer gut leitenden Flüssigkeit getränkten Fließpapierstreifen dem Frosch alle Wirksamkeit in dem indifferenten leitenden Bogen zu benehmen. Die relative Größe des Stroms vor und nach dem Abziehen der Haut schätzt man durch Vergleichung der Stromintensitäten vor dem Abziehen und nach dem Wiederüberziehen der Haut.

39) Es ist kein Grund vorhanden anzunehmen, daß das Abziehen der Haut anders zur Verstärkung des Muskelstroms beitrage, als durch die freigegebene Berührung mit der atmosphärischen Luft.

40) Da auch der unversehrte lebendige Frosch sich schwach elektromotorisch wirksam erweist, und da aus den Versuchen mit Ketten aus mehr als Einem flüssigen Leiter hervorgeht, daß concentrirtes Alkali sich zu verdünntem verhält, wie Alkali gegen Säure (Fechner, Lehrbuch des Galvan. und der Electroch. 1829, S. 452), was freilich noch der Bestätigung in Betreff der verschiedenen Concentrationsgrade des Eiweißes bedürfte; da ferner auch der künstliche Querschnitt sich negativ gegen die Außenfläche verhält, so scheint es zuvörderst unmöglich, das Phänomen des Muskelstroms auf eine solche, durch Eintrocknen des Eiweißes an der Außenfläche gesetzte Differenz zurückzuführen; wobei übrigens die Abnahme desselben bei der Contraction, seine Unveränderlichkeit während des Lebens, und sein spurloses

Verschwinden nach dem Tode des Muskels ganz unerklärt bleiben würden.

41) Eben so wenig dem Thatbestand entsprechend würde die Annahme seyn, in Berührung mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft, von dem allein begreiflich die Rede hier seyn kann, erlitten die Muskeln irgend welche Veränderung ihrer Außenfläche, der nämlich ihr Inneres, folglich ihr künstlicher Querschnitt, nicht fähig wäre. So sehe man noch im Stadium der Sepsis blafsgelbe Gesichtsmuskeln während der Präparation durch Berührung mit der atmosphärischen Luft eine Veränderung eingehen, vermöge welcher sie gelbroth werden. Durch die Haut hindurch erlitten die Muskeln die den Muskelstrom bedingende Differenzirung auch am unversehrten lebendigen Frosch in sehr geringem Grade. Diese Annahme widerlegt sich aus den unter (15) und (16) beschriebenen Erfahrungen.

42) Dafs ich in Folgendem zu verschiedenen Malen den Boden der unmittelbaren Erfahrung verlasse, ist mir wohl bewußt; allein die Hypothesen, welche ich mitzutheilen gedenke, tragen einmal das Gepräge einer hohen Wahrscheinlichkeit an sich, zweitens eröffnen sie die Aussicht auf eine Reihe der interessantesten Untersuchungen. Ich vorenthalte sie folglich nicht.

Die Schwierigkeiten, welche aus (15) und (16) für die so eben auseinandergesetzte Annahme (41) hervorgehen, fallen sämmtlich fort, wenn man sich vorstellt, dafs nicht der Querschnitt des Gesamtmuskels es sey, welcher sich negativ verhalte gegen die Außenfläche desselben, folglich auch nicht das Gesamttinnere des Muskels, welches unfähig sey, in Berührung mit der atmosphärischen Luft dieselbe Veränderung, wie die Außenfläche, einzugehen, was eben der Erfahrung widerspricht; sondern dafs das wesentlich negative Element in jenem Querschnitt das darin blofsgelegte Innere der Primitiv-Muskelbündel oder der secundären Muskelzellen sey, welches

ches sich negativ verhalte gegen die Außenfläche derselben, und unfähig sey, die bezeichnete Veränderung zu erleiden. Die freien Enden der Primitiv-Muskelbündel, die den natürlichen Querschnitt bilden, sind gleichfalls dieser Veränderung unfähig. Annehmen, daß dieselben durch ihre natürliche Bedeckung mit Sehngewebe dagegen geschützt seyen, wäre physikalisch unstatthaft.

43) Eine einfache Construction zeigt, daß der unter (27) als Schema der Muskelektromotoren angesprochene kupferne, am Mantel verzinkte, an den Grundflächen roth gebliebene, mit einer Schicht eines feuchten Leiters überzogene Cylinder ersetzt werden könne durch ein bündelförmiges System kupferner, am Mantel verzinkter, an der Grundfläche roth gebliebener, in dieselbe Masse des feuchten Leiters getauchter, nirgends sich metallisch berührender cylindrischer Stäbe, ohne daß dadurch in der Richtung und Lage der Resultanten der Curven, in welchen man sich die Ausgleichung der Spannungen auf allen Punkten des feuchten Leiters vor sich gehend zu denken hat, eine wesentliche Veränderung bedingt würde. Die Intensität des in dem indifferenten leitenden Bogen gegenwärtigen Stroms würde *ceteris paribus* vermehrt seyn (67. 76).

44) Augenscheinlich erfüllt ein solches System die Bedingung, die der einzelne Cylinder unerfüllt liefs, beim Zerschneiden desselben seiner Axe nach gleich dem Muskel mit der neuen Schnittfläche sich wie Außenfläche zu verhalten. Wir haben dasselbe folglich bis auf Weiteres (59) als das treueste Schema der Muskelektromotoren anzusehen.

45) Matteucci's unter (19) mitgetheilte Erfahrungen können nicht als Beweis angeführt werden, daß das Innere des Muskels überhaupt sich negativ gegen die Außenfläche verhalte, d. h. daß das Schema des einfachen Cylinders das richtige sey. Selbst wenn Matteucci sich hätte angelegen seyn lassen, die Muskeln

nur nach der Längsrichtung der Primitiv-Muskelbündel zu spalten, könnte billigerweise daran gezweifelt werden, daß dies an einer Muskelmasse eines lebenden Thieres geglückt sey; denn abgesehen davon, daß die Radiation der Fasern in einer solchen aus mehreren Muskeln bestehenden Fleischmasse, namentlich bei höheren Thieren, fast unmöglich genau in Acht zu halten ist, will noch bedacht seyn, daß der gereizte Muskel sich unter dem Messer blitzschnell zusammenzieht, und daß die zickzackförmig eingeknickten Bündel sich der Schneide, die ihrer allgemeinen Richtung parallel geführt wird, alsdann doch stets unter mehr oder weniger großen Winkeln darbieten, wie dies sogar beim Zerschneiden längst frei präparirter noch reactionsfähiger Muskeln der Fall zu seyn pflegt.

46) Mittelst derselben Argumentation a fortiori, durch welche wir oben (30) die Unmöglichkeit, eine vollständige Erklärung der constanten Strömungsrichtung am Gesamtfrosch zu geben, einsichtlich zu machen suchten, können wir jetzt die Schwierigkeiten hervorheben, welche sich dieser Bestimmung bereits an den einzelnen Muskeln eines Thiers entgegensezen (27. 30). In der That bildet — wenn anders unsere Unterstellung der Wirklichkeit gemäß ist — die ganze übrige Masse eines Muskels für jedes einzelne Primitiv-Muskelbündel, welches in der Vorstellung fixirt wird, Schließung; woraus es leicht erscheint, die angedeuteten Consequenzen zu entnehmen.

47) Für jedes einzelne Primitiv-Muskelbündel bildet die ganze übrige Masse des Frosches Schließung.

48) Jetzt erklären sich ungezwungen mehrere nach der ersten Annahme, wonach der Muskel mit dem einfachen am Mantel verziukten Kupfercylinder verglichen wurde, nicht leicht zu deutende Besonderheiten. Aus (46) folgt, daß die ganze übrige Masse eines Muskels in Rücksicht des indifferenten leitenden Bogens, in wel-

chen die stromprüfende Vorrichtung eingeschaltet ist, für jedes in Gedanken festgehaltene Primitiv-Muskelbündel Nebenleitung bilde. Dann aber ist es nach den Ohm'schen Grundsätzen (Die galvanische Kette, S. 70. 193, §. 28) klar, daß sich eine Größe des Muskels denken läßt, bei welcher der Leitungswiderstand dieser Nebenschließung gegen den des indifferenten leitenden Bogens dergestalt verschwindend würde, daß die Intensität des in letzterem gegenwärtigen Stromarmes $= 0$ würde. Dies ist die Deutung des von Matteucci richtig angemerktten Umstands, daß die Intensität des Stroms mit dem Gewicht an Muskelfleisch, wovon er ausgeht, keineswegs im geraden Verhältnisse wächst. *L'Institut*, No. 426.

49) Die Abnahme des Muskelstroms im Tetanus erklärt sich dann vielleicht so, daß, da die ganze Masse des Muskels Nebenschließung für den Strom jedes einzelnen Primitiv-Muskelbündels bildet, diese Masse aber im Tetanus an Querschnitt zu-, an Länge ab-, folglich an Leitungswiderstand abnimmt, der Stromarm in dem leitenden Bogen an Intensität abnehmen muß. — Es läßt sich dagegen einwenden, daß diese Veränderung des Widerstandes beim Tetanus ganzer Glieder zu geringfügig ist, als daß darauf Rücksicht genommen werden könnte. Messende Versuche sind unmöglich. — Während heftiger und andauernder Zusammenziehungen der Arm-, Schulter- und Brustmuskeln des menschlichen Körpers erleidet der Widerstand desselben keine wahrnehmbare Veränderung.

50) Auch der Nervenstrom beruht nun wahrscheinlich auf einer an den Primitiv-Nervenröhren oder sekundären Nervenzellen durch den Zutritt der atmosphärischen Luft gesetzten Veränderung, wobei jedoch der Inhalt derselben, welcher auf dem Querschnitt als negatives Element erscheint, unbetheiligt bleibt.

51) Was die Bestimmung dieser Veränderung selbst,

d. h. der nächsten Ursache des Muskel- und Nervenstroms, betrifft, so folgt erwähntermassen (41) aus (4), daß dieselbe auch am lebendigen unversehrten Frosch vor sich gehen können müsse. Aus (33 bis 37) ging andererseits hervor, daß sie ein nur an dem lebendigen Gewebe stattfindendes Phänomen sey. Es ist daher äußerst unwahrscheinlich, daß dieselbe ein dem Proceß des Lebens selbst fremder, in dem Falle (4) dem in voller Integrität fortwirkenden Organismus durch die äußeren Bedingungen nur vorübergehend, während des Aufenthaltes an der Luft, aufgedrungenen Vorgang sey. Es scheint vielmehr, als müsse eine jede derartige Veränderung durch den unablässig kreisenden Strom des Blutes augenblicklich dergestalt verwischt werden, daß eine merkliche elektromotorische Wirkung niemals zu Stande kommen könne. Bedenkt man nun, daß die durch das Abziehen der Haut möglich gemachte Berührung der atmosphärischen Luft mit den Muskeln, das einzige bisher bekannt gewordene Mittel zur Verstärkung des Muskelstroms ist, so läßt sich doch wiederum die Ansicht nicht von der Hand weisen, daß in dieser Berührung das ursächliche Moment der ganzen Erscheinung überhaupt auch auf ihrer niedrigeren Stufe im lebendigen unversehrten Frosch zu suchen sey. Die dem Leben eigenthümliche Veränderung aber, welche die Berührung mit der atmosphärischen Luft zur nächsten Bedingung hat, ist das Athmen.

52) Pouillet hat gezeigt (*Ann. de chim. et de phys.* XXXV p. 401), daß, wo immer sich Kohle mit Sauerstoff zu Kohlensäure verbindet, die Kohle oder der kohlenhaltige Körper negativ elektrisirt zurückbleibt, während die Kohlensäure, welche auf und davon geht, positiv elektrisirt ist. Denkt man sich einen nassen Faden zwischen Pouillet's brennendem Kohlencylinder und der Messingscheibe angebracht, welcher die Kohlensäure in jenem Experiment die positive Elektrizität abgab, so werden die condensirenden Elektroskope, wel-

che beziehlich mit dem Cylinder und der Scheibe in leitender Verbindung stehen, zusammenfallen, und es wird in dem Faden ein continuirlicher Strom in der Richtung vom Messing zur Kohle gegenwärtig seyn müssen.

53) Denkt man sich ferner, was in Wirklichkeit nicht ausführbar ist, dafs ein Cylinder aus Kohle, in einer sauerstoffhaltigen leitenden Flüssigkeit befindlich, an allen seinen Berührungspunkten mit dieser Flüssigkeit in einem Combustionsprocefs begriffen sey, dessen Product Kohlensäure sey; so wird zwischen dem negativ elektrisirten Cylinder und der positiv elektrisirten Flüssigkeit das Nämliche vor sich gehen müssen, was nach der Lehre von der Contactelektricität bei der Berührung zweier heterogener Metalle vor sich geht; je nachdem nämlich die positiv elektrisirte Flüssigkeit mit dem Leiter von unendlicher Capacität der Erde in Verbindung stände oder nicht, würde dieselbe nicht merklich oder mit einer Kraft a elektroskopisch wirksam seyn, während der Cylinder beziehlich auf diese Fälle mit einer Kraft $2a$ oder a elektroskopisch wirksam seyn würde.

54) Hörte dann für einen Theil der Berührungspunkte zwischen Cylinder und Flüssigkeit, z. B. an den beiden Grundflächen desselben, der Combustionsprocefs plötzlich auf, so würde das Nämliche stattfinden müssen, was oben (52) durch das Anlegen des feuchten leitenden Bogens an Cylinder und Messingscheibe bewirkt wurde; es würden nämlich die Elektroskope, welche die Spannungen der an der Gränze des Cylinders auseinandergehaltenen Elektricitäten anzeigten, zusammenfallen, und in der Flüssigkeit derselbe Strömungsvorgang stattfinden müssen, der oben in dem nassen Faden stattfand; es würde übrigens dieser Strömungsvorgang *ceteris paribus* mit demjenigen übereinkommen, der in dem feuchten Leiter durch die Gegenwart eines kupfernen, an den Grundflächen roth gebliebenen, am Mantel verzinkten Cylinders hervorgebracht werden würde.

55) Der Procefs des Athmens besteht darin, dafs

Sauerstoff im Innern der Gewebe in Kohlensäure umgewandelt wird. Für die Theorie des Athmens würde es von Wichtigkeit seyn, zu ermitteln, ob das Gesetz, welches Brücke in Betreff der in nicht mischbaren Flüssigkeiten aufgelösten starren Körper geltend gefunden hat (*De diffusione humorum per septa mortua et viva. Berol. 1842, p. 33 sqq.*), auch für aufgelöste Gase stattfindet.

56) Stellt man sich vor, daß die Umwandlung des Sauerstoffs in Kohlensäure im Innern der Gewebe nur an der Gränze der Zellen, aus welchen dieselben bestehen, vor sich geht, so ist es leicht, aus (53) und (54) die Folgerungen zu entnehmen, die alsdann in Betreff ihres elektromotorischen Verhaltens, entsprechend den in diesen Nummern bezeichneten einzig denkbaren beiden Fällen, gemacht werden können.

57) Man sieht zunächst, daß die Zellen an allen Punkten ihrer Oberfläche den, vermöge des Kreislaufs sich stets erneuernden Sauerstoff unablässig in Kohlensäure verwandelnd in ihrem Innern negativ elektrisirt seyn müßten, während, bei Isolation des Gesamtzellenorganismus, und abgesehen von der durch Verdunstung der sauren und alkalischen thierischen Flüssigkeiten freier werdenden Elektrizität, derselbe nach Außen mit entgegengesetztem Zeichen elektroskopisch wirksam seyn würde (53). Diefs scheint unmittelbar seine Anwendung zu finden auf die in sich wiederkehrenden Formelemente des unversehrten Nervensystems, an welchem daher künstlich Querschnitte angelegt werden müssen, wenn der unter (54) beschriebene Fall beobachtet werden soll.

58) Die Primitiv-Muskelbündel würden nach dieser Ansicht die Seltsamkeit darbieten, daß ihre, in dem natürlichen Querschnitt des Muskels gelegenen freien Enden des Athmungsprocesses, d. h. der Verwandlung des Sauerstoffs in Kohlensäure unfähig wären. Auf diesem Umstand beruhte denn, *en dernière analyse*, der *courant*

inverse propre de la grenouille. Da man durch den Thatbestand gezwungen ist, irgend welche Heterogenität zwischen diesen freien Enden und der Außenfläche des Muskels anzunehmen, so dürfte diese, allen übrigen Anforderungen Genüge thnende Hypothese vor der Hand die beste seyn.

59) Das oben (44) als treuestes Schema eines Muskelektromotors dargestellte bündelförmige System von kupfernen, am Mantel verzinkten, an der Grundfläche roth gelassenen, in den feuchten Leiter versenkten, nirgends sich metallisch berührenden cylindrischen Stäben wird nun dahin abgeändert werden müssen, dafs wir statt der metallenen Stäbe uns Kohlencylinder, wie den (53. 54) beschriebenen, dasselbe zusammensetzend denken.

60) Die Vergrößerung des Muskelstroms beim Abziehen der Haut beruht darauf, dafs alsdann der Muskel sich nicht mehr mit der geringen Sauerstoffmenge zu begnügen hat, welche ihm mit dem arteriellen Blut zugeführt wird, und außerdem die übrigens auch von Blut durchströmte Haut durchdringt, sondern dafs nun die Aufnahme von Sauerstoff und seine Umwandlung zu Kohlensäure in relativ unbeschränkter Weise vor sich gehen kann.

61) Bewährt sich die hier dargestellte Ansicht ferner in der Wirklichkeit, so ist kaum zu bezweifeln, dafs auch noch von anderen Geweben, als dem Nerven- und Muskelgewebe, elektromotorische Wirkungen erhalten werden können. In der That habe ich bereits an frisch präparirten Schenkel- und Oberschenkelknochen des Frosches in äufserst geringem Grade Negativität des Querschnitts gegen die Außenfläche wahrgenommen. Bei solchen Geweben, an denen Fasern sich nicht wenigstens in parallelen Ebenen kreuzen, würde man auf die Wahrnehmung elektroskopischer Wirkungen, d. h. abgesehen von dem bereits oben (57) angemerkten Umstand betreffend die durch Verdunstung freiwerdende Elektrizität, freier + Elektrizität im Zustande der Isolation be-

schränkt seyn. — Die Untersuchung, ob auch an andern Geweben mit frei endenden Fasern, wie am Muskelgewebe, Heterogenität des natürlichen Querschnitts und der Aufsfläche stattfindet, hat Wichtigkeit in Bezug auf die Motivirung der unter (63) zu stellenden Frage. — Vergl. endlich, was Pflanzen betrifft, Pouillet a. a. O. p. 414 und Becquerel, *Traité expérimental de l'Electricité et du magnétisme*, IV. p. 161.

62) Ich habe eine Reihe von Versuchen über das Verhalten des Muskelstroms während des Aufenthalts der Muskeln in verschiedenen Gasarten angestellt. Es scheint nämlich, als ob der Strom, wenn anders seine Größe eine Function der Intensität des Athmungsprocesses ist, verschwinden müsse, wenn der Muskel in einer Stickgas-, Wasserstoff-, oder Kohlensäure-Atmosphäre allen freien Sauerstoff von sich gegeben hat; daß er dagegen zunehmen müsse, wenn der Athmungsprocess in einer Sauerstoff- oder Stickstoffoxydul-Atmosphäre das Maximum seiner Lebendigkeit erreicht. In der That hatte ich bereits in allen diesen Fällen die erwarteten Wirkungen mit der täuschendsten Uebereinstimmung erfolgen sehen, als ich auf Umstände aufmerksam wurde, welche diese gleichwohl anscheinend mit allen Cautelen gemachten Beobachtungen, wenigstens in Betreff des Stickgases und der Kohlensäure, in der Art verdächtigten, daß ich die Nothwendigkeit einsah, eine andere Methode des Experimentirens in Anwendung zu bringen, und bei der ungeweihten Vorsicht, welche Untersuchungen in diesem Gebiet verlangen, mich nicht getraue, für die Exactitude jener schon gewonnenen Ergebnisse einzustehen. Die Zunahme des Stroms im Sauerstoff und Lustgas ist dagegen unbezweifelt, und findet in sehr beträchtlichem Maasse statt. Zu erinnern ist jedoch, daß, wenn auch die Abnahme desselben sich in den drei andern Gasarten eben so bestimmt herausstellt, damit noch nichts anderes gewonnen seyn würde, als die Bestätigung des Satzes, daß die Größe des

Stroms eine Function der Intensität des Athmungsprocesses sey; keineswegs aber ein hinlänglich strenger Beweis für die in Betracht der Uebereinstimmung mit den Pouillet'schen Thatsachen alsdann nur äußerst wahrscheinlich gemachte Ansicht, daß dieser Proceß das nächste ursächliche Moment der elektromotorischen Wirkung enthalte.

63) Weshalb die freien Enden der secundären Muskelzelle nicht athmen? d. h. weshalb gerade die Muskeln mit einem *Strom* begabt sind? Diese teleologische Frage weiß ich bislang nur dahin zu beantworten, daß es mir wenigstens nicht hat glücken wollen, eine Combination ausfindig zu machen, wie dieser Strom für den Act der Muskelcontraction, d. h. für die unter dem Einfluß des irgendwie in Thätigkeit versetzten Nervenagens vor sich gehende Verwandlung des erschlafften Muskels in einen elastischen Körper von einem durch die Intensität der Innervation bestimmten Modulus, etwa verwendet werden könnte. Die Vorstellung, die während der Erschlaffung im strömenden Zustande wahrnehmbaren Elektricitäten würden zur Vermittlung der Muskelzusammenziehung elektroskopisch wirksam, ist physikalisch unstatthaft, und führt zu keinem Resultat.

64) Die Phänomene der *elektromotorischen Fische* erklären sich hinreichend aus der Annahme, zu der man physiologischerseits gezwungen ist, daß das wesentlich Elektromotorische an den Organen derselben die bekannten Gallertscheibchen sind. Die übrigen Formelemente des Organs dienen theils zum Gerüst, um die Scheibchen in ihrer Lage zu erhalten, und ihnen Nerven und Blutgefäße zuzuführen (aponeurotische Scheidewände), theils eben zur Ernährung und Innervation (Blutgefäße, *Epithelium*, Nerven).

65) Unter dem Einfluß des irgendwie in Thätigkeit versetzten Nervenagens wirken die Gallertscheibchen in bestimmter Richtung elektromotorisch. Diese Richtung mag in irgend welchem Bezuge zur Strömungsrichtung

des Nervenagens in den an ihrer Grundfläche sich ausbreitenden Nervenschlingen stehen. Eine Annahme, die nicht Räthselhafteres darbietet, als der unter (63) schematisirte Act der Muskelcontraction. Kann jeder beliebige motorische Nerv, dem Nerven eines elektrischen Organs substituirt, elektromotorisch wirken? Mikroskopische Untersuchungen haben zu entscheiden, ob diese Frage negativ, oder ob sie, was wahrscheinlich ist, gar nicht zu beantworten ist.

66) Schon Volta stellte die richtige Betrachtung an (Gilbert's Annal. Bd. X S. 447. 448), dafs es in den elektrischen Organen durchaus an einem isolirenden Element gebreche, und dafs sie deshalb nur mit seiner Säule, nicht aber mit Spannungsapparaten verglichen werden dürften. Der Vergleich mit der Säule ward meistens aufgenommen, aber die morphologisch unstatthafte Forderung irgendwie an den Organen angebrachter isolirender Hüllen findet sich in allen Versuchen, die Wirkungen der Zitterfische zu erklären, ja in Volta's eigem Schema eines solchen Geschöpfs (a. a. O. S. 449) erneuert.

67) Ein in einem mit leitender Flüssigkeit gefüllten Troge, auf die hohe Kante gestellter, aus zweien auf einander gelötheten heterogenen Metallplatten bestehender Elektromotor erfüllt den ganzen Trog mit den Curven, in welchen man sich die Ausgleichung der Spannungen vor sich gehend zu denken hat. n dergleichen Elektromotore in passender Anordnung neben einander in den Trog gestellt, würden unter dem nicht zu realisirenden Vorbehalt, dafs die Curven gleicher Intensität nicht merklich auseinanderfallen, und mit Vernachlässigung der Veränderung des Leitungswiderstandes auf jedem Punkt des feuchten Leiters eine n fach stärkere Wirkung hervorbringen.

68) In der Wirklichkeit, z. B. bei den elektromotorischen Fischen, deren Gallertscheibchen dergleichen Elektromotoren zu vergleichen sind, während alle übrige

gen Formelemente der Organe, der ganze übrige Fisch, und von dem umgebenden Medium eine um so grössere Masse, als das spezifische Leitungsvermögen desselben kleiner ist, nebst den darin befindlichen Opfern der Entladung, der Flüssigkeit des Troges entsprechen, wird n freilich fn , worin $f < 1$; allein n beträgt nach Valentini, Artikel Elektrizität der Thiere, in R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie etc. 2. Lieferung S. 254. 269, an einem *T. Galvani* mittlerer Gröfse ungefähr 251976, an einem ausgewachsenen Zitteraal aber zwischen 4 und 5 Millionen.

69) Faraday's Entdeckung am Gymnotus (*Exp. Res. in Electr. Ser. XV. 1764, in Philos. Trans. 1839. Part. I. p. 4*): »*that any given part is negative to other parts anterior to it, and positive to such as are behind it,*« erklärt sich nach unseren Vordersätzen eben so ungezwungen, als nach der sonst unhaltbaren Annahme, der Gymnotus gliche einer in einem Glasrohr unter Wasser versenkten Säule, deren Platinende der Kopf und deren Zinkende der Schwanz des Thieres entsprechen würden.

70) Nach jener Annahme erklärt sich nicht, was nach der unsrigen auf der Hand liegt, dafs (a. a. O. 1776) nämlich um so kräftigere physiologische Wirkungen beobachtet werden, je weiter auseinandergelegene Punkte der Länge des Fisches berührt werden.

71) Matteucci sagt vom Zitterrochen (*Essai etc., p. 47. 2o, 48. 3o*): »*Les points de l'organe sur la face dorsale, qui sont au-dessus des nerfs qui pénètrent dans cet organe, sont positifs relativement aux autres points de la même face dorsale. — Les points de l'organe sur la face ventrale, qui correspondent à ceux qui sont positifs sur la face dorsale, sont négatifs relativement aux autres points de la même face ventrale.*« Diels beruht nach unseren Vordersätzen auf dem Umstand, dafs die Höhe der Säulen des Organs nach dem Umfang der Scheibe hin abnimmt.

72) Matteucci sagt (*Arch. de l'Electricité, No. 3, p. 573. Vergl. Essai etc. a. a. O.*): »J'ai coupé horizontalement l'organe d'une torpille vivante, et j'y ai introduit une lame de verre bien recouverte de vernis, de manière à séparer les deux parties de l'organe. J'ai mis en contact les deux faces internes de l'organe séparé par la lame de verre, avec les deux extrémités de platine du galvanomètre. J'ai touché en des points différents ces deux faces nouvelles de l'organe; j'ai opéré ce contact avec des lames plus ou moins larges; j'ai mis en contact des points internes, appartenant au dos, avec des points du bas-ventre, ou vice versa, et la direction de la décharge a été constante, c'est-à-dire que la lame en contact avec la face interne qui appartenait au dos remplissait le rôle de pôle positif, et la lame en contact avec l'autre face appartenant au bas-ventre, celui de pôle négatif. Ce fait détruit, selon moi, toute possibilité d'analogie entre l'organe de la torpille et les appareils électriques que nous possédons. Quel que soit le point, en effet, où l'on interrompe une pile ou une spirale électrodynamique, on produit deux nouveaux pôles: l'extrémité qui reste réunie au pôle positif, devient un pôle négatif, et celle qui reste réunie au pôle négatif, devient un pôle positif.«

Leider ist der Thatbestand dieses vermeintlichen Experimentum crucis so unvollkommen mitgetheilt, dafs es unmöglich erscheint, mittelst desselben eine Theorie zu prüfen oder zu begründen. War das symmetrische Organ unversehrt? In diesem Fall hatte Matteucci in dem Multiplicatordraht den Schlag dieses Organs. Angenommen jedoch, nach *Essai etc. p. 47*: »Lorsqu'on veut des résultats comparables et exacts, il vaut mieux détruire l'un des organes, ce qu'on fait en le coupant tout entier ou seulement les nerfs. On fait alors l'expérience sur l'organe laissé intact, sans avoir à craindre que la décharge de l'autre vienne à troubler celui qu'on étudie« — es sey das-

selbe gelähmt gewesen, so fragt sich's noch, war das Organ, an dem experimentirt wurde, in seiner ganzen Ausdehnung in eine obere und eine untere Hälfte getheilt, oder hatte es nur einen horizontalen Einschnitt? Das letztere scheint das wahrscheinlichere, einmal an und für sich, zweitens nach der von Matteucci in der Beschreibung, die er bereits vor zwei Jahren von demselben Experiment gab, gestellten Alternative (*Essai etc. p. 48*): » *On coupe l'organe horizontalement, on sépare avec une lame de verre les deux faces intérieures, ou bien on le coupe verticalement, et l'on y introduit plus ou moins profondément les lames de platine.*« Dann enthielte aber auch dieser Versuch Nichts, was nicht nach der hier gegebenen Theorie der Fall seyn müßte.

73) Die Schuppenlosigkeit der Haut sämmtlicher bis jetzt mit Sicherheit gekannten elektromotorischen Fische erscheint als eine zweckgemäße Consequenz der Ohm'schen Formeln über die relative Intensität der verschiedenen Stromarme in mehreren eine und dieselbe Kette gleichzeitig schließenden leitenden Bögen (48). Es ist zu vermuthen, daß die einen Knochenkern enthaltenden Schuppen als besser leitende Zwischenplatten den Widerstand der Haut verkleinernd wirken würden.

74) Minder leicht zu deuten sind an den elektromotorischen Fischen die beiden folgenden Erscheinungen, über die es übrigens noch sehr an sicheren Erfahrungen gebricht. — Ich meine zuerst die angeblich ohne Kettenverband von Zitterfischen erhaltenen Schläge. Dieselben würden, wenn es wirklich dergleichen giebt, richtiger den Unipolarcontractionen verglichen werden, welche an sehr kräftigen 2000plattigen Volta'schen Apparaten auch an Muskeln stärkerer Thiere beobachtet worden sind, als der physiologischen Wirkung der Conductorfunken mächtiger Elektrisirmaschinen.

75) Der andere räthselhafte Umstand liegt aufser-

halb des Bereichs der hier bezweckten Theorie. Es ist der, daß der Zitterfisch selbst weder seine eigenen noch die von seines Gleichen ausgehenden Wirkungen zu verspüren scheint, obschon seine elektrischen Nerven, und seine Empfindungs- und Bewegungsnerven so gut wie die anderen Thiere, für den galvanischen Reiz empfänglich sind.

76) Zwischen den Phänomenen des Muskel- und Nervenstroms und denen der elektromotorischen Fische ist zwar kein Zusammenhang einzusehen. Nichts destoweniger treffen diese Erscheinungen darin überein, daß es bei beiden sich um Strömungen in Kreisen begreiflich nur aus feuchten Leitern handelt, bei beiden die Bewegung der Elektrizität innerhalb derselben auf sehr complicirte Weise nach mehreren Dimensionen geschieht, während die Multiplication der Intensität der den einzelnen Spannungen entsprechenden Elementarströmungen auf dem unter (67) angedeuteten Wege zu Stande kommt, den man den der unvollkommenen Säulenbildung nennen könnte; bei beiden endlich sämtliche an unseren stromprüfenden Vorrichtungen wahrzunehmenden Wirkungen auf dem Wege der Nebenschließung gewonnen sind.

Die nähere experimentelle und theoretische Begründung der hier aufgestellten Behauptungen wird den Inhalt einer demnächst erscheinenden größeren Arbeit über thierische Elektrizität bilden.

