

Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und für klinische Medicin.

Bd. XXVIII. (Zweite Folge Bd. VIII.) Hft. 1 u. 2.

I.

Ueber Wärmeentwicklung während der Nerventhägigkeit.

Von G. Valentin in Bern.

Als Helmholtz *) seine thermoelektrischen Untersuchungen über die durch die Zusammenziehung bedingte Wärmeerhöhung der Muskeln veröffentlichte, bemerkte er, dass ihm die an den Nerven angestellten Beobachtungen nur negative Ergebnisse geliefert haben. Er schob drei, aus einem mittleren Eisen- und zwei seitlichen Neusilberblättchen bestehende Elemente zwischen das eine Hüftgeflecht eines Frosches. Die zwei Hüftgeflechte stellten die ausschliessliche Verbindung zwischen den Hinterbeinen und dem Vordertheile des Thieres her. Eine Umhüllung von Kork schützte, so sehr als möglich, vor der Ableitung von Wärme nach aussen oder der Zuleitung von Seiten der Umgebung. Ebenso sonderte eine Glasplatte das mit dem Magnetelektrometer anzusprechende Rückenmark von seinen Nachbartheilen. Glückten die Versuche vollständig, so zeigte die Nadel des Thermomultiplicators nicht $\frac{1}{10}^{\circ}$ Abweichung. Eine solche würde aber einem Wärmeunterschiede von $0,00074^{\circ}$ C. entsprochen haben **). Blieben dagegen die Inductionsströme nicht

*) Helmholtz, Müller's Arch. 1848. S. 144—164.

**) Helmholtz, Ebendas. S. 162.

auf das Rückenmark beschränkt, gelangten sie auch mit Nebenschleifen zu dem Hüftgeflechte, so schlug die Nadel um $\frac{1}{2}$ bis 1° bei schwachen und um 4 bis 5° bei starken Strömen aus. Helmholtz*) schliesst aus allen diesen Erfahrungen, dass die etwa vorhandene Wärmeentwickelung während der Nerventhätigkeit gegen die der Muskeln verschwindend klein und jeden Falls nicht über einige Tausendtheile eines Celsiusgrades (für die von den Löthstellen aufgenommenen Wärmemengen) hinausgehe.

Man könnte auf den ersten Blick glauben, dass sich die Wärmeentwickelung während der Nerventhätigkeit von selbst versteht. Die Nerven scheiden in der Ruhe Kohlensäure aus und nehmen Sauerstoff auf, ähnlich wie die Muskeln und die anderen von Blutgefässen durchsetzten Gewebe. Die Grösse des Gaswechsels ist zu bedeutend, als dass er nur auf die geringen, noch etwa in dem gesonderten Nerven enthaltenen Blutmengen bezogen werden könnte **). Die elektromotorischen Eigenschaften der Nerven und der Muskeln zeigen viele Aehnlichkeiten während der Ruhe und während der Thätigkeit. Alle diese Analogien lassen auch vermuten, dass sich eine ähnliche Uebereinstimmung für die Wärmeverhältnisse wiederholen, dass die Thätigkeit der Nerven ebenso gut Wärme frei machen wird, als die der Muskeln.

Zwei Umstände könnten leicht diese Schlussweise unhaltbar machen. Der Muskel gewinnt eine andere Form während der Zusammenziehung, während sein Volumen vollkommen das gleiche bleibt oder nur um eine fast unmerkliche, vielleicht in den Grenzen der möglichen Beobachtungsfehler eingeschlossene Grösse wechselt. Sein Gasaustausch vermehrt sich nicht nur, sondern ändert sich auch in den gegenseitigen Verhältnissen, indem relativ mehr Kohlensäure austritt und weniger Sauerstoff verzehrt wird ***). Wir wissen bis jetzt nicht, ob und wie die Gestalt des Nerven während

*) Helmholtz a. a. O. S. 164.

**) Arch. für physiol. Heilkunde. 1859. S. 474—478.

***) Arch. für physiol. Heilkunde. 1857. S. 363, 64. Vgl. auch Czelkow, Sitzungsber. der Wiener Akademie. Bd. XLV. 1862. S. 171—226 und Henle und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin. Dritte Reihe. Bd. XVII. 1863. S. 106—154.

seiner Thätigkeit wechselt. Nur die negative Schwankung des Nervenstromes kann zu der Vermuthung führen, dass eine Längenabnahme statt findet. Es ist unbekannt, in welcher eigenthümlichen Weise sich der Gasaustausch des thätigen Nerven verhält. Gesetzt, die beiden erwähnten Veränderungen der Muskelmasse bedingten die Wärmeerhöhung während der Zusammenziehung, so würde diese in dem Nerven ausbleiben, wenn auch jene während der Nerventhätigkeit mangelten.

Da unter diesen Verhältnissen die Erfahrung allein zu einem bestimmten Urtheile führen konnte, so suchte ich eine zuverlässige Antwort dadurch zu erreichen, dass ich die thermoelektrische Vorrichtung so fein als nothwendig herstellte und das Froschpräparat zur Abgabe grösserer Wärmemengen geeignet machte.

Die von Poggendorff und Gauss eingeführte Spiegelablehnung gestattet es, beliebig kleine Drehungswinkel einer wagerecht schwingenden Magnetnadel zu bestimmen. Ich liess mir daher ein astatisches Nadelpaar von Sauerwald anfertigen, das oben mit einem ebenen Spiegel versehen war. Dieser hatte die Form eines Quadrates von 25 Mm. Seitenlänge. Er konnte um eine senkrechte Axe in seinem Schraubengewinde gedreht und daher auf eine dem Ruhepunkte der Doppelnadel entsprechende Weise für den Spiegelungsgebrauch eingestellt werden. Die Länge jeder der zwei Nadeln des astatischen Paars betrug 56 Mm. Der Spiegel wog 5,169 Grm. und das Nadelpaar 1,168 Grm., also das ganze System 6,337 Grm. Wir wollen dieses das schwerere nennen.

Ich besass ausserdem von demselben Künstler einen zweiten, an einem dünnen Drahtgestelle befestigten Spiegel, der ursprünglich die Bestimmung hatte, die Ablenkungen der Magnetnadel eines Galvanometers einer grösseren Zahl von Zuhörern aus der Ferne sichtbar zu machen. Er war kreisrund. Sein Durchmesser glich 20 Mm. ohne die Fassung und 21 Mm. mit der Letzteren. Die beiden Haken des Drahtgestelles konnten das gewöhnliche Nadelpaar des Thermomultiplicators aufnehmen. Man war dabei im Stande, das Gestell so zu verschieben, dass die Nadeln wagerecht schwieben. Der Spiegel mit seinem Drahtgestelle wog hier 1,113 Grm. und das astatische Nadelpaar, dessen Länge 56½ Mm. betrug, 0,673 Grm.,

das ganze System also 1,786 Grm. Wir nennen es daher das Leichtere.

Eine auf einem gut ausgetrockneten Holzbrette aufgezogene und mit verkehrt geschriebenen Zahlen versehene Theilung von einem Meter in 1000 Millimeter wurde als Skale benutzt. Man stellte sie so auf, dass ihre Oberfläche und die des ruhenden Spiegels parallel und einander entgegengerichtet waren. Die Axe des mit einem Faden in dem Diaphragma des Oculars versehenen Fernrohres befand sich senkrecht auf beiden Ebenen und zwischen der Höhe des Spiegels und der Skale. Man stellte es nicht auf die Ebene des Spiegels, sondern so weit hinter derselben ein, dass man einen Abschnitt der Gradeintheilung der Skale deutlich erkannte. Es wird im Allgemeinen als Regel angenommen, dass das Galvanometer von keiner runden Glocke bedeckt sein darf, oder dass man wenigstens eine Durchsichtsöffnung in derselben herauschneiden und sie mit einem ebenen Glimmerblättchen oder einem ebenen Glase schliessen solle, um gehörig ablesen zu können. Die Krümmung der Glocke, welche den von mir gebrauchten Thermomultiplicator deckte, störte jedoch die Erkenntniss der einzelnen Grade so wenig, dass ich sogar noch einen zweiten, mit ebenen Glaswänden versehenen Kasten aus den später zu erwähnenden Gründen darüber decken konnte, ohne wesentlich an Deutlichkeit der Wahrnehmung der Theilstriche durch das Fernrohr zu verlieren. Die durch die nicht parallel plane Beschaffenheit der Durchsichtsstellen der Gläser bedingten optischen Abweichungen führten ebenfalls zu keinen merklichen Irrungen.

Dreht sich das astatische Nadelpaar, mithin auch der über dessen Mitte an dem Coconfaden aufgehängte Spiegel um den Winkel φ , so gleitet ein entsprechender Theil der Skale oder der anderen sich spiegelnden Gegenstände durch das Gesichtsfeld des Fernrohres. Steht die Axe des Letzteren auf der Ebene des ruhenden Spiegels senkrecht, und nennt man b die Breite der vorübergegangenen Gegenstände oder die Anzahl von Graden der Skale, wenn die Bewegung innerhalb dieser beschränkt geblieben, endlich d die verhältnissmässig beträchtliche Entfernung der Ebene der Skale von der des Spiegels, so hat man die Gleichung

$$\operatorname{tg} \cdot 2\varphi = \frac{b}{d}. \text{ Mithin } d = \frac{b}{\operatorname{tg} \cdot 2\varphi}. \text{ Da } b \text{ } \frac{1}{16} \text{ Centimeter für jeden}$$

Skalengrad beträgt, so erhält man 171,89 Centimeter für d , wenn φ eine Bogenminute betragen soll *). Ich stellte daher die Skalenebene in einem Abstande von 172 Centimeter von der Spiegelebene auf, und konnte auf diese Art einen Ausschlag von $\frac{1}{16}$ Grad Ablenkung mittelst des senkrechten Fadens des Oculars unmittelbar ablesen. Jeder Millimetergrad erschien in dem Fernrohre so gross, dass eine Schätzung von $\frac{1}{16}$ Grad oder eines noch kleineren Bruchtheiles keine wesentlichen Schwierigkeiten dargeboten hätte.

Mein nächster Augenmerk war darauf gerichtet, den Widerstand in dem Kreise der Thermokette so klein als möglich zu machen. Der Thermomultiplicator bestand aus zwei Mal fünfzig Windungen eines Kupferdrahtes von nahezu einem Millimeter Dicke. Man konnte sie hintereinander, also in Form von 100 Windungen

*) Denkt man sich die auf dem Spiegel senkrechte Linie durch die Drehung der Galvanometernadel verschoben, so bildet sie das Einfallsslot für den Strahl, der dem durch das Fernrohr gesehenen Skalengrade entspricht und den längs der Axe des Fernrohrs zurückgeworfenen Strahl. Da aber jeder der zwei Winkel, die sich zwischen einem dieser beiden Strahlen und dem Einfallslot befindet, dem Drehungswinkel des Spiegels oder der Magnetnadel gleicht, so folgt, dass der von jenen beiden Strahlen eingeschlossene Winkel eben so viel, als der doppelte Drehungswinkel der Magnetnadel beträgt. Betrachtet man nun den ursprünglichen Abstand des Fernrohres von der Spiegelebene als die eine Kathete eines rechtwinkligen Dreiecks, so wird die Grösse des Ausschlages der Skala die zweite dem doppelten Drehungswinkel gegenüberliegende Kathete bilden. Hieraus ergibt sich unmittelbar die im Texte angeführte Formel.

Der Abstand des Fernrohres von der Spiegelebene ist immer so beträchtlich, dass man den geradlinigten vorübergehenden Skalenabschnitt als einen Kreisbogen ansehen kann, dessen Halbmesser die Entfernung von der Spiegel-

ebene selbst ist. Nennt man die letztere r , so erhält man $\frac{2r\pi}{360 \times 60}$ für die

Bogengrösse einer Minute. Soll sich aber die durch das Fernrohr gesehene Skale für die Minute um einen Millimeter verschieben, so braucht sich die Magnetnadel selbst nur um eine Bogenlänge von einem halben Millimeter zu drehen. Wir erhalten daher $\frac{2r\pi}{360 \times 60} = 0,05$ Centimeter und $r = 171,89$ Centimeter, wie oben.

mit einfacher Dicke oder nebeneinander, mithin in Gestalt von 50 Windungen und doppelter Dicke benutzen. Ich wählte das Letztere, weil man dann die halbe Länge und die zwiefache Dicke, also zwei den Leitungswiderstand vermindernde Bedingungen hatte.

Eine Reihe von Vorversuchen wurde mit gewöhnlichen, aus Kupfer und Eisen oder aus Neusilber und Eisen bestehenden Thermonadeln angestellt. Nadeln aus Platin und Eisen erwiesen sich als unbrauchbar. Dieses den theoretischen Erwartungen widerstrebende Ergebniss erklärt sich vielleicht daraus, dass das verarbeitete Platin nach Seebeck *) dem positiven Eisen gegenüber weit weniger negativ ist, als das rohe. Der grosse Leitungswiderstand dieses Metalles kommt überdiess noch in Betracht.

Ich verband die beiden Eisenstücke der zwei Thermonadeln unmittelbar mit einander und die zwei Mal zwei Kupferdräthe unmittelbar mit den Klemmen des Multiplicators, um einen möglichst kurzen Bogen zu erhalten. Benutzte ich das leichtere Spiegelsystem, wenn die Nadeln nur 30 Secunden für eine Doppelschwingung nöthig hatten, so brauchte ich die eine Löthstelle kaum eine Secunde mit dem Endtheile des Zeigefingers zu berühren, um einen Ausschlag von 50° und mehr herbeizuführen.

Die allzu leichten, durch äussere Erschütterungen oder andere zufällige Ursachen bedingten Schwankungen, welche das leichtere System darbot, bewogen mich, dem schwereren für die definitiven Versuche den Vorzug zu geben. Da es ein verhältnissmässig grosses Trägheitsmoment besass, so erhielt man schon langsame Nadelbewegungen, wenn die Astasie keineswegs bedeutend war. Das System machte eine Doppelschwingung in 30 bis 32 Secunden in allen später zu erwähnenden Fällen. Dieses nöthigte mich aber, einen empfindlicheren Thermokreis anzuwenden. Ich wählte daher passende Antimon-Wismuth-Ketten.

Vier Antimon- und drei Wismuthstäbe, von denen jeder aus einem längeren Stücke und zwei kürzeren wagerechten, rechtwinklig und nach entgegengesetzten Seiten in Bezug auf das Erstere

*) Siehe z. B. G. Wiedemann, Die Lehre vom Galvanismus und Elektromagnetismus. Bd. I. Braunschweig, 1861. 8. S. 556.

sehenden Abtheilungen bestand, wurden zu einer Thermokette zusammengelöhet. Die Länge der längeren Stücke betrug 27 Millimeter und die der kürzeren wagerechten 5 Millimeter. Die Antimonstäbe waren 3, die Wismuthstäbe dagegen $3\frac{1}{2}$ Millimeter dick, weil das Wismuth weniger gut, als der Spiessglanz leitet *). Die Löthstellen befanden sich an den wagerechten Stücken. Man hatte daher drei obere und drei untere, welche auf die Ablenkung der Galvanometernadel entgegengesetzt wirkten. Sie boten Oberfläche genug dar, um ein Paket von Nerven aufzulegen oder herumzuwinden. Zwei den grösseren Mitteltheil an beiden Seitenflächen deckende Glasplatten dienten zum Schutze und zum Anfassen der Kette. Zwei je einen Millimeter dicke Kupferdrähte waren an jedem der beiden freien Endstäbe von Antimon angelöhet und diese Löthstelle, so wie die ganze hier befindliche Oberfläche überhaupt mit Siegellack gedeckt. Trotz dieser Vorsichtsmaassregeln muss man mit dieser und der zweiten später zu erwähnenden Form der Wismuth-Spiessglanz-Kette sehr zart umgehen, um das Brechen der spröden Metalle zu vermeiden.

Einige Vorversuche können anschaulich machen, wie empfindlich sich diese Thermokette erwies. Ich befestigte die 4 Kupferenden in den Klemmen des Thermomultiplicators in der Art, dass die Thermokette in der Luft schwiebte und brachte dann ein kleines empfindliches Thermometer zwischen zwei mittleren Stäben an. Es zeigte $17,5^{\circ}$ C. Nun hielt ich dasselbe Thermometer zwischen dem Daumen und dem Zeigefinger meiner rechten Hand, die sich kurze Zeit vorher im Kühlen befunden hatte und daher verhältnissmässig wenig erwärmt war, bis die Quecksilbersäule nicht mehr merklich emporging. Ich liess dann unmittelbar darauf die Endfläche des letzten Gliedes des Zeigefingers auf die Thermokette wirken. Die Zeit wurde mit einer Uhr, die halbe Secunden schlug, bestimmt. Es ergab sich:

*) Siehe z. B. Wiedemann a. a. O. Bd. I. S. 180, 181.

Wärme des Fingers in Celsiusgraden.	Entfernung des Fingers von einer Löthstelle der Thermokette.	Dauer der Wirkung in Secunden.	Ausschlag der Nadel im Sinne der Erwärmung der Löthstelle.
27,6°	1½ Centimeter.	30	25°.
29,8°	Null, d. h. unmittelbare Berührung.	ungefähr $\frac{1}{4}$	55°.
30,2°	Desgl.	$\frac{1}{2}$	von 0° bis an die Hemmung, an welche die Nadel lebhaft anschlug.

Ich tauchte die untere Reihe der Löthstellen, also die drei unteren queren Verbindungsstäbe mit den entsprechenden Endstücken der äussersten Antimonstäbe in Oel, das etwas wärmer als die umgebende Atmosphäre war, verfolgte die Abkühlung mit einem feinen Thermometer und beobachtete gleichzeitig die Rückkehr der Galvanometernadel. Das Rückweichen von 11° bis 0° der Nadel entsprach 0,3° C. des Thermometers. Da man die Wärmegrössen innerhalb dieser kleinen Ausschlagsgrenzen nicht bloss den Tangenten der Drehungswinkel, sondern diesen Winkeln unmittelbar proportional setzen kann, so erhält man 0,027° für jeden Grad Ablenkung zwischen 0° und 11°. Nun gab die Spiegelablesung eine Minute für jeden Millimetergrad der Skale. So lange diese in dem Gesichtsfelde des Fernrohres blieb, liess sich also $\frac{0,027}{60} = 0,00045^\circ$ C. oder $\frac{21}{222}$ eines Celsiusgrades Wärmeunterschied unmittelbar beobachten. Es versteht sich von selbst, dass diese Zahlen nur als erste grobe Annäherungen an die Wahrheit angesehen werden können. Sie sind auch für die Hauptergebnisse dieser Untersuchung gleichgültig. Jene Empfindlichkeit reichte für die hier in Betracht kommenden Beobachtungen vollkommen aus. Sie bildet aber noch lange nicht die Grenze, welche die Vorrichtung gestattete, da das Nadelpaar besser astasirt und die Skalenebene in einen grösseren Abstand von der Spiegelebene gebracht werden konnte.

Ich habe schon an einem anderen Orte *) angegeben, dass

*) Henle und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin. Dritte Reihe. Bd. XI. 1861. S. 3, 4.

die freiwillige Ablenkung des von mir gebrauchten Thermomultiplicators sehr gering ist. Dieses führte mich zu der Vermuthung, dass der in ihm enthaltene Kupferdrath galvanoplastisch dargestellt und daher so gut als vollkommen eisenfrei sei. Ich erfuhr später von Sauerwald, dass diese Hypothese nicht richtig war. Tyndall*) leitet übrigens in neuerer Zeit die Hauptursache solcher freiwilligen Ablenkungen von den grünen Umspinnungsfäden der Kupferdrähte her. Nimmt man weisse, so verlieren sie sich nach ihm fast vollständig.

Diese so empfindliche Vorrichtung muss natürlich in einem gegen die Sonne geschützten Zimmer und auf einer festen Unterlage aufgestellt sein. Man darf sie auch nur gebrauchen, wenn die Fenster geschlossen sind und zurückgeworfene Sonnenstrahlen keine störende Erwärmung herbeiführen können. Eine wesentliche Bedingung besteht noch darin, dass das Galvanometer und die Thermokette mit einem mit ebenen Glaswänden versehenen Kasten bedeckt werden. Ist die Thermokette frei, so erzeugen die Luftströmungen schwache Temperaturänderungen, vermöge deren man die Skale in dem Fernrohre immer schwanken sieht, wenn selbst der Multiplikator durch seine Glasmölle geschützt ist. Das Aufsetzen eines gutschliessenden Kastens mit ebenen Glaswänden über den mit seiner Glocke versehenen Multiplikator, die mit ihm verbundene Thermokette und die thierischen Präparate führen die Ruhe der Skale nach verhältnissmässig kurzer Zeit herbei.

Sticht man eine oder mehrere Löthstellen durch das Hüftgeflecht, so leitet man einen nur kleinen Theil der in den Nerven erzeugten Wärme für den Thermomultiplicator ab. Berühren die Nerven Kork oder andere Massen, so ist man nicht sicher, dass nicht auch sie eine gewisse, wenn auch sehr kleine Wärmemenge zu- oder abführen. Ich suchte daher günstigere Verhältnisse herzustellen, indem ich ein eigenthümliches Präparat anfertigte. Man enthäuptet den Frosch und enthäutet den übrigbleibenden Theil des Körpers. Nun schneidet man jeden der beiden Hüftnerven dicht über dem Kniegelenke durch, er möge hier einfach oder schon getheilt sein, und sondert ihn und das Hüftgeflecht bis zu dem

*) Tyndall, Annales de Chimie. Troisième Série. Tome LIII. 1861. 8. p. 493.

Austritte der vier Stämme des letzteren aus dem Wirbelkanale, nachdem man einen passenden Längsschnitt durch die Weichgebilde an jeder Seite des Schwanzbeines gemacht hat. Die Nervenmassen werden alsdann auf den Rücken zurückgeschlagen und Alles bis auf die Wirbelsäule mit dem in ihr enthaltenen Rückenmark möglichst entfernt, so dass nur noch Reste der Querfortsätze und der anhaftenden Muskelmassen übrig blieben. Man hat also ein Präparat, das bloss aus der Wirbelsäule und deren unmittelbarer Nachbarschaft (ohne das Schwanzbein), den beiden Hüftgeflechten und den zwei mit ihnen zusammenhängenden Hüftnerven besteht. Man klemmt nun den oberen Theil der Wirbelsäule zwischen die beiden steifen, in einem Gestelle befestigten Elektrodenenden eines Magnetoelectromotors, der $1\frac{1}{2}$ bis beinahe 2 Meter von dem Thermomultipliator entfernt bleibt, damit er keine störende Wirkung auf die Stellung der Nadel des Thermomultiplicators ausüben kann. Die zwei Hüftgeflechte und die beiden Hüftnerven werden zusammengelegt und möglichst dicht neben einander auf eine Löthstelle der Thermokette gebracht oder um dieselbe herumgewunden. Man sucht mit einem Worte immer eine zusammenhängende, möglichst grosse Nervenmasse zu erhalten, die möglichst wenig mit der umgebenden Luft und in möglichst ausgedehntem Maasse mit der Löthstelle der Thermokette in Berührung kommt. Nur ein oberstes Stück je eines Hüftgeflechtes bleibt frei, so dass diese doppelte Nervenmasse den alleinigen Uebergang zwischen den zu prüfenden Nerven und der von der Thermokette vollständig gesonderten Wirbelsäule bildet. Ist das Präparat sehr reizbar, so entstehen Reflexzuckungen der an der Wirbelsäule haftenden Muskelfasern, sowie die Nerven die Löthstelle berühren. Der Nervenknoten, der auf der letzteren ruht, wird mit einem Hautstücke des Frosches vollkommen gedeckt, um die Nervenmasse vor Verdunstung zu schützen. Man wendet dabei die Oberhautseite nach aussen. Ein oder mehrere Wassergefäße kommen noch in den Glaskasten, um eine mit Wasserdampf gesättigte Luft herzustellen. Es ist nicht nöthig, dass man das Präparat in einen Holzkasten einschliesst, um die strahlende Wärme von der Thermokette abzuhalten, wenn etwa jenes höher temperirt ist.

Die enthäuteten Theile des Frosches pflegen etwas kälter als die Atmosphäre zu sein, weil Wasser von ihrer Oberfläche fortwährend abdunstet. Man erwärmt andererseits leicht die Löthstellen der Thermokette, wenn man auch die thierischen Theile mit Messingpincetten auflegt. Man erhält daher immer starke Ausschläge unmittelbar nach dieser Herstellungsweise. Die Nadel begiebt sich in der Regel an die Hemmung und zwar meist in dem Sinne der Erwärmung der mit den Nerven berührten Löthstelle. Wollte man warten, bis sich der Temperaturunterschied ausgeglichen hat, so würde dieses so lange dauern, dass indessen ein guter Theil der Empfänglichkeit des Rückenmarkes verloren ginge. Ich bediente mich daher zweier verschiedener Mittel, um zur Galvanisation des Rückenmarkes nach kürzerer Zeit schreiten zu können. Ich legte anfangs ein zweites Hautstück auf diejenige Löthstelle, welche der mit dem Nervenknauel belasteten entgegengesetzt war. Die Nadel kehrte dann oft binnen Kurzem zu dem Nullpunkte definitiv zurück. Da aber dieses nicht immer der Fall war und doch stets eine verhältnissmässig bedeutende Zeitgrösse bis zur Ausgleichung verloren ging, so liess ich später das compensirende Hautstück hinweg und führte von vorn herein die Nadel auf Null, indem ich einen oder zwei Magnete als Berichtigungsstäbe in der nöthigen Entfernung von dem Nadelpaare so anbrachte, dass der nächste Magnetpol der entgegengesetzte des nächsten Poles der oberen oder der unteren Nadel war, beide also einander anzogen. Dieses Verfahren vermindert die Empfindlichkeit und lässt auch die genaue Proportionalität des in geringen Bogen sich haltenden Ausschlages mit der Intensität des Stromes nicht aufkommen. Das Erstere schadete aber nicht den Versuchsergebnissen und das Letztere ist für die annähernden Schätzungen, die wir machen, nicht nothwendig. Schliesst der Kasten, der Alles bedeckt, in genügendem Maasse, so sieht man, dass der in dem Fernrohre kenntliche Skalentheil nach einigen Minuten zur Ruhe gekommen ist oder nur äusserst langsame, von sehr kleinen Temperaturänderungen abhängige Bewegungen macht.

Die Kette, welche den Magnetelektromotor trieb, befand sich unmittelbar zu meiner Rechten, wenn ich durch das Fernrohr

blickte. Sie bestand aus zwei kleinen, mit sehr verdünnter Schwefelsäure geladenen Elementen einer Zink-Kohlenbatterie, wie sie Hipp auf den schweizer Telegraphenstationen eingeführt hat. Man schliesst sie durch die Bewegung eines Hebels, der die Schwefelsäuregläser auf einer Coulisse emporhebt und so die oben befindlichen Zink- und Kohlenplatten in sie einsetzt. Ich konnte daher die Kette schliessen und öffnen, während ich durch das Fernrohr blickte. Ein schlagendes Secundenwerk oder eine Secundenuhr bestimmte die Zeitspanne der Einwirkung des Magnetelektrromotors und den Augenblick der Ablesung der grössten Excursion der Skale *). Ich begann mit dem Kettenschlusse, nachdem ich mich von der Ruhe oder der äusserst langsam und geringen Bewegung der Skale überzeugt hatte, und verfolgte die Stellung derselben in dem Fernrohre während des Schliessens, der Dauer des Schlusses, des Öffnens und nach dem Letzteren. Die Inductionsströme, die ich gebrauchte, waren so schwach, dass sie keinen irgend unangenehmen Eindruck auf die Zungenspitze machten. Das entsprechende Ende der Inductionsrolle des Schlittenapparates stand dabei um 2 Centimeter von dem der inducirenden Rolle ab.

Ich überzeugte mich in Vorversuchen, dass die Skale ihre Ruhe oder ihre sehr langsame Bewegung nicht merklich änderte, wenn ich die Enden der mehr als 2 Meter langen Kupferelektroden des Magnetelektrromotors in unmittelbarer Nähe des Thermomultiplicators offen oder geschlossen befestigte, und das Hammerwerk längere Zeit spielen liess. Eben so wenig zeigte sich eine Bewegung der einmal zur Ruhe gekommenen Skale, wenn ich die Wirbelsäule, wie in den Hauptversuchen zwischen den Elektrodenenden einklemmte, die beiden losgeschnittenen Hüftgeflechte und Hüftnerven auf einer der Löthstellen der Thermokette liegen liess und sie mit jener durch einen Hautstreifen verband. Keine Nebenzweige der Inductionsströme gingen also durch die Hautbrücke und die Nervenmasse. Dieser Versuch hatte freilich eine nur untergeordnete Bedeutung für die Hauptbeobachtung, indem man nicht weiss, wie

*) Dass dieser für vergleichbare Versuche derselbe sein müsse, wenn man nach längeren Zeiträumen beobachtet, erläutert z. B. Ph. Carl in seinen Untersuchungen über die thermoelektrischen Ströme. München, 1860. 8. S. 19, 20.

sich das Leitungsvermögen der Haut verhielt. Da es aber wahrscheinlich grösser, als das der überdies schmaleren Nervenstränge der Hüftgeflechte war, so lieferte er immer einen Unterstützungsgrund für die Beweiskraft der definitiven Beobachtungen. Besondere später zu erwähnende Versuche erhärteten diese noch in unzweifelhafter Weise.

Die Untersuchungen wurden an mittelgrossen oder kleinen Fröschen (*Rana temporaria*) angestellt. Alle ungestört ablaufenden Beobachtungen lieferten einen im Allgemeinen durchaus übereinstimmenden Gang der Veränderungen. Hatte ich mich überzeugt, dass der senkrechte Faden des Fernrohres auf einem bestimmten Skalengrade längere Zeit ruhte oder sehr langsam fortrückte, und schloss ich die Kette, während ich durch das Fernrohr sah, so begann eine rasche Skalenbewegung im Sinne der Erwärmung der die Nervenmasse tragenden Löthstelle schon nach einigen Secunden. Man hatte oft nachher pendelartige Hin- und Herbewegungen der Nadel, doch so, dass die Minimalzahl der Grade, welche der äusserste Rückschwung gab, die der früheren Ruhe übertraf. Befand sich die Skale in äusserst langsamer Bewegung vor dem Galvanisiren, so wurde diese nach dem Einleiten der Ströme so rasch, dass über die Wirkung der Erregung kein Zweifel obwalten konnte. Ich galvanisierte in der Regel 30 Secunden lang. Hörten die Inductionsströme auf, so schwang natürlich noch die Nadel eine Zeit lang hin und her. Die Grenzen dieser Bewegungen und der endliche Stillstand lehrten, dass die die Nerven tragende Löthstelle immer noch wärmer war, als vor der Galvanisation. Es kam ferner als Regel vor, dass man ein nachträgliches Steigen der Wärme, wahrscheinlich eine allmäliche Mittheilung von Wärme von Seiten des Nervenknäuels an die Metallmasse bemerkte. Sie wurde noch dadurch begünstigt, dass sich die an der Wirbelsäule haftenden Muskelfasern zusammenzogen und erwärmten, und von ihrer Wärme dem Nervenknäuel allmälig abgaben.

Stand die Skale still und elektrisierte ich von Neuem, so wiederholte sich der eben geschilderte Gang während und nach der Galvanisation. Ich konnte in der Regel diese von der Reizung des Rückenmarkes abhängige Erwärmung der Nerven vier Mal und selbst

häufiger an einem und demselben Präparate hervorrufen. Die dritte und die vierte Galvanisation führten dann fast immer zu einer bedeutend geringeren Wärmeerhöhung, als die erste und zweite oder die erste allein. Dieser Umstand zeigt schon, dass man hier nicht das Täuschungsergebniss von Nebenströmen, welche die Nervenmasse durchsetzen, vor sich hatte, sondern eine von dem Einflusse des Rückenmarkes auf die Nerven abhängige Wärmeerhöhung beobachtete. Da die Verdunstung, mithin auch die Vertrocknung aller Theile des Präparates gehindert war und die sämmtlichen Bedingungen überhaupt mit Ausnahme der Empfänglichkeit des Rückenmarkes unverändert blieben, so hätte man genau die gleiche oder eine annähernd gleiche Erwärmung bei jeder einzelnen Galvanisation erhalten müssen, ganz gleichgültig, ob es die erste oder die letzte war, wenn man blosse Wirkungen von Stromesschleifen beobachtete.

Die Formeln, die man aufzustellen pflegt, um die Grösse der bleibenden Ablenkung der Magnetnadel aus dem ersten Ausschlage zu berechnen, gehen von dem Grundsatze aus, dass diese erste Abweichung das Doppelte der bleibenden beträgt, weil man annimmt, dass sich die Nadel um gleich viel jenseit und diesseit der Gleichgewichtslage bei ihrer pendelartigen Schwankung bewege *). Es frägt sich, ob diese Annahme schon für den Fall einer constanten Stromewirkung gerechtfertigt ist, da sie nicht auf den bei so grossen und schnellen Ausschlägen unbedeutenden Luftwiderstand Rücksicht nimmt. Sie kann aber keinesfalls für die Beobachtungen, die man über die elektromotorischen Eigenschaften der Nerven und der Muskeln anstellt, und für Untersuchungen über die Erwärmung in Folge der Reizung, wie sie uns hier beschäftigen, gelten, weil die Stärke der elektrischen Ströme, welche die Nadelablenkung in allen diesen Fällen bedingen, von Augenblick zu Augenblick wechselt. Bedenkt man jedoch, dass die Zurückführung der Ausschläge einer so empfindlichen Vorrichtung, wie sie zu diesen Nervenuntersuchungen diente, auf bestimmte Bruchtheile von Celsiusgraden mit irgend genügender Sicherheit unmöglich ist, dass man sich mit groben ersten Annäherungswerten

*) Siehe z. B. Wiedemann a. a. O. Bd. II. S. 189 u. 202.

begnügen muss, um nur einen ungefährten Begriff überhaupt zu erhalten, so wird man die Grenzen der solchen Bestimmungen anhaftenden Fehler nicht überschreiten, wenn man die gefundene Erwärmung aus den ersten Ausschlägen der fortschwingenden Nadel zu bestimmen sucht. Wir wollen daher einen Versuch beispielsweise berechnen, um den Gang der Wärmeveränderung anschaulich zu machen und einige Bemerkungen zur Erläuterung hinzuzufügen. Ich verzeichnete mir in allen solchen Beobachtungen die Maximalzahl, welche die Skalenbewegung am Ende des Ausschlages gab und die Minimalgrösse, welche dem Ende des Rückschwunges entsprach. Das Mittel beider wurde der Berechnung zum Grunde gelegt. Die in Celsiusgraden ausgedrückten Werthe können nur als höchst ungefähre gelten, weil die Anwendung des Berichtigungsmagneten die Proportionalität der Ausschläge und der Stromesintensität störte. Es ergab sich für ein lebhaftes mittelgrosses Exemplar von *Rana esculenta*.

Galvanisation.	Dauer derselben in Secunden.	Wärme am Ende der Galvanisation in Celsiusgraden.	Unterschied gegen die letzte Beobachtung.	Zeit nach dem Ende der Galvanisation in Minuten.	Wärme in Celsiusgraden.	Unterschied gegen die letzte Beobachtung.
Erste	90	0,021	+ 0,021	—	—	—
				1 6	0,025 0,034	+ 0,004 + 0,029
Zweite	30	0,064	+ 0,010	—	—	—
				4	0,068	+ 0,004
				6	0,071	+ 0,003
				8 12	0,080 0,084	+ 0,009 + 0,004
Dritte	30	0,087	0,003	—	—	—
				2	0,088	+ 0,001
				3 5½	0,089 0,090	+ 0,001 + 0,001
Vierte	30	0,092	0,002	— 1	— 0,092	— 0,000
Fünfte	30	0,094	0,002	— 1 5 7	— 0,094 0,096 0,098	— 0,000 + 0,002 + 0,002
Sechste	30	0,099	0,001	—	—	—

Die Skalenveränderung erfolgte hier, wie sonst während der Galvanisation mit solcher Geschwindigkeit, dass es keinem Zweifel unterlag, dass man die Wirkung der Inductionsströme auf das Rückenmark und keine zufällige Schwankung vor sich hatte.

Wir sehen zuvörderst, dass die erste $1\frac{1}{2}$ Minuten anhaltende Galvanisation die stärkste Erwärmung hervorrief. Jede der späteren elektrischen Erregungen, die gleich lange dauerte und dieselben physikalischen Verhältnisse darbot, führte im Allgemeinen zu einer um so geringeren Wärmeerhöhung, je später sie erfolgte, so dass die sechste zuletzt nur eine Vermehrung um ungefähr $\frac{1}{1000}$ Grad am Ende der Galvanisation herbeigeführt hatte. Dieser Umstand spricht, wie schon erwähnt, dafür, dass die Wärmezunahme von der in dem Nervenkäuel vor sich gehenden Veränderung, welche die Erregung des Rückenmarkes erzeugte, und nicht von dem unmittelbaren Einflusse der Inductionsströme herrührte.

Die Tabelle lehrt ferner, dass sich die Löthstelle nach dem Aufhören der Galvanisation immer mehr erwärmt. Dieses erklärt sich aus den Wirkungen der Wärmestrahlung und vorzugsweise der Wärmeleitung der Nachbargebilde. Die Abschnitte der beiden Hüftgeflechte, welche die Verbindung der Wirbelsäule mit dem auf der Löthstelle befindlichen Nervenkäuel herstellten und deshalb in der Luft schwebten, und vorzugsweise das Rückenmark und die an der Wirbelsäule noch haftenden und sich verkürzenden Muskelfasern erwärmten sich natürlich ebenfalls und konnten Wärme dem Nervenkäuel und der Löthstelle mittheilen. Dasselbe war mit denjenigen Abschnitten des Nervenpaketes der Fall, die von der Löthstelle entfernt lagen. Diese Zufuhr von Wärme fiel beträchtlicher aus, als die gleichzeitige Abkühlung durch die umgebende Atmosphäre. Das Wechselspiel der zwei einander widerstreitenden Bedingungen erklärt auch den unregelmässigen Gang, den jene nachträgliche Erwärmung einhielt. Da sie aber nach der ersten Galvanisation am grössten ausfiel und später merklich abnahm, so liegt hierin ein neuer Unterstützungsgrund der Ansicht, dass die ursprüngliche Erwärmung von den mit dem Reizbarkeitszustande wechselnden organischen und nicht von rein physikalischen Zuständen herrührte.

Ich schnitt die frei schwebenden, in der Nähe der Wirbelsäule befindlichen Bezirke der beiden Hüftgeflechte nach der sechsten Galvanisation durch, und verband die Wirbelsäule mit dem auf der Löthstelle liegenden Nervenknäuel durch eine Hautrolle, die breiter und ungefähr eben so dick als die Hüftgeflechte war. Hatte ich die Ruhe der Skale abgewartet, so erzeugte eine dreimalige Galvanisation von je 30 bis 60 Secunden keine Spur von Skalenbewegung.

Ich suchte noch den Beweis, dass die Erwärmung von der Nervenwirkung und nicht von unmittelbaren Einflüssen der Inductionsströme herrührte, auf zwei anderen Wegen zu führen. Hatte ich die Galvanisation mehrere Male nach den nöthigen Zwischenzeiten wiederholt, und immer eine entsprechende unmittelbare und eine nachträgliche Erwärmung erhalten, so trennte ich die frei schwebenden und zwischen der Wirbelsäule und dem Nervenknäuel befindlichen Abschnitte der beiden Hüftgeflechte, und legte die der Schnittfläche benachbarten Nervenstücke über einander, um den Zusammenhang der Theile herzustellen. Wartete ich hierauf die Ruhe der Skale ab und galvanisierte, wie gewöhnlich, so blieb jene vollkommen unverrückt. Sie hätte sich aber jetzt nur um so eher bewegen sollen, da der Leitungswiderstand für seitlich abgezweigte Inductionsströme durch das Uebereinanderlegen der getrennten Nervenstücke der Abnahme der Länge und vorzugsweise der Vergrösserung des Querschnittes wegen geringer war.

Das zweite Versuchsverfahren vertauschte die Unterbindung mit der Durchschneidung der Nerven. Ich schob die durch einen chirurgischen Knoten erzeugte Oese eines Seidenfadens um den oberen Theil der beiden Hüftgeflechte, so dass sie die Nerven locker umgab, erzeugte eine ursprüngliche und eine nachträgliche Erwärmung durch die Galvanisation des Rückenmarkes, schnürte dann die Schlinge möglichst fest um den Nerven zu, wartete die Ruhe der Skale ab und elektrisierte von Neuem. Gelang die Einschnürung vollständig, so fehlte jede Skalenverrückung bei der zweiten galvanischen Einwirkung. Die Hüftgeflechte und die Hüftnerven einer mittelgrossen Rana esculenta z. B. lieferten eine Erwärmung von ungefähr $0,011^{\circ}$ C. am Ende der 25 bis 30 Secunden anhal-

tenden Reizung des Rückenmarkes. Ich schnürte unmittelbar darauf die um den obersten Theil der beiden Hüftgeflechte gelegte Fadenschlinge so fest als möglich zusammen und wartete einige Minuten, bis sich die Skale nicht mehr verrückte. Sie bewegte sich auch dann nicht, wenn ich die Inductionsschläge $1\frac{1}{2}$ Minuten lang durch das Rückenmark gehen liess. Man hatte dagegen eine nachträgliche Wärmeerhöhung von ungefähr $0,002^{\circ}$ C. zwei und eine solche von $0,009^{\circ}$ C. vier Minuten nach dem Ende der Galvanisation. Sie erklärt sich daraus, dass sich das Rückenmark erwärmt und die an der Wirbelsäule haftenden Muskelfasern zusammengezogen hatten, und daher ebenfalls wärmer geworden waren. Ihre Strahlung und Leitung reichte später bis zu dem Nervenknäuel und der Löthstelle.

Diese Thatsachen führen zu dem Schlusse, dass die elektrische Erregung des reizbaren Rückenmarkes des Frosches eine Erwärmung des Hüftgeflechtes und der Hüftnerven erzeugt. Ich sage absichtlich nicht, die Nerventhätigkeit führe zu dieser Wärmeerhöhung, weil wir hier zwei andere Wirkungen der elektrischen Ströme ausser oder neben jener haben, nämlich die negative Schwankung des Nervenstromes und den Elektrotonus. Wir müssen vorzugsweise den Letzteren im Auge behalten. Spielt der Magnetelektromotor, so haben wir rasch wechselnd eine positive und eine negative Phase des Elektrotonus, deren entgegengesetzte Einflüsse sich für die Magnetnadel aufheben, so dass keine Ausschläge des tragen astatischen Nadelpaars des Galvanometers durch sie bedingt werden. Man darf dagegen annehmen, dass sie sich als gleichartige Werthe für die Wärmewirkung verhalten und daher zu einer grösseren Summe addiren werden. Unsere Versuche liefern aber keine Anhaltspunkte, um die Wirkungen des Elektrotonus auch nur annähernd zu schätzen.

Hört die Galvanisation auf, so dass die Nerven aus dem Elektrotonus in den früheren Zustand zurückkehren, so entsteht wahrscheinlich eine neue, obgleich sehr geringe Erwärmung, die ihren minimalen Beitrag zur nachträglichen Erwärmung liefern wird.

Ich habe später nachgesehen, ob man nicht auch eine Erwärmung der Nerven durch eine nicht elektrische Reizung des Rücken-

markes erzielen könnte. Thermische und die immer mit geringeren oder grösseren Temperaturveränderungen verbundenen chemischen Reize blieben natürlich von selbst ausgeschlossen. Ich konnte daher nur hoffen, durch mechanische Erregungen zum Ziele zu gelangen. Der Versuch musste aber so eingerichtet werden, dass ich von meinem an dem Fernrohre befindlichen Platze aus, also 1,8 Meter von dem Präparat und dem Thermomultiplicator entfernt das Rückenmark verletzen konnte, während ich durch das Fernrohr beobachtete.

Ich nahm zu diesem Zwecke einen soliden Träger, den ich mir vor Jahren zu Galvanometerversuchen hatte machen lassen, und der daher auch mit den für unseren Zweck überflüssigen isolirenden Stücken versehen war. Eine dicke, an einen Tisch anschraubbare Holzplatte trug eine durch eine Elfenbeinplatte isolirte Messingsäule, die selbst wieder zwei wagerechte Halter führte. Jeder von diesen bestand aus einem durch einen federnden Gleitungs-cylinder beweglichen und durch eine Schraube feststellbaren Arm, der zwei Nussgelenke besass, daher nach allen Richtungen gedreht und endlich mit einer Schraube in einer beliebigen Stellung festgestellt werden konnte. Das Ende des Armes bestand aus zwei, mit Elfenbein gedeckten beweglichen Platten, zwischen denen ein Gegenstand eingeklemmt und dann mittelst Schrauben befestigt wurde.

Man klemmte die Wirbelsäule des, wie früher, bereiteten Präparates zwischen die beiden Endplatten des unteren Trägerarmes, legte den Knäuel der beiden Hüftgeflechte und der zwei Hüftnerven auf die Löthstelle der Thermokette und bedeckte sie mit einem Hautstücke. Die Platten des oberen Armes hielten eine Messing-hülse festgeklemmt, in der eine harte Stahlnadel mittelst einer Schraube befestigt war. Ein Faden ging von diesem Endstücke durch ein Loch der Trägerplatte des Galvanometers zu dem Gestell, das für das Fernrohr und die Skale bestimmt war. Man stellte den oberen Arm so ein, dass das Anziehen des Fadens, der sich neben dem Fernrohre zu meiner Rechten befand, die Nadel in das Rückenmark stiess. Die an den beiden Armen befindlichen, durch Schrauben klemmbaren Nussgelenke erleichterten die Ein-

stellung in hohem Grade. Man konnte sie ohne viele Mühe so machen, dass die Nadel das ganze Rückenmark bei dem Anziehen durchbohrte. Wollte man dagegen, dass sie nur einen Theil zerstörte, so neigte man ihre Axenrichtung in entsprechendem Maasse gegen die des Rückenmarkes. Die übrige Anordnung war sonst wie bei den elektrischen Reizungen. Vorversuche lehrten, dass die Anwesenheit und die immer nicht sehr grosse Bewegung der Stahlnadel in der Nähe des Galvanometers keinen störenden Einfluss auf die Ergebnisse ausübte.

Diese Beobachtungen wurden mit zwei verschiedenen Thermoketten von Antimon und Wismuth gemacht. Die eine war die schon früher beschriebene, aus drei Elementen bestehende, die zu den Versuchen mit der elektrischen Erregung gedient hatte. Die zweite, die ich in dieser Form anfertigen liess, um sie auch für Muskeln und für die Einführung in den Thierkörper überhaupt benutzen zu können, bestand aus zwei Vförmig gestalteten Elementen, deren beide nach innen gekehrte Wismuthstäbe durch einen zwei Millimeter dicken weichen Kupferdraht wechselseitig verbunden waren. Jeder der beiden äusseren Antimonstäbe hatte zwei eben so dicke Kupferdrähte zur Verbindung mit dem Galvanometer angelöthet. Die Stäbe besassen eine Länge von 35 Millimeter, die Antimonstäbe eine Breite von $3\frac{1}{2}$ Mm. und eine Dicke von 5 Mm., während die gleichen Dimensionen des schlechter leitenden Wismuthstabes 4 Mm. und 5 Mm. betrugen. Je ein Antimon- und ein Wismuthstab waren unter einem Winkel von 50 zusammengelöthet und am Ende zugespitzt. Die Länge der Löthstelle betrug beinahe 15 Millimeter. Der Kupferdraht, der die beiden inneren Wismuthstäbe verband, war nothwendig, um die beiden Löthstellen in zwei wechselseitig entfernte thierische Theile ein senken zu können. Ich liess ihn sehr weich nehmen, um ihn, wenn man ihn nicht sehr lang brauchte bis zu gegenseitiger Berührung, spiraling einzwinden und so seinen Leitungswiderstand herabsetzen zu können. Dieses geschah auch bei den uns hier beschäftigenden Versuchen. Dessenungeachtet blieb er selbst dann noch so gross, dass sich diese Thermokette als etwas weniger empfindlich erwies, wie die früher gebrauchte. Eine Bogenminute Ablenkung der Galvanometer

nadel betrug unter den gleichen, bei den Versuchen vorhandenen Nebenbedingungen nahezu $26\frac{1}{2}^{\circ}$ C. für die Thermokette mit zwei V-förmigen und $22\frac{1}{2}^{\circ}$ C. für die mit drei Elementen.

Die Beobachtungen mit der mechanischen Reizung gelangen leichter, als ich es erwartet hatte. Denn jeder Versuch, bei dem die Nadel eine Strecke weit in das Rückenmark eingedrungen war, führte zu einer primären und einer mehr oder minder deutlichen nachträglichen Erwärmung des Nervenknauels, der auf der Löthstelle lag. Man überzeugte sich auch an reizlosen Präparaten, dass nicht die durch das Einstechen erzeugte Wärme ein täuschendes Ergebniss herbeiführte.

Ich will die beiden lehrreichsten Versuche, die an zwei mittelgrossen Fröschen angestellt wurden, anführen. Sie waren auch insofern beweisend, als die der Löthstelle entsprechende Erwärmung eine Skalenbewegung nach abwärts (zu geringeren Gradzahlen) in dem ersten Versuche und eine nach aufwärts in dem zweiten Versuche zur Folge haben musste, weil eine auf das Galvanometer entgegengesetzt bezogene Löthstelle in dem zweiten Falle benutzt wurde. Die Ergebnisse entsprachen vollkommen diesen verschiedenen Bewegungsrichtungen.

Erster Frosch.

Nebenverhältnisse.	Ungefährre Wärme in Celsiusgraden.	Unterschied gegen die letzte Beobachtung.
Die Nadel in den obersten Theil des Rückenmarkes eingestochen. Nach ungefähr 30 Secunden .	—	+ 0,035
1 Minute später	0,040	+ 0,005
2 Minuten darauf	0,046	+ 0,006
3 Minuten darauf	0,045	- 0,001
Abermals und zwar einige Millimeter tiefer nach einigen Minuten in das Rückenmark gestochen	—	+ 0,014
1 Minute später	0,016	+ 0,002
Mehrere Minuten später wiederum einige Millimeter tiefer in das Rückenmark gestochen und die Nadel in demselben gelassen	—	+ 0,015
1 Minute später	0,027	+ 0,012
2 Minuten später	0,040	+ 0,013

Zweiter Frosch.

Nebenverhältnisse.	Ungesäbre Wärme in Celsiusgraden.	Unterschied gegen die letzte Beobachtung.
Die obere Hälfte des Rückenmarkes mit der Nadel durchgestochen. Ungefähr 45 Secunden später	—	+ 0,004
1½ Minuten später	0,011	+ 0,007
Die beiden Hüftgeflechte mit einem Seidenfaden fest zugeschnürt. Einige Minuten darauf die Nadel in den mittleren bis unteren Theil des Rückenmarkes eingestochen.	In den ersten 50 Secunden keine Skalenbewegung, die 3° gleicht oder $\frac{3}{722} = 0,001^{\circ}$ C. entspricht. Also die primäre Erwärmung jedenfalls geringer.	

Der erste Versuch lehrt, dass man die mechanische Reizung des Rückenmarkes auf die oben geschilderte Weise mehrere Male wiederholen kann, und jedes Mal eine primäre und eine nachträgliche Wärmeerhöhung bekommt. Dass diese das dritte Mal grösser als das zweite Mal und überhaupt dann verhältnissmässig hoch ausfiel, erklärt sich, wie ich glaube, daraus, dass dann der mittlere und der untere Bezirk des Rückenmarkes verletzt wurde, also der Theil, welcher den Eintrittsstellen der Nervenwurzeln der Hüftgeflechte nahe lag, und man daher auf diese mit besonderem Nachdrucke wirkte. Der zweite Frosch zeigte unmittelbar, wie die Unterbindung der beiden Hüftgeflechte die primäre Erwärmung nach der mechanischen Verletzung des Rückenmarkes aufhob, da natürlich eine Skalenbewegung von weniger als 3 Grad oder eine Temperaturerhöhung von weniger als $10\frac{1}{100}^{\circ}$ C. nach den ersten 50 Secunden nach der Verletzung durch Zuleitung von Wärme von Seiten des Rückenmarkes und der Wirbelsälemuskeln, oder durch andere zufällige Ursachen entstanden sein kann.

Fassen wir Alles zusammen, so unterliegt es keinem Zweifel, dass nicht nur die durch elektrische, sondern auch die durch mechanische Reizung des Rückenmarkes bedingte Nerventhätigkeit eine nachweisbare Wärmeerhöhung in den Hüftgeflechten und den Hüftnerven zur Folge hat. Die Temperatur wächst später durch Strahlung und vorzugsweise durch Zuleitung von dem auch wärmer gewordenen Rückenmark, und den nicht auf den Löthstellen der Thermokette liegenden Theilen der Hüftgeflechte, sowie den an der

Wirbelsäule haftenden Resten von Muskelfasern, die sich in Folge der Reizung zusammengezogen haben. Weiter, als zu diesen Ergebnissen wird man noch lange nicht fortschreiten können. Denn quantitative Bestimmungen der Wärmevermehrung hätten nur dann einen Sinn, wenn man die Gesamtsumme der Wärmeerhöhung eines bestimmten Nervenvolumens bei einem in Zahlenwerthen angebaren Empfänglichkeitszustande der Nervengebilde und einer eben so quantitativ messbaren Erregungsgrösse derselben bestimmen könnte. Dass aber noch Jahrzehnte vergehen werden, ehe nur einer dieser Zahlenwerthe erhalten werden kann, dürfte keinem Zweifel unterworfen sein.

Diese Versuche geben einen anschaulichen Beweis, wie sehr die thermomagnetischen Bestimmungen vor den thermometrischen bei allen feineren Fragen den Vorzug verdienen. Um kleine Wärmeunterschiede zu ermitteln, stehen drei Arten von Vorrichtungen zu Gebote.

1) Man nimmt kleine Thermometer, die eine grosse Menge von Graden innerhalb enger Temperaturgrenzen darbieten. Man hat z. B. solche für die Bestimmung der thierischen Wärme, die 400 Theilstriche für 15° besitzen, so dass 1° des Thermometers $0,037^{\circ}$ C. entspricht. Da sich $\frac{1}{5}^{\circ}$ schätzen lässt, so bleibt in dem letzteren Falle eine ungefähre Bestimmung von nahezu $\frac{1}{188}^{\circ}$ C. möglich.

2) Es giebt Ausgussthermometer (mit einem Seitenbehälter an dem oberen Ende), deren Theilung eben so fein, als die erwähnte ist, und deren Grade sich selbst bis $\frac{1}{10}$ schätzen lassen, die also bis nahezu $\frac{1}{68}^{\circ}$ C. hinabgehen. Sie gewähren natürlich den Vortheil, dass man die obere und die untere Grenze, die um 15° wechselseitig geschieden sind, nach Bedarf höher oder tiefer wählen kann, je nachdem man mehr oder weniger Quecksilber in den Seitenbehälter übertreibt.

3) Die feinsten Vorrichtungen der Art sind die metastatischen Thermometer von Walferdin, d. h. Weingeistthermometer, die ein kleines Quecksilberkugelchen in dem unteren Behälter enthalten. Der obere führt zum Theil Luft und besitzt einen Nebenbehälter für die Aufnahme des Quecksilberkugelchens. Wird nämlich das

Thermometer umgekehrt, so dass das Quecksilberkugelchen über dem in der Mitte des Cylinders dahingehenden cylindrischen Hohlraume zu liegen kommt, und der frühere untere oder der jetzige obere Behälter erwärmt, so verwandelt sich das Kugelchen in einen cylindrischen Index, der bei fortschreitender Erwärmung bis in den entgegengesetzten Behälter übertritt und hier von Neuem die Kugelform annimmt. Man treibt nun das Kugelchen in den Seitenbehälter und versenkt den unteren Behälter in den Körper, dessen Temperaturwechsel man prüfen will. Das Kugelchen wird durch Neigen des Thermometers über den mittleren cylindrischen Hohlraum gebracht, und tritt in diesen als Index um so tiefer hinunter, je mehr die Wärme des Prüfungskörpers abnimmt. Ein solches zur Bestimmung der Aenderungen der Blutwärme geeignetes metastatisches Thermometer von Fastré, welches die Berner Anatomie besitzt, hat z. B. 275 Grade seiner Skale und umfasst einen Spielraum von $7,975^{\circ}$ C., so dass jeder Skalengrad $0,029^{\circ}$ C. entspricht. Da die Grade so gross sind, dass sich leicht $\frac{1}{10}$ Grad unter der Loupe schätzen lässt, so geht die theoretische Möglichkeit der Bestimmung bis auf $\frac{1}{1000}^{\circ}$ C. hinab.

Ich benutzte noch ein von Walferdin angefertigtes metastatisches Thermometer, welches das grösste mir bekannte Meisterstück der Glasbläserkunst auf diesem Gebiete bildet. Seine Länge beträgt 22 Centimeter, der Durchmesser seines cylindrischen Theiles dagegen nur 4 Millimeter. Der untere Behälter verschmälert sich von 4 bis 2 Millimeter, so dass man ihn leicht selbst in den Mastdarm eines kleineren Frosches einführen kann. Die nicht von Walferdin selbst ausgeführte Gradeintheilung, die daher Vieles zu wünschen übrig lässt, trägt 275 Grade für einen Spielraum von 8° C. Da sich auch hier $\frac{1}{10}$ Grad unter der Loupe schätzen lässt, so hat man eine feinste Bestimmung von $0,0029^{\circ}$ C. oder $\frac{1}{345}^{\circ}$ C. Bringe ich den unteren Behälter unter ein zusammengesetztes Mikroskop, in dessen Ocular sich ein Glasmikrometer befindet, so zeigt das Quecksilberkugelchen, wie es durch die Brechung der Glaswände verändert erscheint, einen Durchmesser von fast genau $\frac{1}{2}$ Millimeter. Treibt man es in den Hohlraum hinauf, so besitzt es als Index eine scheinbare Länge von 4 Millimeter. Der schein-

bare Durchmesser des Hohlraumes beträgt nach der mikroskopischen Bestimmung $\frac{1}{15}$ Mm. Nennt man D den Durchmesser, und h die Höhe eines Cylinders, dagegen den Durchmesser einer Kugel von demselben Volumen, wie der Cylinder, so findet man $d = 1,1447\sqrt[3]{D^2 h}$. Machen wir also $D = \frac{1}{15}$ und $h = 4$, so erhalten wir 0,1436 Mm. oder beinahe genau $\frac{1}{7}$ Mm. Auf diese Uebereinstimmung der Rechnung und der Beobachtung ist insofern kein Werth zu legen, als man alle gemessenen Theile durch gekrümmte, ungleich dicke Glaswände, also nicht in ihrer natürlichen Grösse sah, und der Index nicht genau cylindrisch, sondern an beiden Enden zugespitzt erschien.

Man sollte glauben, dass eine so feine thermometrische Vorrichtung die Wärmeerhöhung der zusammengezogenen Froschmuskeln leicht anzeigen würde. Bringe ich den unteren Behälter, nachdem ich die Quecksilberkugel in den Index verwandelt habe, zwischen die Oberschenkelmuskeln eines enthaupteten Frosches, warte bis der Zeiger ruhig steht und galvanisire das Rückenmark, so erhalte ich keineswegs immer ein Emporsteigen des Index als Zeichen der Erwärmung. Er fliegt dagegen rasch empor, wenn ich die beiden Elektroden oder wenigstens eine an die Oberschenkelmuskeln selbst anlege. Die verhältnissmässig grosse zu erwärmende Masse des Thermometers bildet die Hauptursache, weshalb diese Vorrichtung für solche feinere Bestimmungen nicht dienen kann.

A n h a n g .

Ueber Wärmeentwicklung während der Zusammenziehung der einfachen Muskelfasern.

Da sich die Untersuchungen, die man bis jetzt über die Wärmeerhöhung der Muskeln während ihrer Zusammenziehung angestellt hat, auf die quergestreiften Muskelmassen beschränken, so benutzte ich den einmal eingerichteten, für die Nerven gebrauchten Apparat, um auch einige Erfahrungen über die Erscheinungen zu gewinnen, welche die Verkürzung der Darmmuskulatur begleiten.

Legt man den Wadenmuskel eines Frosches auf die Löthstelle einer der beiden, oben beschriebenen, aus Antimon und

Wismuth bestehenden Thermoketten, und verbindet den dazu gehörenden Hüftnerven mit einem, wie früher geschildert worden, neben dem Fernrohre angebrachten Magnetelektrometer, so beginnt die Wärmeerhöhung einige Secunden, nachdem die Durchleitung der Inductionsschläge durch den Nerven angefangen hat. Der Wadenmuskel eines sehr kleinen Frosches führte z. B. zu folgenden Werthen:

Nebenverhältnisse.	Ungefährre Wärme in Celsiusgraden.	Unterschied gegen die letzte Beobachtung.
Der Hüftnerv 25 Secunden galvanisiert. Einige Secunden nach dem Anfange der Erregung . . .	—	+ 0,012
1 Minute nach dem Ende der Galvanisation . . .	+ 0,003	- 0,09
1 Minute später	+ 0,0003	- 0,0027
6 Minuten später	+ 0,0009	+ 0,0006
10 Secunden von Neuem den Nerven galvanisiert	+ 0,0029	+ 0,002
1 Minute später	+ 0,0019	- 0,001
1 Minute hierauf	+ 0,0017	- 0,0002

Ich gebe die Werthe nur, um anschaulich zu machen, wie sich diese Art von Erfahrungen gestaltet. Eine nähere Betrachtung zeigt nämlich, dass das Versuchsverfahren nicht nur unvollständig, sondern auch ungenügend ist.

Da der Muskel die Löthstelle nur mit einem kleinen Theile seiner Oberfläche berührt, sonst dagegen von einer mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre umgeben ist, so bildet die von dem Galvanometer angezeigte Wärmeerhöhung einen blossen Bruchtheil derjenigen Wärmezunahme, welche durch die Zusammenziehung bedingt wird. Wichtiger als dieses ist der Umstand, dass die durch die Verkürzung erzeugte Formveränderung es immer zweifelhaft lässt, ob nicht die Zusammenziehung andere Punkte der Muskelmasse mit der Löthstelle in Berührung brachte, als die, welche auf jener im Ruhezustande auflagen. Dieser Umstand führte mich dazu, die Vorrichtung abzuändern.

Ich vervielfigte mir zwei Kästchen von Gutta percha. Das eine hatte $6\frac{1}{2}$ Centimeter Länge, 16 Millimeter Breite und 13 Millimeter

Höhe. Es nahm die unteren Löthstellen der aus drei Elementen bestehenden Antimon-Wismuthkette auf. Ein zweites Kästchen besass eine Länge von 19, eine Breite von 17 bis 18 und eine Höhe von 18 Millimeter. In dieses kam die eine der beiden Löthstellen, wenn man die aus zwei V förmigen Thermoelementen bestehende Kette gebrauchte. Man goss das nötige Oel in das Kästchen, und zwar zwischen 4 und $4\frac{1}{2}$ Cubikcentimetern in das grössere für die drei Elemente bestimmte und zwischen 3 und 4 Cubikcentimetern in das kleinere, das zu den V förmigen Elementen gehörte.

Einige Vorversuche belehrten mich, dass sich diese verhältnismässig beträchtliche Menge des schlechtleitenden Oeles immer noch eignet, die Erwärmung einzelner thierischer Theile durch kleine Ausschläge der Multiplicatornadel anzugeben. Sollten mich nicht unbekannt gebliebene Aussenverhältnisse getäuscht haben, so darf man annehmen, dass die Vorrichtung die durch Klopfen eines mittelgrossen Froschherzens bedingte Wärmeerhöhung dadurch anzeigen, dass die Temperatur des Oeles um ungefähr 0,0007 bis 0,0009° in der Minute stieg. Legte ich den enthäuteten Unterschenkel und Fuss eines nicht grossen Frosches nach Entfernung der Zehen in das Oel, und reizte hierauf das Hüftgeflecht und den oberen Theil des Hüftnerven mit den Inductionsschlägen, so wanderte immer die Skale ungefähr 5 bis 10 Secunden nach dem Beginne der Reizung in der der Wärmeerhöhung entsprechenden Richtung weiter und machte später Schwankungen, deren Mittelwerth eine Erwärmung der von dem Oele berührten Löthstellen anzeigen. Die durch die elektrische Erregung des Rückenmarkes bedingte Wärmezunahme der Nerven liess sich auf diesem Wege ebenfalls nachweisen. Ich nahm ein aus der Wirbelsäule, den beiden Hüftgeflechten und den zwei Hüftnerven eines mittelgrossen Frosches bestehendes Präparat, wie es früher geschildert worden, verband den obersten Theil der Wirbelsäule mit den Elektroden des neben dem Fernrohre befindlichen Magnetelektrometers, und versenkte die Nerven in die ungefähr $3\frac{1}{2}$ Cubikcentimeter betragende Oelmasse, in welcher die Löthstelle des einen V förmigen Elementes tauchte. Schloss ich die Kette, so ergab sich:

Nebenverhältnisse.	Ungewisse Wärme in Celsiusgraden.	Unterschied gegen die letzte Beobachtung.
Das Rückenmark 30 Secunden galvanisiert . . .	—	+ 0,0006
$\frac{1}{2}$ Minute nach dem Ende der elektrischen Reizung	+ 0,0013	+ 0,0007
$\frac{1}{2}$ Minute später	+ 0,0014	+ 0,0001
Wiederum 30 Secunden galvanisiert. Nach d. Erregung	+ 0,0015	+ 0,0001
$1\frac{1}{2}$ Minuten später	+ 0,0014	- 0,0001

Obgleich man lebhafte Zusammenziehungen des Magens und des Darmes des Frosches durch die elektrische Erregung des oberen Theiles des Rückenmarkes erzeugen kann, so gelingt doch der Versuch nur in der Minderzahl der Fälle. Man darf daher die Frösche nicht sparen, wenn man Verkürzungen überhaupt erhalten will. Würde aber, wie es in einzelnen Versuchen in der That vorkam, weder eine Skalenbewegung noch eine Zusammenziehung des Darmes trotz der über eine Minute anhaltenden elektrischen Reizung auftreten, eine solche dagegen, die eine Erwärmung anzeigte, mit den Verkürzungen zum Vorschein kommen, so wären, wie es scheint, die letzteren Beobachtungen um so beweiskräftiger. Ein bald zu erwähnender Nebenumstand jedoch bedingt es, dass alle solche Erfahrungen keine entscheidende Folgerung gestatten.

Man enthauptet den Frosch, entfernt die Vorder- und die Hinterbeine und schneidet möglichst viel von den quergestreiften Muskelmassen der Bauchdecken und der Rückenwände fort, hütet sich jedoch, die Nervenverbindungen des Darmes mit dem Grenzstrange des Sympathicus und dieses mit dem Rückenmarke zu verletzen. Obgleich sich der Magen leichter und lebhafter, als der Dünndarm zusammenziehen pflegt, so versenkte ich doch nur die herabhängenden Schlingen des Letzteren und den Mastdarm in das Oel, weil möglicher Weise noch Stromesschleifen durch den der Anspruchsstelle des Rückenmarkes nahe gelegenen Magen gehen konnten. Wartete ich, bis die Skale ruhte und elektrisierte dann den obersten Theil des Rückenmarkes, wie in den anderen Versuchen, ohne dass bleibende Einschnürungen des Dünndarmes auftraten, so blieb die Skale keineswegs immer ruhig. Sie bewegte sich in vielen Fällen

einige Secunden nach dem Anfange der Galvanisation plötzlich mit grosser Lebhaftigkeit, so dass diese Erscheinung eine deutliche Folge der Wirkung der Inductionsströme bildete. Die Richtung der Nadelbewegung entsprach aber nicht einer Erwärmung, sondern einer Abkühlung der in das Oel versenkten Löthstelle. Der Grund dieser in einer Reihe von Beobachtungen beständig wiederkehrenden Erscheinung ist mir nicht klar geworden. Sie bestimmte mich aber, das ganze Versuchsverfahren fallen zu lassen.

Ich entfernte daher in anderen Versuchen den Magen und den Darm aus der Unterleibshöhle, klemmte den obersten Theil des Ersteren zwischen den Elektroden des Magnetelektrromotors ein und versenkte den Dünndarm und den Mastdarm in das Oel. Liess ich nun die Inductionsströme wirken, so begann meist die Skale ihre rasche Bewegung im Sinne der Erwärmung der im Oele befindlichen Löthstelle. Der Darm hatte dabei oft keine bleibenden Einschnürungen in Folge dieser Wirkungen, bekam sie aber, wenn man eine Stelle desselben mit der Pincette nach der Galvanisation zusammendrückte. Ich änderte auch die Versuche dahin ab, dass ich eine um den Magen oder am Anfange des Dünndarmes locker geschlungene Ligatur, während ich durch das Fernrohr sah, fest zusammenschnürte, oder eine beschränkte Stelle des Darms stark zusammendrückte. Die Skalenbewegung war dann ebenfalls rasch und fiel im Sinne der Erwärmung aus. Dessenungeachtet haben auch diese Versuche keine unbedingte Beweiskraft, weil es immer denkbar ist, dass die Wärmeerhöhung von den unmittelbaren Wirkungen der Inductionsströme oder dem Drucke und der Reibung, welche die mechanische Reizung begleiteten, herrührte. Man sieht hieraus, dass die unzweifelhafte Bestimmung der durch die Verkürzung der einfachen Muskelfasern bedingten Wärmeveränderung mehr Schwierigkeiten darbietet, als der Nachweis der Wärmeerhöhung, welche die Zusammenziehung der quergestreiften Muskelmassen oder die Thätigkeit der Nervenstämmen begleitet.
