Dimensionen des Streifengitters nur dann sichtbar wird, wenn man der Breite des Gitters entsprechend den Abstand desselben vom Auge vergrößert und dass dadurch bald, der Sehschärfe wegen, eine Grenze erreicht wird, endlich dass die Helligkeit der Beleuchtung einen weniger störenden Einfluss hat, als bei vielen anderen Erscheinungen des simultanen Contrastes. Bei Momentanbeleuchtung war sie nicht mit Sicherheit wahrzunehmen. Die erstgenannten Erfahrungen stimmen gut zu der oben gegebenen Erklärung.

Ohne Zweifel sind Anderen bereits ähnliche Erscheinungen bekannt; die hier erörterte habe ich nirgends beschrieben gefunden, und da sie zur Demonstration des simultanen Contrastes in Vorlesungen sehr geeignet ist, habe ich es für der Mühe werth gehalten, diese kurze Notiz zu veröffentlichen.

5. Weitere Untersuchungen über die Ursache der electromotorischen Erscheinungen an Muskeln und Nerven.

Von L. Hermann.

1. Ueber das Fehlen des Stromes in unversehrten ruhenden Muskeln.

Die Behauptung eines präexistirenden Muskelstroms in den unversehrten ruhenden Muskeln basirt jetzt einzig und allein auf Strömen, welche H. Munk¹⁾ bei den nach meiner Angabe mit zwei Haut-Aetzstellen versehenen Fröschen mit seiner Boussole, deren Empfindlichkeit die meines Multiplicators um Vieles übertreffen soll, zwischen diesen Aetzstellen, meinen negativen Befunden zuwider, gefunden hat. Auf diese äusserst schwachen und der Richtung nach ganz inconstanten Ströme thürmt sich ein ganzes Gebäude von Schlüssen, so das Bestehen dieses präformirten Muskelstromes in allen anderen Thieren, ferner das Bestehen eines präformirten Nervenstromes in allen Thieren, welches nach Munk »sinniger Weise nicht zu bezweifeln ist«, obgleich in dem einzigen Falle, in welchem eine natürliche Nervenendigung auf Strom untersucht ist, nämlich am peripherischen Ende des Opticus, weder von du Bois-Reymond noch von mir ein Strom gefunden worden ist; weiter die Deutung der Actionsströme als »negative Schwankungen« des ruhenden Muskelstroms, die Annahme einer durch den Winterschlaf besonders stark sich entwickelnden, aber stets vorhandenen abnorm wirkenden Schicht oder Strecke an den natürlichen Muskelfaserenden, weiter

1) Ueber die Präexistenz der elektrischen Gegensätze im Muskel und Nerven. Archiv f. Anat. u. Physiol. 1868. p. 529—583.

die Theilnahmlosigkeit dieser Schicht bei der Actionsschwankung endlich die Hypothese regulär angeordneter, drehbarer electromotischer Gebilde im Innern der Muskeln und Nerven.

Untersuchen wir jetzt das Fundament, auf welches Munk noch jetzt dieses ungeheure Gebäude aufzuthürmen für kein Wagstück hält. Dies Fundament besteht in einem äusserst schwachen, nur mit äusserst feinen Mitteln wahrzunehmenden Strome von durchaus variabler Richtung in einem Kreise, in dem sich eine ganze Kette von Leitern zweiter Klasse befindet.

Bekanntlich ist, wenn die Empfindlichkeit der rheoscopischen Vorrichtung eine gewisse Grenze überschreitet, eine Million gegen Eins zu wetten, dass ein schwacher Strom in der einen oder der anderen Richtung sich kundgeben wird, sobald auch nur ein einziger feuchter Leiter im Kreise ist. Ein solcher Versuchskreis gleicht einer ungemein feinen chemischen Waage, welche ohne Glasgehäuse den Luftströmungen, den Wärmestrahlen u. s. w. preisgegeben ist. Wer mit einer solchen Waage etwa die Gleichheit zweier Gewichte demonstrieren wollte, hätte dem gegenüber, der ihre Ungleichheit behauptet, ohne mit Bestimmtheit zu sagen, welches das schwerere sei, ein schweres Spiel. In dieser Lage bin ich den Behauptungen Munk's gegenüber. Ein Glasgehäuse können wir beide nicht über die rheoscopische Waage stellen; Herr Munk weiss recht gut, dass er beim Oeffnen seines Schlüssels zur Boussole, selbst wenn nur die beiden Thonstiefelectroden im Kreise sind und ihre Ungleichartigkeit eben noch auf das Genaueste compensirt war, fast mit absoluter Sicherheit einen Ausschlag zu erwarten hat, um so sicherer, je längere Zeit seit der Compensation verflossen ist, und ganz besonders, wenn er die Thonspitzen nach der Compensation einen Augenblick von einander entfernt und wieder mit denselben oder gar mit anderen Punkten in Berührung gebracht hat; die Ursache dieser Ströme ist meist nicht anzugeben. Vollends aber wäre es verwegen Stromlosigkeit zu erwarten, wenn man die nach der Compensation getrennten Thonspitzen nun durch einen anscheinend indifferenten Leiter, oder gar durch eine Kette solcher Leiter, wie sie in den aus zahlreichen Geweben zusammengesetzten thierischen Theilen stets vorhanden ist, mit einander verbindet. Selbst wenn diese Theile an sich bei ihrem Contract sich völlig gleichartig verhielten, so bieten schon die unvermeidlichen Temperaturungleichheiten Gelegenheit genug zu schwachen, uncontrollirbaren Thermoströmen (vgl. z. B.

den zweiten Abschnitt dieser Arbeit). So sind die unberechenbaren Einflüsse hier gewiss zahlreicher als diejenigen, welche man bei einer nackten chemischen Waage zu fürchten hat; jeder dieser Einflüsse aber modificirt das Resultat zu Gunsten meines Gegners.

Noch mehr aber. In jeder Versuchsreihe giebt es, selbst bei erprobter Geschicklichkeit und bei der äussersten Sorgfalt, eine grosse Zahl misslungener Experimente. Das Thier kann mit oder ohne Wissen des Experimentators misshandelt, die Haut irgendwo zufällig mit einer differenten Flüssigkeit berührt, ein Muskel gequetscht sein, tausenderlei Unfälle können bemerkt oder unbemerkt passiren; — jeder derselben, kann man sagen, setzt eine Stromesursache. Jeder solcher Fall zählt nun für den, welcher dem Gegner gegenüber einen Strom behauptet; ihm kann kein Versuch missglücken, das Resultat ist sicher immer für ihn; ein Strom wird nie ausbleiben. Derjenige, welcher in meinem eben gebrauchten Beispiele die Gleichheit zweier Gewichte einem Andern entgegen behauptet, ist in der peinlichen Lage, das Etui mit seinen beiden Gewichten immer unter sicherem Verschluss halten zu müssen; er wird sie nicht gern seinem Gegner in die Hand geben, damit dieser sie selbst auf die feine Waage lege; jede ungeschickte Berührung, die kleinste Verletzung, Verunreinigung, ungleiche Temperatur, kurz jeder denkbare Fehler irgend welcher Art kommt bei der Expertise dem Gegner zu Gute. Wenn Herr Munk und ich vor Zeugen den Versuch zehnmal hintereinander mit denselben Vorrichtungen anstellen sollten, ich bin sicher, dass die Summe der Ausschläge bei ihm grösser sein wird, als bei mir. Während ich mit peinlichster Sorgfalt den Frosch, an dem ich die Stromlosigkeit erweisen soll, vor jeder unnützen Berührung wie meinen Augapfel schütze, wird Herr Munk, von solcher Angst bezüglich seines Erfolges frei, zwar, das traue ich ihm zu, genau nach den Regeln der Kunst arbeiten, aber immerhin weniger instinctmässig als ich jede Schädlichkeit herauszufühlen gedrängt sein.

Man sollte sich also doch, dünkte ich, über eine gewisse quantitative Grenze einigen, jenseits deren die Ströme überhaupt nicht mehr als zu wissenschaftlichen Schlüssen berechtigt gelten dürfen, namentlich wenn ihre Richtung nicht ganz constant ist. Diese Grenze (für welche sich leicht ein Ausdruck aus den Verhältnissen ergibt, vgl. unten S. 27) wird natürlich um so höher gezogen werden müssen, je inconstanter die Richtung ist, und es ist sehr die

Frage, ob bei der Regellosigkeit der Ströme um die es sich hier handelt bezüglich ihrer Richtung, ein Physiker überhaupt irgend einen Schluss, auch wenn sie noch so stark wären, sich erlauben würde. Es ist dies kein Vorwurf für den Begründer der Präexistenzlehre, wohl aber für Munk. Man vergesse nur nicht die historische Entwicklung unserer Frage. Als zum ersten Male der Nachweis des Stromes am unenthäuteten Frosche versucht wurde, da galt die Präexistenz desselben bereits aus andern Gründen (weil nämlich wegen der ätzenden Kochsalzlösung stets die Sehne wie der künstliche Querschnitt negativ gefunden worden war) für feststehend, und dieser Nachweis schien fast überflüssig¹⁾; damals konnte man sich also selbst mit variablen Stromrichtungen zufrieden geben, wenn sie nur ungefähr sich mit den Gesetzen der Ströme präparirter Muskeln vereinigen liessen; nun aber waren sogar die damals am unenthäuteten Frosche gefundenen Ströme durchweg Einer Richtung (weil sie von Anätzung der Muskeln herrührten²⁾) und schienen also um so mehr die Präexistenzlehre zu bestätigen. Seitdem aber sich die Ströme unverletzter Muskeln als regellos erwiesen haben, und ein Weg bekannt ist, alle Muskelströme ohne Annahme einer Präexistenz zu erklären, ist es unumgänglich nothwendig einen ganz stringenten Beweis für die Präexistenz zu führen, um dieses jetzt ganz unwahrscheinliche Dogma aufrecht zu erhalten.

Welche Grösse haben nun die von Munk zwischen zwei Aetzstellen gefundenen Ströme? Auffallenderweise giebt Munk hierüber nicht den mindesten numerischen Anhalt. Zweimal ist in seiner Arbeit von ihnen die Rede: S. 563 nennt er sie »auf- oder absteigende Ströme von mässiger oder geringer Grösse, ... die mit der Schliessungsdauer sich veränderten«, S. 568 findet er zwischen Nacken oder Steiss einer- und Tarsus andererseits »fast immer schwache aufsteigende und nur höchst selten schwache absteigende«, zwischen Nacken oder Steiss einer- und Zehe andererseits »sowohl auf- als absteigende Ströme« (und zwar erstere Richtung zwischen Steiss und Zehe häufiger, zwischen Nacken und Zehe in der

1) Vgl. du Bois-Reymond, Untersuchungen über thierische Electricität Bd. II. Abth. 2. p. 1, 5 etc.

2) Vgl. meine »Untersuchungen zur Physiologie der Muskeln und Nerven«. 3. Heft. Berlin 1868. p. 6 ff.

Regel). Was heisst »schwache, mässige, geringe« Ströme? (Bezeichnungen höheren Grades kommen nicht vor). Was hinderte Herrn Munk, um von der Grösse der Ströme eine ungefähre Idee zu geben, einige Scalenausschläge oder Kraftmessungen beizufügen? Wenn wir aus der S. 536 gerühmten Empfindlichkeit seiner Boussole auf das, was er mit derselben schwach findet, schliessen dürfen, so sind in der That diese Ströme enorm schwach gewesen; auch würde wohl sonst Munk mir gegenüber, der ich an einem Multiplicator von 20000 Windungen¹⁾ keine nennenswerthe Spur gefunden habe, mehr Aufhebens davon gemacht haben; auffallend ist es auch, dass er durchaus den Schwerpunkt unserer Streitfrage von diesen Strömen hinweg auf eine andere, unten zu erörternde Frage verlegen will (s. unten p. 32 f.).

Ich constatiere nun zunächst, dass Munk's Resultate, ebenso wie die meinigen, von den beim du Bois-Reymond'schen Aetzverfahren gewonnenen höchst beträchtlich abweichen. du Bois-Reymond's stets aufsteigender Strom zwischen mit Kochsalz geätzten Hautstellen gab an einem Multiplicator von 4650 Windungen 10—35° Ausschlag²⁾ (das Wachsthum wegen der allmählich eintretenden, oder nach mir allmählich sich verstärkenden, Durchätzung ging bis zu 60—70°). Jeder Einsichtige wird erkennen wie ungeheuer dieser Strom ist, im Vergleich zu den von Munk mit seinem empfindlichen Apparat beobachteten, zu dessen Constatirung mir ein Multiplicator von 20000 Windungen nicht ausgereicht hatte. Ich hoffe Munk wird zugeben, dass mein Aetzverfahren denn doch einen Vorzug vor dem du Bois-Reymond'schen haben muss, dass mein Versuch also keine blosser Wiederholung des du Bois-Reymond'schen ist, dass, um meinen Einwand gegen den letzteren, es sei eine Durchätzung die Stromesursache gewesen, eine grundlose »Verdächtigung« zu nennen, eine schwer begreifliche Verblendung gehört, dass

1) Dass dieser Multiplicator eine zu feinen Versuchen genügende Empfindlichkeit besass, ist wohl hinlänglich dadurch erwiesen, dass ich damit eine so zarte Erscheinung wie das Abklingen des Electrotonus untersuchen konnte (Untersuchungen 3. Heft p. 71 ff.). Meine Angaben hierüber sind seitdem von Fick, soweit er den Gegenstand untersucht hat (nämlich für die extrapolaren Strecken), vollkommen bestätigt worden (Untersuchungen aus dem physiologischen Laboratorium der Züricher Hochschule. Wien 1869. p. 129 ff.).

2) Untersuchungen über thierische Electricität. II. 2. p. 9.

endlich das Argument, welches mich veranlasste von der gesättigten Kochsalzlösung zu anderen Aetzmitteln überzugehen, dass nämlich erstere »verhältnissmässig (d. h. im Vergleich zu Kreosot und Höllenstein) langsam auf die Haut wirkt und während dessen schnell in die Tiefe diffundirt«, mehr ist als eine »durch keine Erfahrung gestützte Angabe«, wenn anders Herr Munk es als eine Erfahrung gelten lässt, dass Höllenstein mit allen Eiweisskörpern der Gewebe Niederschläge bildet, Kochsalz aber nicht. Ich bin also im Recht, wenn ich oben behaupte, dass die Präexistenzlehre nicht mehr auf dem du Bois-Reymond'schen, sondern auf dem Munk'schen Versuche beruht, zumal da Munk auch aus anderen Gründen, nämlich wegen nicht vermiedener angeblicher Hautstromzweige, die Beweiskraft des du Bois-Reymond'schen Versuchs nicht mehr gelten lässt (p. 565).

Ich komme nun zu den eben berührten Zweigströmen der Haut, welche bei Ableitung von zwei Aetzstellen in den stromprüfenden Kreis mit übergehen. Die Möglichkeit solcher Ströme lässt sich allerdings nicht in Abrede stellen, und ich habe selbst, schon ehe ich von der Munk'schen Arbeit irgendwelche Kenntniss hatte, Versuche angestellt, um sie zu vermeiden¹⁾, auf welche ich unten zurückkomme. Wenn sie wirklich hinreichend stark sind um eine Wirkung auf den Magneten auszuüben, so vereiteln sie, einmal vorhanden, jede Bemühung die vorliegende Frage zu entscheiden, — es bleibt nichts anderes übrig, als den Apparat unempfindlicher zu machen, oder die Ströme ganz zu beseitigen. — Munk aber, der den ersten Ausweg nicht mochte, weil sein Hauptzweck, der Nachweis eines irgendwie gerichteten Stromes im Froschbein, die höchste Empfindlichkeit erforderte, und der auf den zweiten unbegreiflicherweise nicht gekommen ist, glaubte noch einen dritten wählen zu können, nämlich den, die Haut-Zweigströme ihrer Stärke und Richtung nach kennen zu lernen, und sie dann von den beim Hauptversuch beobachteten Strömen zu subtrahiren: der Rest war präexistirender Muskelstrom.

Man höre nun, auf welche Weise dies Vorhaben ausgeführt wird. Die abgezogene Haut, deren Innenfläche »von den anhaften-

1) Ich habe dieselben bereits im September 1868 auf der Dresdener Naturforscherversammlung mitgetheilt. (Vgl. das Tagblatt dieser Versammlung, p. 105.)

den Muskelresten gereinigt« ist, wird auf einem Thonlager ausgebreitet (um die Nebenschliessung welche der Froschkörper den Hautströmen darbietet, möglichst nachzuahmen), und nun die zwischen zwei Aetzstellen restirenden Ströme geprüft. Und diese Ströme unternimmt Munk mit den zwischen den entsprechenden Aetzstellen des unenthäuteten Frosches auftretenden hinsichtlich ihrer Richtung zu vergleichen, und auf eine Differenz im Sinne des Muskelstroms zu fahnden. Dies geschieht ferner nicht etwa an demselben Thiere, was wohl das Natürlichste gewesen wäre (es konnte ja nach Anstellung des Hauptversuchs die Haut abgezogen und mit ihr der Munk'sche Controllversuch angestellt werden), sondern es wird summarisch das häufigere Ergebniss des einen Versuchs mit dem häufigeren des anderen verglichen, wodurch natürlich das Gesamtergebniss ungemein an Werth verliert, um so mehr wenn vielleicht die beiden Versuchsreihen Wochen oder Monate auseinanderliegen.

Dieser Vorwurf ist aber verschwindend klein gegen die groben Versuchsfehler, welche die Bestimmung der Haut-Differenzströme (der Kürze halber erlaube ich mir diesen Ausdruck) enthält. Natürlich ist ja bei der Prüfung der abgezogenen Haut auf die äusserst schwachen Ströme zwischen zwei Aetzstellen die grösste Gefahr, dass sich Ströme noch vorhandener Muskelreste höchst störend und täuschend einmischen. Wie es nun Munk angefangen hat, die in der unteren Rückengegend an die Haut sich inserirenden Muskeln so spurlos zu ecrasiren, dass auch nicht der kleinste Rest übrig blieb, davon schweigt er; und doch würde das kleinste Fetzenchen Muskelfleisch, da es künstlichen Querschnitt hat, von seinem enormen Strom Zweige in die Aetzstellen senden können, die weit stärker sind als die zu erwartenden Hautzweigströme. Munk sagt einfach (S. 566): »nach Reinigung der inneren Hautfläche von den anhaftenden Muskelresten«. Noch viel schlimmer aber steht es um die untere Ableitungsstelle. Hier lässt Munk die im Metatarso-Phalangeal- oder in den ersten Phalangealgelenken exarticulirten Zehenphalangen in der Haut stecken, und leitet dann von der geätzten Zehe ab. Nun aber ist jedes der genannten Gelenke von kleinen Muskeln überbrückt ¹⁾, welche also bei der Exarticulation durchschnitten werden. Munk hat also, wenn er die Zehe als untere

1) Vgl. Ecker, die Anatomie des Frosches. Erste Abtheilung. Braunschweig 1864. p. 127 ff.

Ableitungsstelle benutzt, in deren unmittelbarer Nähe einen querschnittsnen Muskel, der der unteren Ableitungsstelle seinen Längsschnitt, der oberen seinen Querschnitt zukehrt!! Fürwahr kein Wunder, wenn Munk bei Ableitung von der Zehe regelmässig einen schwachen absteigenden Strom erhält, während bei Ableitung vom Tarsus sich nur äusserst schwache regellose Ströme einstellen! Man halte nur immer im Auge, dass es sich bei Munk stets um Versuche mit den empfindlichsten Apparaten handelt.

Die Strombestimmungen Munk's zwischen Aetzstellen der Haut für sich sind also völlig fehlerhaft und nichtssagend; damit fallen aber auch die Schlüsse, welche er aus dem Vergleich dieser Ströme mit den am unenthäuteten Thier gefundenen zieht, selbst wenn man diese letzteren gelten lassen wollte, und somit sein vermeintlicher Beweis für die Präexistenz des Muskelstroms, auf welchen ein so colossales Gebäude sich aufthürmt.

Kurz recapitulirt sind also meine Gegengründe gegen den Munk'schen Nachweis des präexistirenden Muskelstroms folgende: So enorm schwache Ströme, wie die von Munk zwischen den Aetzstellen des unenthäuteten Frosches beobachteten, beweisen aus den oben Seite 16 f. angegebenen Gründen überhaupt Nichts, wenn sie nicht vollkommen constante Richtung haben; die Munk'schen Ströme haben aber keine constante Richtung. Denn das Ueberwiegen der aufsteigenden Richtung bei unterer Ableitung vom Tarsus erklärt sich leicht durch die hier nicht mit Sicherheit zu vermeidende Durchätzung, welche schon dann wirksam ist, wenn sie durchaus noch nicht für das Auge zu erkennen ist (vgl. meine »Untersuchungen«, Heft 3, p. 11—14, 54—56, und ferner die unten mitzutheilenden Versuche mit Aetzung der ganzen Haut); bei unterer Ableitung von der Zehe aber waren Munk's Ströme, wie aus seinen eigenen Worten hervorgeht, nicht im mindesten constanter Richtung, und wäre die Richtung wirklich constant gewesen, so könnte man ihre Beweiskraft immer noch mit Munk's eigenem Einwand gegen mich, nämlich dem der intercurrirenden Hautstromzweige vernichten; denn dass der Versuch Munk's diese Hautstromzweige durch Controllversuche zu eliminiren, ganz besonders für die Zehenableitung, total misslungen ist, ist eben zur Genüge dargethan. Ausserdem aber hat Munk einen Fehler, vor dem ich ausdrücklich gewarnt habe, bei der Zehenätzung nicht vermieden. Er leitet nämlich von den »zwei letzten Phalangen der vierten Zehe« ab (p. 537), hat

also jedenfalls diese, vermuthlich aber sogar auch die erste Phalanx geätzt. Nun liegen aber hier überall kleine Muskeln unter, welche natürlich bei der dünnen Haut der Zehen noch viel leichter als bei dem Tarsusversuche angeätzt werden müssen! Ich selbst habe ausdrücklich angegeben (Untersuchungen 3. Heft, p. 14), dass ich nur »die äusserste Zehenspitze« geätzt habe. Und das nennt Herr Munk eine Wiederholung meiner Versuche »genau nach Vorschrift« (p. 536), und hat den Muth, meine Versuchsergebnisse als »gradezu falsch« zu bezeichnen (p. 563)!

Die Präexistenz des Muskelstroms im unenthäuteten Thiere ist also weder durch du Bois-Reymond's, von Munk selbst als nicht beweisend erklärten, noch durch Munk's eigenen Versuch erwiesen.

Ich selbst behaupte nun aber, bereits in meiner vorigen Arbeit genügend bewiesen zu haben, und werde jetzt den Beweis noch verschärfen, dass der Muskelstrom im unenthäuteten ruhenden Frosche gar nicht vorhanden ist.

Zunächst halte ich meine im dritten Hefte meiner Untersuchungen enthaltenen Angaben über die Erscheinungen bei Ableitung von Aetzstellen des unenthäuteten Thieres zu einem Multiplikator von 20000 Windungen vollständig und in jedem Punkte aufrecht. Es heisst daselbst Seite 14: man erhält zwischen Zehe und Rücken »ganz regelmässig keinen Strom,« und Seite 15: vom unversehrten ruhenden Frosche ist vom Muskelstrom »nicht die geringste Spur« vorhanden. Selbstverständlich denkt sich unter »kein Strom« Niemand, dass die Nadel absolut auf Null stehen bleibt; sondern wenn man auch hie und da Ausschläge von 1—2° beobachtet, so ist man bei einem so empfindlichen Instrument, und bei der nie vollkommenen Gleichartigkeit der Electroden, vollständig berechtigt zu sagen: hier ist kein Strom, hier ist vom Muskelstrom nicht die geringste Spur; namentlich wenn alle Entdeckungen über die Gesetze des Muskelstroms trotz unvollkommener Electroden an Multiplikatoren von weniger als 5000 Windungen gemacht sind. Wie eingebürgert dieser Sprachgebrauch in thierisch-electrischen Untersuchungen ist, kann ich aus du Bois-Reymond's Werken genügend nachweisen; so heisst es z. B. in seinen Untersuchungen II. 2. p. 13, man finde an den mit Kochsalzlösung geätzten Hautstücken »keinen merklichen Strom mehr« (von aussen nach innen), dagegen p. 11, ein mit Kochsalzlösung geätztes Hautstück gebe bei ungleich-

zeitiger Berührung mit den Bäschen »keine Ströme mehr«. Offenbar betrachtet du Bois-Reymond die ohne Zweifel in beiden Fällen aufgetretenen spurweisen Ausschläge als völlig nichtssagend, und nennt daher den Kreis das eine Mal stromlos, während er das andere Mal hinzusetzt, dass der beobachtete Strom keine Beachtung verdiene.

Ich führe dies nur an, um Jedem, der es nicht von vornherein für selbstverständlich gehalten hat, ausdrücklich zu sagen, dass ich auch solche Fälle, wo die Nadel um 1 oder 2 Grad von Null abwich als stromlos bezeichnet habe, und dies immer thun werde, wenn ich mit so empfindlichen Instrumenten arbeite. Unmöglich konnte sich auch Herr Munk im Ernst vorstellen, dass ich habe sagen wollen, die Nadel sei in meinem Versuche beim Oeffnen des Schlüssels immer absolut auf Null geblieben; er wird wissen, dass so etwas unmöglich ist, wenn nicht der Kreis aus lauter Metallen besteht; trotzdem trat eine genaue Einstellung auf Null in den bei weitem meisten Fällen ein, und mit Recht habe ich dies als eine »überraschende Präcision« bezeichnet (p. 14). Auch Munk wird sie constatiren, wenn er meine früheren Versuche genau wiederholt (s. oben p. 22), und mit einem dem meinigen entsprechenden Instrumente arbeitet.¹⁾

1) Sehr nothwendig ist es natürlich, es zu verhindern, dass die Ungleichartigkeit der Electroden während des Versuchs plötzlich Aenderungen erleidet; hierzu ist es nothwendig, erstens die Berührung der Zuleitungsröhren mit den Händen möglichst zu vermeiden, oder wenn es geschehen musste, längere Zeit zu warten, bis dieser störende Einfluss ausgeglichen ist (vgl. hierüber den 2. Abschnitt dieser Arbeit), zweitens aber die Zinkbleche noch eine Strecke weit in die Röhren hinein zu überfirnissen, so dass die Zinklösung bis über die Grenze des Firnisses hinaufreicht, damit bei Neigung der Röhren nicht neue Zinkstellen, die bisher unbenetzt waren, mit der Lösung in Berührung kommen. Unten schneide ich die Zinkbleche so weit ab, dass eine Berührung mit dem Thonpfropf unmöglich wird; die Anwendung der du Bois-Reymond'schen Hilfs-Thonlage, die mit Zinklösung getränkt ist, wird übrigens dadurch nicht ganz überflüssig, denn es wäre möglich, dass eine Diffusion der verdünnten Kochsalzlösung in die gesättigte Zinklösung hinein nicht gleichgültig ist. Die Zinkvitriollösung koche ich nach einer Empfehlung, die ich vor einiger Zeit an einem mir nicht mehr erinnerlichen Orte gelesen habe, vor ihrer Einfüllung in die Vorrathsflasche mit Zinkoxyd, und gebe auch etwas davon in die Vorrathsflasche hinein; die Gleichartigkeit der Electroden wird dadurch befördert.

Jetzt geht Munk bei der Wiederholung meiner Versuche in der Empfindlichkeit der Vorrichtung viel weiter, und findet nun natürlich im Allgemeinen grössere Ablenkungen als ich. Sind diese Ablenkungen wirklich so gross gewesen, dass man sie nicht ohne Weiteres vernachlässigen kann, so entsteht nun die Frage, woher sie rühren. Möglich, dass die von Munk urgirten partiellen Abgleichungen der Hautströme in den Aetzstellen einen Antheil daran haben, aber auch tausend andere Ursachen sind denkbar. Wie nun, wenn ein geätztes Hautstück gar nicht vollkommen stromlos wird? du Bois-Reymond sah mit seinem Multiplicator von 4560 Windungen an den geätzten Hautstücken »keinen merklichen Strom«; an Munk's Boussole werden sich gewiss recht erhebliche Ausschläge zwischen innerer und äusserer Hautfläche nach der Aetzung herausstellen. Anstatt nun so die nächstliegenden Fragen zu entscheiden, statuirt Munk, als wenn ihm die absoluteste Gleichartigkeit seiner Electroden und die absoluteste Stromlosigkeit eines geätzten Hautstückes garantirt wäre, nur zwei mögliche Stromesursachen: die Abgleichungen der Ströme der nicht geätzten Nachbarhaut, und den Muskelstrom.

Was nun jene Abgleichungen betrifft, so lässt sich wie schon bemerkt, die Möglichkeit dass sie merklich werden nicht bestreiten, aber man sollte sie doch vor Allem nachweisen; wenn man eine auf der oberen Fläche verkupferte Zinkplatte horizontal in den horizontalen Spiegel einer leitenden Flüssigkeit wenig tief einsenkt, und nun zu den Seiten dieser Platte gleichartige Multiplicatorenden in die Flüssigkeit eintaucht, so entspricht dies ungefähr unserem Fall; die Metallplatte stellt die wirksame Schicht der Haut, die Flüssigkeit den Froschkörper, und das freie Niveau derselben eine Haut-Aetzstelle vor. Offenbar können nun unter diesen Verhältnissen die von zwei irgendwie gelegenen Oberflächenpunkten abgeleiteten Ströme nur äusserst schwach sein. An einer runden geätzten Hautfläche müsste sich die Mitte vermöge dieser Ströme positiv verhalten gegen Punkte, welche dem Rande, d. h. der ungeätzten Haut näher liegen; ich habe mich aber vergebens bemüht, solche Ströme nachzuweisen.

Mir scheint also der ganze Einwand der bei meinen ersten Versuchen nicht vermiedenen Hautstromzweige ziemlich irrelevant. Trotzdem habe ich ihn mir selbst schon lange ehe ich von Munk's Arbeit etwas wusste gemacht (meine Mittheilung auf der Dresdener Versammlung habe ich mit diesem Einwande gegen mein früheres

Verfahren begonnen), und ihn zu vermeiden gesucht. Hierzu habe ich aber nicht den unglücklichen Weg gewählt, diese Ströme durch Controllversuche zu eliminiren, sondern den viel einfacheren und sichereren, diese Ströme unmöglich zu machen, indem ich statt einzelner Hautstellen die ganze Haut ätzte. Allerdings hatte ich dabei, eingedenk meiner Erfahrungen am Tarsus¹⁾ Durchätzungen bis zu den Muskeln zu fürchten; aber einerseits konnten sich Aetzmittel finden, die ungemein viel schneller die Hautströme zerstören, als sie durch die Haut hindurchdringen, wie dies schon bei meinen bisherigen Aetzmitteln, Kreosot und Höllenstein, zum Theil der Fall war, andererseits besass ich in meinem Controllversuch mit Aussparung und nachträglicher Aetzung des einen Beins ein sicheres Mittel die Durchätzwirkung von den Hautstromresten zu unterscheiden. Der Erfolg hat meine Erwartungen nicht getäuscht.

Selbstverständlich musste jetzt die Aetzung mit festem Höllenstein aufgegeben werden. Ich habe eine grosse Anzahl ätzender Lösungen durchprobt, so Metallsalzlösungen der verschiedensten Art und Concentration, namentlich auch Höllensteinlösungen der verschiedensten Concentrationen (der Aetzung folgte in diesem Fall ein momentanes Bad in Kochsalzlösung, und dann Abspülung mit Wasser), Tanninlösungen u. s. w. Von allen Aetzmitteln hat sich als das bei weitem vorzüglichste bewährt: die gesättigte Sublimatlösung, in welche der Frosch genau (nicht mehr und nicht weniger als) 10 Secunden lang einzutauchen ist. Bei kürzerer Aetzung werden die Hautströme nicht sicher beseitigt, bei längerer tritt die Durchätzung häufig so schnell ein, dass sie den Versuch vereitelt. Die angegebene Aetzungsdauer ist aus ungemein zahlreichen Versuchen an Fröschen mittlerer Grösse und aller Jahreszeiten abgeleitet; an ganz kleinen Fröschen habe ich die Versuche nicht angestellt; für sehr grosse habe ich die Aetzzeit von 10 Secunden stets genügend gefunden, doch mag es hier Fälle geben, wo die zunehmende Dickendimension der Haut eine längere Aetzung nöthig und bezüglich der Durchätzung ungefährlich macht.

Der mit möglichst geringer Verletzung curaresirte Frosch wird also an einem Hinterbein möglichst schonend (am besten mittels einer Fadenschlinge) gehalten, so dass Rumpf und anderes Hinterbein herabhängen, und nun diese letzteren bis über den After in

1) Untersuchungen. 3. Heft. p. 10, 14.

die (in einem Becherglas befindliche) gesättigte Sublimatlösung genau 10 Secunden lang eingetaucht, dann schnell herausgehoben und das Thier in ein unmittelbar daneben stehendes grosses, mit Wasser gefülltes Gefäss geworfen, in welchem es unter leichtem Hin- und Herbewegen 1—2 Minuten lang abgespült wird. [Das Bemühen den überschüssigen Sublimat durch Abspülen in Schwefelwasserstoffwasser sicherer zu entfernen, erwies sich als unnütz.]

Jetzt kommt es darauf an, ohne Zeitverlust das oberflächlich abgetrocknete Thier (jedoch darf dasselbe nicht etwa auf der Platte Wasser abfliessen lassen; ich trockne das Thier gewöhnlich bis zu dem Feuchtigkeitsgrade ab, den ein Frosch wenn man ihn unter eine Glocke setzt zu behalten pflegt), auf die Experimentirplatte zu legen und von ihm zur Boussole abzuleiten. Jeder Zeitverlust führt die Gefahr herbei, dass die unfehlbar allmählich sich einstellende Durchätzung den Versuch vereitelt.

Ich habe diese Versuche, welche ich bereits im Herbste 1868 auf der Dresdener Naturforscher-Versammlung mitgetheilt habe, zuerst in Berlin an demselben Multiplicator von 20000 Windungen angestellt, der mir zu meinen früheren Versuchen gedient hatte; hier in Zürich habe ich sie anfangs an einem Sauerwald'schen Multiplicator von 16070 Windungen wiederholt, bin dann aber, in Folge des Erscheinens der Munk'schen Arbeit, zu den empfindlichsten Vorrichtungen übergegangen, indem ich mich einer Meyerstein'schen Boussole bediente.

Ich habe schon oben angedeutet, dass ich die Anwendung der grössten Empfindlichkeit zur Entscheidung unserer Frage für einen Fehler halte. Vielleicht das beste Instrument wäre das, mit welchem du Bois-Reymond gleich Anfangs die Frage zu lösen suchte, ein Multiplicator »für den Muskelstrom« von etwa 5000 W., denn dieser hat ja ausgereicht, alle Erscheinungen des Muskelstroms zu entdecken. Wenigstens aber sollte man sich für eine Aufgabe, bei welcher entschieden werden soll, ob überhaupt ein Strom da ist oder nicht, auf solche Instrumente beschränken, bei welchen man die Ungleichartigkeiten der Electroden mit Sicherheit auf einige Zeit so compensiren kann, dass sich beim Entfernen und Wiederzusammenschieben der Thonspitzen kein Strom kundgibt, und dass ein geätztes und gut abgespültes Hautstück bei der Prüfung keinen merklichen Strom mehr zeigt. Diesen Bedingungen genügten die von mir angewandten Multiplicatoren noch ziemlich vollständig, die

Boussole aber, deren Empfindlichkeit ich durch möglichste Astatisirung des Magneten ungefähr eben so hoch, vielleicht noch ein wenig höher trieb, als die des Munk'schen Instrumentes ¹⁾, nicht mehr. Die Vortheile, die durch die grössere Empfindlichkeit für unsre Frage erreicht werden, sind demnach ganz illusorisch; wenn man im Multiplicator von 20000 Windungen Ausschläge von 1—2° als nicht beweisend ansehen muss, gilt dies hier von Ausschlägen bis zu 10—20 Scalentheilen; denn soweit gehen nach meinen Erfahrungen mindestens die unberechenbaren Ausschläge bei Oeffnung und Wiederschliessung des Kreises im Bereiche der nichtmetallischen Leitung, und die Stromreste geätzter Hautstellen.

Wenn man nun an dem in der oben angegebenen Weise behandelten Frosche von irgend einer Stelle des Rückens und von irgend einer Fussstelle des geätzten Hinterbeins, sei es Zehenspitze, Tarsus oder dgl., zur Boussole ableitet, und zwar unmittelbar nach der Aetzung, so zeigen sich regelmässig nur so unbedeutende Stromesspuren von ganz unbeständiger Richtung, dass auch nicht im Mindesten davon die Rede sein kann, ihnen auch nur die geringste Bedeutung beizulegen; wechselt man die Ableitungsstelle, oder entfernt man nur einen Augenblick die Electrode und setzt sie dann wieder auf, so sieht man ganz gewöhnlich die Stromesspur nach Intensität oder Richtung sich ändern, das sicherste Zeichen, dass sie bedeutungslos ist. ²⁾

1) An meinem Instrumente giebt bei Ausschaltung der Thonstiefelelectroden (wonach also die wesentlichen Widerstände des Boussolekreises nur aus deren Drahtwindungen [5600] und den Drahtleitungen [12,5 mtr. lang, 0,8 Mm. dick] bestehen) ein vom Rheochord abgezwigter Strom von 0,001 D electromotorischer Kraft eine bleibende Ablenkung von 260 Scalentheilen; ich glaube, dass diese Art der Empfindlichkeitsangabe besser Vergleichen zulässt, als die Angabe der Ablenkung durch den Nervenstrom. Ein mit Längs- und Querschnitt eingeschaltetes Ischiadicusstück von 8 Mm. Länge (welches bei Munk c. 200 s. Ablenkung giebt) gab bei mir einen Ausschlag von 350 und eine Ablenkung von 220 s.

2) In allen Fällen, wo sich eine etwas erheblichere Ablenkung zeigte, fand sich dieselbe in gleichem Sinne wieder, wenn ich die vom Frosche entfernten Thonspitzen mit denselben Puncten direct in Verbindung brachte. Es handelte sich also in solchen Fällen offenbar um eine chemische Ungleichartigkeit der Hautoberfläche, welche sich den Electroden mittheilte; also ganz dasselbe was du Bois-Reymond beob-

Nach kürzerer oder längerer Zeit machen sich unfehlbar die Folgen der Durchätzung geltend, indem sich ein jedesmal aufsteigender Strom entwickelt, der oft so stark wird, dass er die Scala weit aus dem Gesichtsfelde führt; dies letztere tritt namentlich ein, wenn man die Aetzung länger als 10 Secunden fortgesetzt hat. Zuweilen dauert es stundenlang, ehe ein aufsteigender Strom sich geltend macht, während in anderen Fällen schon nach wenigen Minuten ein rasch zunehmender aufsteigender Strom sich einstellt. Es ist hierfür vollkommen gleichgültig, ob man die Electroden ruhig am Frosch lässt, oder ob man sie in den Zwischenzeiten zwischen den Prüfungen entfernt, ferner ob man den Frosch einfach in der feuchten Kammer liegen lässt oder ihn in den Zwischenzeiten in das grosse Wassergefäss untergetaucht hält, um die Abspülung noch etwa an der Oberfläche rückständigen Sublimats zu befördern. Ich erwähne das Alles ausdrücklich, erstens damit nicht etwa Jemand glaube, das allmähliche Auftreten des aufsteigenden Stromes rühre vom allmählichen Trockenwerden des ursprünglich nur leicht abgetrockneten Frosches, also von der Wegräumung einer Nebenschliessung her, zweitens damit nicht Munk mir wieder den unbegreiflichen Einwand mache, es handle sich um eine Verstärkung eines ursprünglich schon vorhandenen aufsteigenden Stromes »durch die mit der Schliessungsdauer erfolgenden Zuwüchse« (p. 569). Bei unseren häufig enorm starken Durchätzungsströmen würde Munk sich allerdings diesen Einwand schwerlich einfallen lassen; aber schon bei den Strömen, um die es sich damals handelte, ist er ungemein kühn; wer hat denn Herrn Munk gesagt, dass der Kreis in den Zwischenzeiten der Prüfungen geschlossen gehalten worden ist? Und wie leicht war es für Herrn Munk, sich durch einfache Versuche von der Thatsache der Durchätzung gründlich zu überzeugen, wenn er nicht mit einer bewundernswürdigen Ueberzeugungstreue selbst die klarsten Beweise gegen seinen Standpunct durch haarsträubende Deutungen über den Haufen würfe. Mir, nachdem ich

achtete, wenn ein saurer Muskelquerschnitt dem einen Thonschilde eine Zeit lang angelegen hatte. (Vgl. du Bois-Reymond, über die Erscheinungsweise des Muskel- und Nervenstroms etc. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1867. p. 284 f.) Möglicherweise sind auch Munk derartige Fälle vorgekommen, die er, den Thatbestand verkennend, zu seinen Gunsten verzeichnete. Diese Vorkommnisse gehören zu den oben S. 16 angedeuteten unberechenbaren Zufällen, die immer meinen Gegnern zu Gute kommen müssen.

die Durchätzung mit eigenen Augen so oft gesehen, vorzuwerfen, ich hätte mich durch einen Zuwachs in Folge der Schliessungsdauer (?) täuschen lassen, meinen Nachweis, dass die sich allmählich entwickelnden aufsteigenden Ströme nur von Durchätzung herühren können, dem ein wohldurchdachter, schlagender und nie versagender Versuch zu Grunde lag, kurzweg als blosse »Behauptung« zu bezeichnen (p. 570), und diesen Versuch selbst durch eine nichtssagende Anmerkung wie die p. 570¹ abzufertigen, ist ein Verfahren, für das ich keinen schreibbaren Ausdruck weiss; wissenschaftlich aber kann es nicht genannt werden.

Dass nun bei der Totalätzung der Froschhaut die eintretende Durchätzung viel erheblichere Ströme zur Folge haben muss, als bei der Localätzung, wird Jeder einsehen; es werden eben sämtliche Muskeln des Beines angeätzt, und jeder weiss, dass dies einen kräftigen aufsteigenden Strom hervorbringt.

Der allmählich sich entwickelnde aufsteigende Strom könnte, wenn er präexistirender Muskelstrom wäre, natürlich nur deshalb anfangs gefehlt haben, weil die Haut sehr langsam, und an der unteren Ableitungsstelle viel später nach der Aetzung ihren Strom verliöre als an der oberen. Gegen diese unnatürliche Annahme sprechen nun alle Gründe, welche ich schon früher (Untersuchungen 3. Heft p. 12 f.) dagegen vorgebracht habe, vollends aber der selbst angeführte einfache Versuch, den ich nun auch bei dieser Versuchsreihe sehr oft angestellt habe.

Wenn nämlich das langsame Hervortreten des Muskelstroms in der langsamen Zerstörung des Hautstroms, besonders an den unteren Ableitungsstellen, seine Ursache hätte, so müsste bei der nachträglichen Aetzung des zweiten Beines (vgl. oben p. 26) zwischen dessen Fuss und dem längst geätzten Rücken ein aufsteigender Strom vorhanden sein, der sich zum bestehenden Muskelstrom addirt, und der allmählich abnimmt; es müsste also sogleich ein sehr kräftiger aufsteigender Strom auftreten, der allmählich schwächer wird. Statt dessen erfolgt das Gegentheil. Taucht man mehrere Stunden nach der ersten Aetzung, wo das geätzte Bein einen kräftigen aufsteigenden Durchätzstrom zeigt, das andre bisher ungeätzte 10 Secunden lang in die Sublimatlösung, und spült es dann wie gewöhnlich ab, so zeigt sich zwischen dessen Fuss und dem Rücken entweder dieselbe Stromlosigkeit wie am ersten, und eine allmähliche Entwicklung des aufsteigenden Durchätzstroms, oder, seltener,

es zeigt sich zuerst ein absteigender Strom, offenbar herrührend von einer vorhandenen Durchätzung am Rücken¹⁾; und dieser geht dann zuerst in Stromlosigkeit und dann in den aufsteigenden Strom über.

Wenn es noch eines Beweises für den Eintritt der Durchätzung bedürfte, welche Munk unbegreiflicherweise wegzuleugnen unternimmt, so kann er in diesen Versuchen am Gastrocnemius leicht geführt werden; man braucht nur einige Zeit nach Aetzung des einen Beins beide Gastrocnemien zu präpariren, und findet dann regelmässig den des geätzten Beines kräftig aufsteigend wirksam, während der andere sich wie gewöhnlich verhält (vgl. hierüber unten).

Der regelmässige Eintritt der Durchätzung nach einer nur 10 Secunden dauernden Aetzung und sorgfältiger Abspülung der Haut ist eine sehr merkwürdige Thatsache; es ist mir aber kein Fall, weder von Aetzung mit Sublimat, noch mit Höllenstein, Tannin u. s. w. bekannt, in welchem jede Durchätzung ausgeblieben wäre; allerdings trat sie manchmal so spät ein, dass man zweifelhaft sein konnte, ob nicht bereits cadaveröse Vorgänge sich einmischten, obgleich ich dies letztere für unwahrscheinlich halte. Man kann sich eben, wie aus diesen und anderen, weiter unten mitzutheilenden Versuchen hervorgeht, die Empfindlichkeit der Muskeloberfläche gegen die geringsten Spuren chemischer Agentien nicht gross genug vorstellen. Alle bisherigen Erfahrungen über die stromentwickelnden Eigenschaften chemischer Eingriffe auf den Sehnenspiegel von Muskeln, geben von dieser Empfindlichkeit nur ein höchst unvollkommenes Bild, weil die meisten auf gewöhnlichem Wege präparirten Muskeln schon durch unbeachtete Zufälle (s. unten) an ihrer Oberfläche lädirt sind, wie das Dasein ihres Stroms beweist. Eine weitere Stromentwicklung bei ihnen ist also nur durch stärkere, mehr in die Tiefe greifende Aetzmittel möglich.

Optisch ist eine Anätzung der Muskeln, besonders bei den Versuchen mit Sublimatätzung, nur in den wenigsten Fällen nachweisbar. Wer aus diesem Umstande etwa einen Einwand gegen das Vorhandensein einer Anätzung herleiten will, dem kann ich nur

1) Es zeigt sich auch hier wieder, wie schon in meinen früheren Versuchen, dass am Rücken die Durchätzung entweder (wegen dickerer Haut oder reichlicherer Lymphe) schwerer eintritt, oder dass sie hier, weil sie nur Längsoberfläche von Muskeln trifft, weniger wirksam ist, als am Schenkel (vgl. Untersuchungen. Heft 3. p. 14, 55).

rathen, das Sublimatbad einmal etwas in die Länge zu ziehen; er wird dann einen Strom erhalten, der die Scala sofort aus dem Gesichtsfeld schleudert, der also ganz unbestreitbar von Anätzung der Muskeln herrührt; trotzdem wird es ihm fast immer unmöglich sein durch den Anblick eine Veränderung der Muskeloberfläche zu constatiren. Uebrigens sind die oben angeführten Versuche mit Aussparung und nachträglicher Aetzung des einen Beins, und die continuirlich zunehmende Entwicklung des aufsteigenden Stroms bei allen Aetzversuchen Beweis genug. —

An dem von zwei Aetzstellen stromlos abgeleiteten Frosche habe ich nun in meinen bereits veröffentlichten Versuchen durch Entblössung einzelner Muskeln Ströme auftreten sehen. Munk nennt diese Versuche, wie überhaupt mit Vorliebe alle von mir angestellten, eine blossе Wiederholung früherer von du Bois-Reymond. Da er für den Unterschied zwischen du Bois-Reymond's und meiner Art die Hautströme zu eliminiren kein Verständniss hat, so muss ich ihm schon die Freude lassen, meinen Versuchen die Originalität abzusprechen, auf welche es mir natürlich weit weniger ankommt als auf das was aus den Versuchen folgt. Ich will mich deshalb auch nicht damit aufhalten zu erörtern, um wie viel beweisender mein Entblössungsversuch, der den Strom des entblösssten Muskels ganz rein hervortreten lässt, im Vergleich zu dem du Bois-Reymond'schen ist, in welchem der Fuss in gesättigter Kochsalzlösung steckt, seine Muskeln also angeätzt sind¹⁾, und die geringste Verschiebung des Präparats, also die Ableitung von diesen wirksamen Muskelgruppen ändern muss.

Munk behauptet nun erstens, dass die von mir bei der Entblössung gesehenen Ströme viel stärker gewesen seien, als die von du Bois-Reymond beobachteten; woraus er dies schliesst, kann ich nicht einsehen: was du Bois-Reymond an seinem Multiplikator einen »leichten positiven Ausschlag« nannte, konnte an meinem, der die 3—4fache Windungszahl hatte, leicht die Nadel an die Hemmung treiben, zumal da bei du Bois-Reymond schon vor der Entblössung die Nadel erheblich vom Nullpunkt abgewichen war, ein Zuwachs also weniger wirksam sein musste, als bei mir wo die Nadel fast genau auf Null stand. Ausserdem hat auch du Bois-Reymond »unregelmässige Wirkungen von Seiten der Haut-

1) Vgl. du Bois-Reymond, Untersuchungen II. 2. p. 176.

ungleichartigkeiten«, also wohl mitunter unerwartet grosse Ausschläge gesehen.

Die bei der Entblössung auftretenden Ströme habe ich nun einer noch unbekannten, mit der Entblössung verbundenen, geringfügigen, auf die Oberfläche der Muskeln wirkenden Schädlichkeit zugeschrieben, gegen welche sich die Muskeln winterschlafender Thiere indolenter verhalten als die gewöhnlichen. Munk verwirft diese Erklärung und lässt zur Entstehung jener Ströme die geringfügige, unter der Haut vorhandene Lymphmenge wahre Wunderdinge verrichten. Wenn ich nicht die Berliner Frösche ziemlich genau kenne, so müsste ich nach dem Lesen der Munk'schen Arbeit einen starken endemischen Hydrops bei ihnen vermuthen. Was die Haut nicht vermag — denn nach du Bois-Reymond's¹⁾ und meinen²⁾ Erfahrungen schwächt das Wiederüberziehen der Haut den beim Abziehen derselben aufgetretenen Strom durchaus nicht merklich — das soll die so ungemein viel dünnere Lymphschicht vermögen, d. h. eine so gute Nebenschliessung zu bilden, dass sie von den kräftigsten Muskelströmen keine Spur in den rheoscopischen Kreis lässt. Ein »Ausfluss« der Spur von Lymphe, welche den durchaus capillaren Lymphraum erfüllt, macht sich überhaupt nur höchst selten bemerkbar, die Lymphe bleibt an den Muskeln und an der abgezogenen Haut adhärent, und ich weiss wirklich nicht was ich sagen soll, wenn Munk von einer »Verschiebung der Lymphe im Lymphsack« (p. 578) spricht, oder gar den Schenkel in (ausgeflossener) Lymphe »gebadet« sieht (p. 553). Ich glaube gern, dass, wie das Abziehen der Haut, so auch die Entfernung der Lymphe Nebenschliessungen hinwegräumen würde, wenn Ströme überhaupt vorhanden wären, aber erstens sind keine vorhanden, zweitens kann dieser Einfluss nur äusserst geringfügig sein, da die Haut sich schon als Nebenschliessung unerheblich erwiesen hat; es ist daher zu beklagen, dass Munk so viel Fleiss auf das Studium dieses höchst gleichgültigen Umstandes verwandt hat; seine Resultate sind, abgesehen von ihrer Unsicherheit, für unsre Frage völlig irrelevant. Ich habe schon früher die Einflusslosigkeit selbst sehr gutleitender Nebenschliessungen dadurch erklärt, dass überhaupt die Ströme entblösster Muskeln nur in einem minutiösen Antheil ihrer Masse ihren

1) Untersuchungen über thierische Electricität. Bd. II. Abth. 2 p. 176.

2) Untersuchungen. Heft 3. p. 21, 57.

Sitz haben und die Hauptmasse des Muskels selbst schon für sie eine gut leitende Nebenschliessung bildet ¹⁾).

Nur ein einziger von Munk gefundener Umstand, aus welchem er aber einen unrichtigen Schluss gezogen hat, ist von erheblicherer Bedeutung, der nämlich, dass, wenn man die Blosslegung des Muskels in zwei Acten verrichtet, schon nach dem ersten, nämlich der blossen Schnittführung, häufig die Stromentwicklung theilweise eintritt (p. 540 f.). Munk meint, dass schon nach der blossen Schnittführung die Lymphe theilweise ausflesse, und daher die Stromentwicklung (nach ihm »der Stromzuwachs«) eintrete. Die Thatsache ist richtig, die Erklärung aber unzweifelhaft falsch; denn niemals habe ich wenigstens nach dem Hautschnitt Lymphe abtropfen sehen; wenn sie also ausfliesst, so handelt es sich nur um eine Ausbreitung auf der äusseren Hautfläche, wobei natürlich ihr Werth als Nebenschliessung durchaus nicht vermindert zu werden braucht. Ferner habe ich in der Gegend der Achillessehne eine kleine Oeffnung in der Haut gemacht und durch Streichen der Unterschenkelhaut die Lymphe durch diese Oeffnung soviel als möglich zu entleeren gesucht, ohne dass indess eine Stromentwicklung eintrat. Der Schluss Munk's, dass auch ohne Entblössung des Muskels eine Stromentwicklung (»Stromzuwachs«) eintrete, ist gerechtfertigt, der andre, dass dieselbe von dem Ausfluss der Lymphe herrühre, dagegen nicht. Vielmehr muss man zunächst schliessen, dass überhaupt die Präparation, welche zur Blosslegung des Muskels gemacht wird, mit einer Stromentwicklung verbunden ist, welche theilweise schon beim Beginn derselben eintritt.

Um über die Ursache derselben ins Klare zu kommen, habe ich zunächst eine Reihe von Versuchen mit blossen Längsschnitten durch die Unterschenkelhaut angestellt und den stromentwickelnden Erfolg derselben beobachtet. Ich erkannte bald, dass dieser Erfolg um so grösser ausfällt, je weiter von der Wade der Schnitt ausgeführt wird, dass er aber auch bei der grösstmöglichen Entfernung von der Wade nie ganz ausbleibt. Sofort vermuthete ich, dass die wahre Ursache der Stromentwicklung von einem Hautschnitt aus in einem Eindringen des Hautsecrets von den Schnittträndern her zu der Oberfläche der Muskeln liege; das Hautsecret konnte theils direct zu den unmittelbar unter der Schnittlinie liegenden Muskeln

1) Untersuchungen. Heft 3. p. 57.

gelangen, theils durch Diffusion sich auch zu entfernteren Muskeln, namentlich zum Gastrocnemius verbreiten. Wie empfindlich gegen die geringsten Spuren von Hautsecret der Sehnenspiegel des Gastrocnemius ist, weiss Jeder, der sich mit Muskelstromversuchen beschäftigt hat, und doch giebt die gewöhnliche Erfahrung am Sehnenspiegel ausgeschnittener Gastrocnemien noch bei weitem kein vollständiges Bild von der Empfindlichkeit eines noch ganz unversehrten, stromlos unter der Haut liegenden Muskels (vgl. oben p. 31). Jene Vermuthung war daher vollkommen berechtigt; man konnte sich denken, dass die Wirkung des eindringenden Hautsecrets auf die meisten Unterschenkelmuskeln, wegen mangelnder grösserer Sehnenspiegel ziemlich gering, auf den Gastrocnemius aber sehr bedeutend sei, und daher mit der Annäherung des Schnittes an die Wade die entwickelnde Wirkung merklicher werde.

Zur Prüfung meiner Vermuthung war es nöthig, den Gastrocnemius für sich so zu präpariren, dass die Berührung mit Hautsecret, sowie jede andere controllirbare Schädlichkeit ausgeschlossen war. Dazu musste ich von der gewöhnlichen Präparationsweise (Abziehen der Haut vom Schenkel in toto, Erfassen und Durchschneiden der Achillessehne, Abziehen des Muskels vom Unterschenkelknochen, endlich Durchschneidung der beiden oberen Sehnen) aus gleich zu erwähnenden Gründen abgehen.

Die Versuche, um welche es sich hier handelt, wurden in den Sommermonaten des Jahres 1869, ausschliesslich an ganz frisch eingefangenen wohlgenährten Fröschen angestellt; die meisten derselben waren erst wenige Stunden bis einen Tag vor dem Versuch gefangen worden; es war also nicht der mindeste Grund zu einem ungewöhnlichen Grade von »Parelectronomie« vorhanden.

Trotzdem sind mir, je mehr Vorsichtsmaassregeln ich zur Vermeidung aller Schädlichkeiten anwandte, die Ströme immer schwächer ausgefallen, so dass ich endlich zu der Ueberzeugung gelangt bin, auch der entblösste Gastrocnemius sei, wenn alle Schädlichkeiten von ihm ferngehalten werden, stromlos; die Entblössung an sich kann höchstens eine ungemein schwache Einwirkung haben.

Die Entblössung des Gastrocnemius durch Abziehen der Haut im Ganzen hat den Vorzug, dass eine Berührung der Muskeloberfläche mit Hautsecret, also die grösste Gefahr, mit Sicherheit vermieden wird. Dagegen hat sie den Nachtheil, dass der Muskel mechanisch etwas misshandelt wird; der Ring, den die Haut am Knie

bildet, ist nämlich so eng, dass er nicht ohne eine Quetschung des Muskels über den Unterschenkel herabgezogen werden kann.

Ich lege daher den Gastrocnemius auf folgende Weise bloss: Nach Tödtung des Thieres wird das eine Hinterbein an seinen Zehen, welche in einen Schraubstock eingeklemmt werden, aufgehängt. Es wird dann in der Mitte des Tarsus ein Zirkelschnitt durch die Haut geführt, und die Haut manschettenförmig bis zum Fussgelenk herabgezogen; jetzt wird von der Umschlagsfalte aus mit der Scheere ein Längsschnitt durch die Haut an der Vorderseite des Unterschenkels bis zum Knie geführt, dann die Enden der Manschette mit zwei Pincetten gefasst, und mit einem Ruck die Haut vom Unterschenkel abgezogen. Berührung des Gastrocnemius mit Hautsecret, und Quetschung des Muskels sind so mit vollkommenster Sicherheit vermieden.

Jetzt wird die Achillessehne mit einer Schieberpincette gefasst, oberhalb derselben (das Bein an den Zehen hängend) durchschnitten, mit zwei seitlichen Schnitten die Seitenaponeurosen der Achillessehne durchschnitten, und nun der Muskel behutsam, mit Vermeidung jeder Zerrung, vom Knochen abgezogen. Hierbei ist darauf zu achten, dass der zwischen Muskel und Knochen liegende dünne Nerv (N. peroneus) nicht am Muskel liegen bleibt ¹⁾. Auf die Darstellung der oberen starken Sehne ist es rathsam zu verzichten, weil dieselbe nicht ohne Zerrung der Muskelfasern ausführbar ist; ich schneide deshalb, nachdem der (stets an der Schieberpincette hängende) Muskel vom Knochen abgezogen ist, den Rest des Unterschenkels, und ebenso den Oberschenkel, dicht am Knie in toto durch.

Der so präparirte Muskel darf nun nicht hingelegt werden, weil auch die sorgfältigst gereinigten Glasflächen nach meinen Erfahrungen schwach entwickelnd wirken können; sondern er bleibt während der Untersuchung an der Pincette hängen, welche quer über ein umgestürztes Becherglas gelegt wird.

Bringt man jetzt eine Thonspitze an die Achillessehne, die andere an die Faseroberfläche des Muskels, sei es an der Vorder- oder Rückseite, so kann man, wenn bei der Präparation kein Unfall passirt ist, mit Sicherheit voraussagen, dass ein Multiplicator von

1) Dieser Nerv bleibt bei der gewöhnlichen Präparation des Gastrocnemius ganz regelmässig am Muskel und hat seinen Querschnitt dann an der Achillessehne; es ist klar, dass dadurch leicht ein Antheil des Nervenstroms einen aufsteigenden Strom des Gastrocnemius vortäuschen kann.

16000 Windungen keine Spur von Strom anzeigt, meine Boussole (an welcher der Nervenstrom einen Ausschlag von über 300 sc. giebt) zeigt allerdings regelmässig Ströme an, und zwar, was wesentlich ist, immer aufsteigende (im anatom. Sinne); die Ausschläge beschränken sich aber meist auf 10—20 sc., und dass sie weit unter 100 bleiben, kann ich mit Sicherheit voraussagen.

Das Resultat also ist, dass ein mit möglichster Behutsamkeit präparirter Gastrocnemius nur einen so äusserst schwachen aufsteigenden Strom hat, dass die allerfeinsten stromprüfenden Vorrichtungen zu seinem Nachweis erforderlich sind. Die Vermuthung ist hiernach gerechtfertigt, dass eine noch sorgfältigere Präparation, die Fernhaltung noch irgend einer unbekannten Schädlichkeit, dahin führen werde, den Gastrocnemius vollkommen stromlos zu finden. — Da die Ströme des ausgeschnittenen Gastrocnemius sonach ganz und gar von Zufälligkeiten bei der Präparation herrühren, so ist es erklärlich, warum man oft die beiden Gastrocnemien desselben Frosches auf so sehr verschiedenen »Stufen der Parelectronomie« findet.

Ob die Entblössung an sich, d. h. die Entfernung des Muskels aus seiner normalen Lage im Lymphsack, nothwendig eine Stromentwicklung mit sich führt, muss ich hiernach bezweifeln. Meine früheren Versuche sind für eine solche Wirkung nicht beweisend, weil bei dem dabei angewandten Verfahren eine Berührung der Muskeln mit Hautsecret nicht genügend vermieden war. Es ist dies auch soviel ich sehe nicht für das Froschbein in toto ausführbar; an der Schnittstelle zum mindesten ist eine Berührung der Muskeln unvermeidlich; für einen einzelnen Muskel, wie für den Gastrocnemius, ist dagegen ein vollkommener Schutz zu erreichen, weil man andere Muskeln opfern kann. Das Beginnen, an einem von geätzter Haut stromlos abgeleiteten Frosch durch Entblössung von Muskeln Ströme zu entwickeln, schliesst also die grosse Fehlerquelle ein, dass der Contact einzelner Muskeln mit Hautsecret, resp. mit der die geätzte Haut bedeckenden Substanz, unvermeidlich ist, und ist demnach zu verwerfen; man erhält dabei immer ziemlich erhebliche Ströme, von denen man nicht wissen kann, wieviel, und ob überhaupt etwas, der Entblössung an sich zuzuschreiben sei. Diese Erkenntniss ist die Frucht der Erfahrungen an den nach der obigen Methode präparirten Gastrocnemien¹⁾.

1) Andre Muskeln als der Gastrocnemius sind zu diesen Versuchen nicht

Die Frage nach der Präexistenz des Muskelstroms ist durch diese Versuche wie mir scheint für immer abgethan. Wenn ein isolirter Gastrocnemius bei geeigneter Präparation regelmässig so gut wie stromlos ist, so fällt natürlich jeder Grund fort, den Muskeln des ganz unversehrten Körpers irgendwelche electromotorische Wirksamkeit in der Ruhe zuzuschreiben, auch wenn das Fehlen derselben nicht schon durch die Versuche mit Hautätzung zur Genüge bewiesen wäre.

Nummehr ist es auch verständlich, weshalb es mir in meiner früheren Arbeit nicht gelungen ist, den wahren schädlichen Einfluss, der bei der Entblössung des Muskels stromentwickelnd wirkt, zu ermitteln, und weshalb ich auf anscheinende Widersprüche stiess¹⁾. Indem ich auf die Einwirkung schädlicher Gase oder Dämpfe bei der Blosslegung fahndete, übersah ich die nächstliegende Schädlichkeit, das Zutreten des Hautsecrets; dass ich bei Einblasung von Luft in den Lymphsack zuweilen Stromentwicklung erhielt, zuweilen nicht²⁾, ist mir jetzt völlig verständlich, denn ob beim Einblasen etwas Hautsecret mit eingetrieben wird, oder nicht, und wie viel, das muss ganz vom Zufall abhängen; ebenso verständlich ist ferner, weshalb beim Einblasen von Luft die Entwicklung nie so sicher und vollständig war, als bei völliger Blosslegung des Muskels³⁾; denn bei letzterer war durch umfangreiche Hautschnitte und durch den Act des Abhebens der Haut viel sicherere Gelegenheit zur Ausbreitung des Hautsecrets über die Muskeleoberfläche gegeben, als bei der Einblasung. Mit vollem Rechte habe ich daher damals gesagt, dass bei der Blosslegung des Muskels »uncontrollirbare Schädlichkeiten concurriren«, und die Natur derselben noch fraglich gelassen⁴⁾. Dass bei den Versuchen von Munk mit Aussaugen und Wiedereinspritzen der Lymphe (p. 549) das Hautsecret ebenfalls eine grosse Rolle gespielt haben muss, diese Versuche also einer Revision bedürfen, brauche ich kaum zu erwähnen.

Im Ganzen also stellt sich die Sachlage bezüglich der Ströme ruhender Muskeln und Nerven jetzt folgendermassen dar:

brauchbar, denn keiner bietet wie dieser die Möglichkeit reiner Präparation ohne Zerrung der Fasern.

1) Vgl. Untersuchungen. Heft 3. p. 35 ff.

2) A. a. O. p. 40.

3) A. a. O. p. 42.

4) A. a. O. p. 41, 42.

1. Im unversehrten ruhenden Frosche sind die Muskeln stromlos.
2. Bei der gewöhnlichen Präparation der Muskeln wirken eine Anzahl schädlicher Einflüsse auf ihre höchst empfindliche Oberfläche, welche Ströme entwickeln; durch geeignete Vorsichtsmassregeln lassen sich diese Schädlichkeiten fast ganz vermeiden.
3. Im Winterschlafzustande sind die Muskeln des Frosches gegen geringfügige Schädlichkeiten weniger empfindlich (»indolent«).
4. An den unversehrten Muskeln anderer Thiere, sowie an unversehrten Nerven, ist bisher kein Strom nachgewiesen und kein Grund zu dessen Annahme.
5. Alle electromotorischen Erscheinungen an unerregten Muskeln und Nerven lassen sich ableiten aus einer Electricitätserregung zwischen lebendem und absterbendem Röhreninhalt, wobei der letztere negativ wird.

II. Versuche über den Verlauf der Stromentwicklung beim Absterben.

Für die Erkenntniss der näheren physicalischen Ursache der Stromentwicklung beim Contact lebender und absterbender Muskelsubstanz ist das Studium des zeitlichen Verlaufs dieser Stromentwicklung während des Absterbeprocesses das erste Erforderniss. Der Anfang zu diesen Versuchen findet sich bereits im zweiten Hefte meiner Untersuchungen (p. 6 ff.). Es wurde das in indifferente Flüssigkeit eingetauchte Sehnenende oder auch die Aequatorgegend eines Muskels mit der Flüssigkeit allmählich erwärmt, während von einem nicht eingetauchten Muskelpuncte und von der Flüssigkeit zum Multiplicator abgeleitet wurde, dessen Nadel vor dem Beginn des Erwärmens durch Compensation auf Null gebracht war. Es ergab sich dabei, dass von etwa 30° ab das eingetauchte Muskelstück sich gegen das nicht eingetauchte positiv verhält, dass aber bei 39—40° eine starke Negativität des eingetauchten Stückes eintritt.

Dieser Versuch ist von du Bois-Reymond¹⁾ und von J. Worm Müller²⁾ wiederholt worden, welche beide ebenfalls vor dem Eintritt der Negativität des eingetauchten Endes dasselbe positiv werden sahen (du Bois-Reymond zwar nicht regelmässig,

1) Monatsberichte der Berliner Academie 1867. p. 636 ff.

2) Versuche über die Einflüsse der Wärme etc. auf die electromotorischen Kräfte der Muskeln und Nerven. 11 Stn. Würzburg, Stahel, 1868.