

# Ueber die Wärmeentwicklung beim Starrwerden des Muskels,

von

**Dr. W. Dybkowsky und Prof. A. Fick.**

---

In älterer Zeit war ziemlich allgemein die Ansicht verbreitet, dass die Starre des Muskels eine seiner Kontraktion während des Lebens analoge Erscheinung sei. In der Todtenstarre insbesondere sah man gleichsam den letzten Lebensakt des Gewebes. Später wurde diese Ansicht von der überwiegenden Mehrzahl der Physiologen verlassen, aber in allerneuester Zeit erheben sich wieder gewichtige Stimmen für dieselbe. Es kann sich selbstverständlich nicht darum handeln, den starren Muskel und den tetanisirten Muskel zu identificiren. Die Unterschiede zwischen diesen beiden Gebilden springen sofort in die Augen; der starre Muskel ist, wie schon der Name sagt, wenig biegsam und brüchig, er ist ferner undurchsichtig und weniger dehnbar. Von alledem sehen wir am tetanisirten Muskel das Gegentheil. Dennoch kann es recht wohl ein und derselbe Process sein, welcher den lebenden ruhenden Muskel zu beiden Zuständen führt, und es wäre sogar möglich, dass sich der Muskel während des Erstarrens zu gewissen Zeiten in einem Zustande befindet, welcher dem tetanisirten Zustande identisch ist. Das Erstarren wäre dann aufzufassen als ein Weiterschreiten der Prozesse, die in ihren ersten Stadien zum Tetanus führen.

Gerade diese Auffassung ist es, die sich neuerdings geltend macht und die in den schönen Untersuchungen von Rankel<sup>1)</sup> und von Hermann<sup>2)</sup> über Muskelchemie eine thatsächliche Grundlage findet. Der erstere hat die von du Bois-Reymond entdeckte Säuerung des Muskels weiter verfolgt und gefunden, dass im Muskel ein gewisser Vorrath des Säure (wahrscheinlich Milchsäure) bildenden Körpers vorhanden ist, der beim Tetanisiren stets nur theilweise, beim Starrwerden aber ganz erschöpft wird. Hermann zeigte, dass für die Kohlensäurebildung im Muskel dasselbe gelte. Er wies ferner nach, dass bei dieser Bildung von Milchsäure und von Kohlensäure kein freier Sauerstoff verbraucht werde.

Hermann macht es höchst wahrscheinlich, dass man sich die ganze Kette der in Rede stehenden Prozesse in folgender Weise zu denken habe. In der Muskelsubstanz befindet sich ein gewisser Vorrath einer höchst complicirten Verbindung, welche unter gewissen Einflüssen (wohin unter Anderm die Reize und die Temperaturerhöhung gehören) ohne Aufnahme freies Sauerstoffes zu festeren und einfacheren Verbindungen zerfällt. Es verstösst keineswegs gegen das Princip von der Erhaltung der Kraft anzunehmen, dass dieser chemische Process, den Hermann einer Gährung vergleicht, lebendige Kraft erzeuge. Wir können ihn also namentlich als den der Arbeitsleistung des Muskels zu Grunde liegenden Process ansehen.

---

1) Tetanus, eine physiologische Studie. Leipzig 1865.

2) Untersuchungen über den Stoffwechsel der Muskeln. Berlin 1867.

Unter die Produkte dieses Processes haben wir nun nach Hermann's scharfsinnigen Erörterungen neben der Milchsäure und Kohlensäure noch das Myosingerinnsel zu rechnen. Dieser von Kühne zuerst unter den stickstoffhaltigen Bestandtheilen der Muskelsubstanz ausgezeichnete Körper scheint bei nur theilweiser Erschöpfung des Vorrathes an jener Substanz, in deren Zusammensetzung er eingeht, eine nur unvollständige Gerinnung<sup>1)</sup> zu erleiden. In dieser Form, in der wir den Körper im tetanisirten Muskel anzunehmen hätten, kann er sich leicht wieder mit den andern Bestandtheilen jener hypothetischen complicirten Verbindung vereinigen und in den flüssigen Aggregatzustand zurückgehen. Zu dieser Restitution des Muskels nach dem Tetanus muss im Sinne der von Hermann entwickelten Hypothese freier Sauerstoff und ein stickstofffreier Körper beitragen, welche beide aus dem Blute stammen. Ist dagegen der Vorrath der mehrgenannten hypothetischen Verbindung im Muskel gänzlich erschöpft, so scheidet das Myosin in vollständig fest geronnener Form aus, die es ungeschickt macht, sich wieder mit den andern Bestandtheilen zu verbinden. Diese feste vollständige Gerinnung ist nun eben das Wesen der Starre. Wir könnten im Sinne der Hermann'schen Hypothese die Kontraktion des Muskels als eine vorübergehende unvollständige Starre bezeichnen.

Aus der in Rede stehenden Hypothese lässt sich eine sehr bemerkenswerthe Folgerung ziehen: Die dem Tetanus zu Grunde liegenden Prozesse sind nach-

---

<sup>1)</sup> Hermann l. c. S. 74.

gewiesenermassen solche, bei denen chemische Spannkraft in lebendige Kraft umgesetzt wird; sind nun die der Starre zu Grunde liegenden chemischen Prozesse derselben Art, so muss auch beim Erstarren des Muskels lebendige Kraft erzeugt werden und zwar noch mehr als bei der Tetanisirung, da ja nach unserer Hypothese beim Erstarren eine grössere Menge Stoff umgesetzt wird als beim Tetanisiren. Eine Spur dieser Erzeugung von lebendiger Kraft beim Erstarren kann allerdings schon in der dabei stattfindenden Zusammenziehung gesehen werden, indem dabei eine gewisse Arbeit durch Hub eines Gewichtes geleistet werden kann. Dies ist jedoch ein verschwindend kleiner Betrag, da es sich beim Erstarren stets nur um eine einzige Zusammenziehung handelt. Es muss also sicher, wenn die Hermann'sche Hypothese richtig sein soll, eine sehr bedeutende Wärmemenge beim Erstarren des Muskels frei werden. Die grosse Bedeutung dieses Argumentes hat schon Ludwig<sup>1)</sup> richtig gewürdigt, indem er der älteren Lehre von der Identität von Contraction und Starre entgegenhält, dass bei der Erstarrung keine Wärme-Entwicklung nachgewiesen sei.

Sollte also eine Wärme-Entwicklung beim Erstarren des Muskels erwiesen werden können, so wäre dadurch eine neue Stütze für die in Rede stehende Theorie der Muskelthätigkeit gegeben. Die Erledigung dieser Frage ist offenbar eine Forderung des gegenwärtigen Standes der Muskelphysiologie. Diesen Schritt in der Kenntniss des Muskelgewebes zu thun ist der Zweck der vorliegenden Arbeit.

<sup>1)</sup> Lehrbuch der Physiologie, 2. Aufl. Bd. I. S. 474.

Es sind in jüngster Zeit mehrfach von pathologischer Seite her Winke in der bezeichneten Richtung gegeben. Wir meinen die Beobachtungen über postmortale Steigerung der Temperatur von Leichen. Die erste hieher gehörige Angabe ist, soviel wir wissen, von Hübbenet gemacht worden. Er theilt in seinem Bericht über die im Militärhospital zu Kiew beobachtete Choleraepidemie des Jahres 1850 mit, dass die Temperatur von Choleraleichen oft noch nach dem Tode um mehrere Grade zugenommen habe. Ueber die muthmasslichen Ursachen dieser Erscheinung spricht sich Hübbenet nicht näher aus. Seine Angabe wurde von andern Beobachtern theils bestätigt, theils angezweifelt. Von Neuem wurde die Aufmerksamkeit der Aerzte auf diesen Punkt gerichtet durch Wunderlich.<sup>1)</sup> Er hatte einen Fall von rheumatischem Tetanus beobachtet, wo die Temperatur des Körpers im Augenblicke des Todes 44,75° C. betrug und wo dann die Temperatur der Leiche noch 55 Minuten lang stieg und den Werth 45,37 erreichte. Er bemerkt in seinem Bericht, dass die Muskeln dieser Leiche auffallend rasch erstarrten, ohne jedoch diesen Umstand als muthmassliche Ursache der Temperatursteigerung hinzustellen.

Später berichtet Leyden<sup>2)</sup> von einer postmortalen Temperatursteigerung der Leiche ebenfalls bei einem Falle von rheumatischem Tetanus. Er nimmt aber auch keinen Zusammenhang zwischen dieser Temperatursteigerung und dem Erstarren der Muskeln

<sup>1)</sup> Archiv der Heilkunde, 1861. S. 547 u. ff.

<sup>2)</sup> Virchow's Archiv 1863. S. 538.

an, auch ist aus seiner Beschreibung nicht zu ersehen, ob die beiden Erscheinungen in dieselbe Zeit fallen. Ebensovienig geben Versuche an Hunden, die er angestellt hat, über diesen Punkt Aufschluss.

Erst Walther<sup>1)</sup> hat die Ansicht ausgesprochen, dass die postmortale Temperatursteigerung der Leiche wohl auf die Estarrung der Muskeln als Ursache zu beziehen sein dürfte. Er hat zur Bestätigung seiner Ansicht Versuche an Kaninchen angestellt, in denen das Thier durch Wärmezufuhr von aussen getödtet wurde. Er glaubt, durch seine Temperaturmessungen im Anus des sterbenden und todten Thieres beweisen zu können, dass beim Erhitzen des Thieres im Inneren seines Körpers selbst Wärme frei wird, und dass auch noch nach dem Tode diese Wärmebildung fortdauert. Es erstarrten die Muskeln einiger Gruppen schon, während das Thier noch lebte, die andern nach dem Erlöschen des Lebens. Wenn wir auch anerkennen, dass Walther's Folgerungen einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit haben, so können wir doch nicht zugeben, dass dieselben gar keiner Einwendung mehr Raum geben, auf einige mögliche Einwendungen kommen wir selbst noch weiter unten zu sprechen.

In der allerletzten Zeit hat Huppert<sup>2)</sup> auf Veranlassung der Walther'schen Publikationen von ihm früher schon angestellte Versuche veröffentlicht. Sie laufen wesentlich darauf hinaus zu zeigen, dass bei

---

<sup>1)</sup> Ueber tödtliche Wärmeproduktion im thierischen Körper. Bull. de l'acad. d. St. Petersbourg. Bd. XI. S. 18.

<sup>2)</sup> Archiv für Heilkunde 1867. S. 321.

Kaninchenleichen während des Eintrittes der Todtenstarre die Temperatur (im anus gemessen) langsamer sinkt, als zu andern Zeiten unter sonst gleichen Bedingungen.

Endlich haben wir noch anzuführen, dass Monti<sup>1)</sup> die Ansicht ausgesprochen hat, dass die postmortale Temperatursteigerung von Leichen auf Rechnung der Erstarrung der Muskeln zu setzen sei.

Alle diese Beobachtungen und Erörterungen glauben wir nur als Winke bezeichnen zu müssen. Ein strenger Beweis für die Wärme-Entwicklung beim Erstarren des Muskels ist dadurch noch nicht geliefert. Vor allen Dingen sind alle diese Folgerungen dem Einwande ausgesetzt, dass die Wärme, wenn auch solche überall in der Leiche entstanden ist, in einem andern Gewebe als gerade im Muskelgewebe entstanden sein kann. Denn alle Beobachtungen, die den fraglichen Folgerungen zu Grunde liegen, sind an der ganzen Leiche des Thieres oder des Menschen angestellt. Es wäre doch gewiss nicht widersinnig zu denken, dass nach dem Tode im Blute und den andern Säften des Körpers Wärme erzeugende Prozesse zu einer gewissen Zeit stattfänden, und dass vielleicht gerade die Produkte dieser Prozesse auch die Erstarrung des Muskels einleiteten. So würde die Gleichzeitigkeit der Wärme-Entwicklung und der Erstarrung eine ungezwungene Erklärung finden, ohne die Annahme, dass die eine die Folge der andern wäre.

Uebers dies sind aber die meisten angeführten That-

---

<sup>1)</sup> Thermometrie der Choleraepidemie 1866. Jahrbuch für Kinderheilkunde.

sachen, die Walther'schen nicht ausgenommen, noch der Erklärung fähig, welche der eine<sup>1)</sup> von uns in einer frühern Publikation für die postmortale Temperatursteigerung im Mastdarm als möglich hingestellt hat. Er zeigte, dass dieselbe möglicherweise lokal sei. Die Muskeln könnten nämlich während des Lebens schon bedeutend wärmer sein als der Mastdarm, und es könnte sich die dort angehäuften Wärme noch nach dem Tode zu dem im Mastdarm befindlichen Thermometer fortpflanzen und dessen Temperatur steigen machen. Bei Huppert's Versuchen endlich könnte man an eine Veränderung in den Ableitungsbedingungen der Wärme durch Veränderung des Aggregatzustandes der Muskeln denken. Doch sind auch sie dem obigen Einwande ausgesetzt, dass vielleicht zur Zeit der Muskelerstarrung in andern Geweben und Flüssigkeiten der Leiche Wärme erzeugende Prozesse stattfinden.

Soll ein strenger Beweis für die Wärmeezeugung geliefert werden, so sind Versuche beizubringen, welche den eben aufgeführten Einwendungen nicht unterworfen sind. Das erste Erforderniss ist daher, dass Versuche mit blossem Muskelgewebe angestellt werden. Solche Versuche haben wir nun angestellt und zwar zunächst mit Bezug auf die Wärmestarre des Muskels.

Der Nachweis der Wärmeproduktion bei Entstehung der Wärmestarre hat seine eigenthümlichen Schwierigkeiten, denn um den Muskel wärmestarr zu

---

<sup>1)</sup> Billroth und Fick, Vierteljahrsschrift der naturf. Gesellsch. in Zürich, 1863. S. 427.



machen, muss man ihm Wärme zuführen, und wie soll man die von aussen zugeführte Wärme von der im Muskel entwickelten Wärme unterscheiden? Wir machen leicht folgende Bemerkung: Wenn man einen Körper erwärmt durch Wärmezufuhr aus einer Umgebung von konstanter, oder auch von immer wachsender Temperatur, und wenn alsdann in irgend einem Augenblicke die Temperatur des Körpers höher ist als die der Umgebung, dann muss nothwendig in dem Körper selbst Wärme erzeugt sein. Keinesweges indessen lässt sich dieser Satz in der Weise umkehren, dass man sagen könnte: Wenn in dem Körper Wärme erzeugt wird, so muss während des fraglichen Processes zu irgend einer Zeit die Temperatur des Körpers sichtlich höher sein als die der Umgebung. Wenn wir also auf Grund der vorstehenden Bemerkung Versuche am wärmestarr werdenden Muskel anstellen, so sind dieselben entscheidend nur im Falle sie ein positives Resultat liefern. Ein negatives Resultat würde dagegen die Frage unbeantwortet lassen. Wir haben nun in der That Versuche der Art angestellt und zwar mit ganz entschieden positivem Ergebniss.

Da es sich hier um die Feststellung einer elementaren Thatsache handelt, so glauben wir den Gang der Versuche und die dabei angewandten Hülfsmittel genau beschreiben zu sollen. Wir bedienten uns zur Messung der Temperatur des Muskels und der Umgebung zweier feiner Geissler'scher Thermometer, die auf Zwanzigstel eines Grades der 100theiligen Scala getheilt sind. Man kann daher  $\frac{1}{100}$  Grad noch leidlich schätzen. Diese Thermometer waren

leider nicht in ihrer ursprünglichen Einrichtung zu gebrauchen, da sie nur ein Temperaturintervall von der Gegend des Gefrierpunktes bis zu einigen und dreissig Grad befassten. Wir mussten daher zu einem bekannten Kunstgriff unsere Zuflucht nehmen: das Thermometer wird auf eine Temperatur erwärmt, die weit über dem höchsten Punkte seiner Scala liegt, dabei steigt dann ein Theil des Quecksilbers in die kleine Erweiterung am oberen Ende des Rohres und bleibt daselbst getrennt von der übrigen Quecksilbermasse liegen, wenn man das Thermometer beim Abkühlen ein wenig erschüttert. Es ist klar, dass wenn jetzt das Ende des Quecksilberfadens bei einer bestimmten Zahl  $n$  der Scala steht, die wirkliche Temperatur des Thermometergefässes eine höhere  $n + m$  ist. Es kann also das Thermometer nun für ein höher liegendes Temperaturintervall gebraucht werden, sowie man nur die Zahl  $m$  kennt, welche zu der rohen Ablesung des veränderten Thermometers addirt werden muss, um die wahre Temperatur zu erhalten. Diese Zahl erhält man durch Vergleichung mit einem anderen Thermometer. Man stellt nämlich das veränderte Thermometer und ein Normalthermometer in dieselbe gut umgerührte Wassermasse und macht an beiden gleichzeitig eine Ablesung. Durch Subtraction der Ablesung am veränderten Thermometer von der Ablesung des Normalthermometers ergibt sich dann die Zahl  $m$ . Sie wurde für das eine unserer Geissler'schen Thermometer zu 35,2 bestimmt. Als Normalthermometer diente dabei ein in Fünftel Grad getheiltes Thermometer von Greiner in München. Wir haben diess letztere nicht express mit einem

anerkannt richtigen Instrument verglichen und haben überall auf die Bestimmung der Zahl  $n$  keine sehr grosse Sorgfalt verwendet, da es uns nicht auf den absoluten Werth der Temperatur ankam, bei welchem die fraglichen Prozesse im Muskel stattfinden. Der Fehler im absoluten Werth der Temperatur kann möglicherweise  $0,1$  bis  $0,2^\circ$  betragen.

Mit der grössten Genauigkeit wurden dagegen die beiden veränderten Geissler'schen Thermometer untereinander verglichen. Es gab sich aus vielen gut stimmenden Ablesungen als Mittel eine Differenz von  $2,62^\circ$  zwischen ihnen in der Gegend der Scala, auf die es hier ankommt. Das heisst, wenn die Gefässe beider Thermometer genau dieselbe Temperatur hatten und das eine zeigte an seiner Scala  $n^\circ$ , so zeigte das andere an der seinigen  $n + 2,62$ . Wenn wir also zur Angabe des einen Thermometers  $35,2$  addiren mussten, um die wahre Temperatur zu erhalten, so mussten wir zur Angabe des anderen  $35,2 - 2,62 = 32,58$  addiren. Allerdings sind die so gewonnenen Werthe der Temperaturen nach dem, was soeben über die Bestimmung der Zahl  $35,2$  gesagt wurde, möglicherweise mit einem ziemlich merklichen Fehler behaftet, aber beide sicher genau mit demselben, so dass ihre Differenz, auf die es hier allein ankommt, auf  $\frac{1}{100}^\circ$  genau ist.

Der Gang des Versuches ist folgender: In einem grossen Becherglase wird eine ansehnliche Wassermasse (etwa 2 Liter) durch eine untergesetzte Lampe auf der Temperatur, bei welcher der Muskel starr wird, erhalten, das Gefäss des einen Thermometers steht frei in der Wassermasse. Es gelingt leicht, die

Temperatur des Wassers ohne besondere künstliche Hilfsmittel sehr konstant zu erhalten. Man regulirt nämlich die untergesetzte Lampe so, dass die Temperatur des Wassers ohne besondere Abkühlung, gerade noch ganz langsam steigen würde und ein Beobachter, der das Thermometer beständig im Auge hat, bläst auf die Wasseroberfläche, sowie die Quecksilbersäule im Geringsten Miene macht, zu steigen. Selbstverständlich wird die ganze Wassermasse fortwährend gut umgerührt. Man erreicht auf diese Weise eine Konstanz, die gar nichts zu wünschen übrig lässt. Während eines ganzen Versuches, der mehr als 10 Minuten dauert, kommt keine Schwankung der Temperatur vor, die mehr als 0,01 oder höchstens 0,02° beträgt.

In die so auf konstanter Temperatur erhaltene Wassermasse wird nun das zweite Thermometer eingesetzt, dessen Gefäss mit lebender Muskelsubstanz umwickelt ist. Die Temperatur der letzteren ist beim Einsetzen niedriger als die des Wassers. Sie erwärmt sich darin also allmählich, wovon das mit ihr umwickelte Thermometer Rechenschaft giebt. Beide Thermometer, das frei im Wasser stehende, welches die Temperatur der Umgebung anzeigt, und das mit Muskelsubstanz umwickelte, werden von Minute zu Minute abgelesen und die Ablesungen notirt, bis die Differenz der beiden Temperaturen schliesslich ausgeglichen ist.

Zeigt im Laufe dieser Zeit das mit dem Muskel umwickelte Thermometer jemals eine höhere Temperatur als das frei im Wasser befindliche, dann ist erwiesen, dass im Muskel selbst Wärme frei gewor-

den ist. Zeigt dagegen das unwickelte Thermometer in keinem Augenblicke eine höhere Temperatur als das freie, so ist damit noch nicht bewiesen, dass keine Wärme im Muskel freigeworden ist, denn es wäre ja möglich, dass etwa entwickelte Wärme die Erwärmung des Muskels zur Temperatur des umgebenden Wassers nur beschleunigt habe, ohne dass es zu einer merklichen Steigerung, über diese hinaus, gekommen wäre.

Man kann von vorn herein fragen, wie die veränderlichen Umstände des Versuches wohl einzurichten sind, damit, wenn überall Wärmeerzeugung stattfindet, dieselbe auch soviel als möglich als Steigerung der Temperatur des Muskelthermometers über die der Umgebung zur Erscheinung komme. Ein günstiger Umstand fällt sofort in die Augen. Man muss den Muskel, schon ehe er in die Umgebung von der starrmachenden Temperatur eingesenkt wird, dieser Temperatur so nahe als möglich bringen. Denn wenn er mit einer viel niedrigeren Temperatur in diese Umgebung versetzt wird, so werden die oberflächlichsten Schichten starr werden, während er noch im Inneren viel kälter ist, und die allenfalls beim Starrwerden dieser Schichten erzeugte Wärme kann nur dazu verwandt werden, die inneren Schichten erst der Temperatur der Umgebung zu nähern und die beim Starrwerden der inneren Schichten frei werdende Wärme trifft vielleicht im Thermometergefäss noch Quecksilber von bedeutend niedrigerer Temperatur, so dass keinen Augenblick das im Muskel befindliche Thermometer eine höhere Temperatur zeigen könnte, als die der Umgebung. Diesen Erwägungen gemäss haben wir stets den Muskel bis in die

Nähe des Erstarrungspunktes in einer andern Wassermenge vorläufig erwärmt, ehe er in das auf konstanter Temperatur gehaltene Wasser eingesenkt wurde. Natürlich hat die Annäherung an die Erstarrungstemperatur ihre Grenzen, da dieselbe nicht für alle Muskeln auch derselben Thierspecies absolut gleich ist, und man daher um wenigstens 3—4° von derselben entfernt bleiben muss, wenn man sicher gehen will.

Ein anderer variabler Umstand beim Versuche ist die Dicke der um das Thermometer gewickelten Muskelmasse. Offenbar ist es in einer Beziehung um so vortheilhafter, je dünner man diese Masse wählt. Denn macht man sie dick, so wird sie sich nur allmählich auf den Erstarrungspunkt erwärmen, und angenommen, es wird beim Erstarren Wärme frei, so wird die ganze Menge derselben erst im Verlaufe einer längeren Zeit frei, während welcher zur Temperatúrausgleichung durch Ableitung mehr Gelegenheit ist, so dass keine namhafte Temperatursteigerung erwartet werden kann. Nimmt man andererseits die Muskelmasse zu klein, so dass sie nur eine dünne Schicht um das Thermometergefäss bildet, so ist die gesammte Menge der entwickelten Wärme gering und kann wieder nur eine geringe, vielleicht nicht messbare Steigerung der Temperatur zur Folge haben, weil sich doch die gebildete Wärme, ganz abgesehen von Ableitung, in die Umgebung zwischen der Masse des Muskels und dem Quecksilber des Thermometers vertheilen muss. Bestimmt lässt sich hierüber nichts im Voraus sagen, wir fanden nach einigen vorläufigen Versuchen bald eine geeignete Grösse der um das Thermometer zu bindenden Muskelmasse.

Wir wollen im Folgenden 3 Versuche vollständig mittheilen; der erste ist angestellt mit Froschfleisch, und zwar wurde dazu die Muskulatur beider Schenkel eines Frosches benutzt, welche ein Stück nach dem andern an dem ziemlich grossen cylindrischen Gefäss des Thermometers  $T_1$  angebunden wurde, bis zuletzt dasselbe ganz bedeckt war. Das Thermometer  $T_2$  war frei im Wasser aufgestellt. Das Resultat ist in nachfolgender Tabelle (Nr. I.) verzeichnet, sie besteht aus 6 Spalten. Die erste giebt die laufende Zeit in Minuten; die zweite,  $T_1$  überschrieben, giebt die rohen Ablesungen an dem mit Muskelsubstanz umhüllten Thermometer, welches mit einer Temperatur von etwa  $36^\circ$  in das Wasser eingesenkt war, die dritte,  $T_2$  überschrieben, giebt ebenso die rohen Ablesungen

Nr. I.

Zeit	$T_1$	$T_2$	korrigirt $T_1$	korrigirt $T_2$	Differenz
0	4,50	8,93	37,08	44,13	— 7,05
1	10,70	8,95	43,28	44,15	— 0,87
2	11,56	8,95	44,14	44,15	— 0,01
3	11,64	8,95	44,22	44,15	+ 0,07
4	11,62	8,95	44,20	44,15	+ 0,05
5	11,60	8,95	44,18	44,15	+ 0,03
6	11,60	8,95	44,18	44,15	+ 0,03
7	11,58*)	8,95	44,16 (?)	44,15	+ 0,01 (?)
8	11,60	8,95	44,18	44,15	+ 0,03
9	11,60	8,95	44,18	44,15	+ 0,03
10	11,59	8,93	44,17	44,13	+ 0,02
11	11,59	8,95	44,17	44,15	+ 0,02
12	11,59	8,95	44,17	44,15	+ 0,02
13	11,58	8,93	44,16	44,13	+ 0,03
14	11,57	8,95	44,15	44,15	+ 0,00

\*) Wahrscheinlich ein Ablesungsfehler.

am freien Thermometer, die vierte und fünfte Spalte geben die absoluten Werthe der Temperaturen, wie sie sich aus den rohen Ablesungen der beiden Thermometer berechnen, durch Addition von 32,58 einerseits und von 35,2 andererseits. Endlich enthält die letzte Spalte die Differenz zwischen der Temperatur des Muskels und der Temperatur der Umgebung ( $T_1 - T_2 - 2,62$ ); wenn dieselbe positiv ist, bedeutet es, dass der Muskel wärmer ist als die Umgebung.

Die beiden folgenden Tabellen (Nr. II. und III. p. 333) geben Versuche, die mit dem m. biceps vom Oberschenkel des Kaninchens angestellt wurden. Dieser Muskel ist sehr geeignet, um das Gefäss unseres Thermometers in gerade zweckmässiger Dicke damit zu bedecken. Die Ueberschriften der Spalten haben dieselbe Bedeutung wie in vorstehender Tabelle. Es wurde hier während des Versuches mit einem Holzstäbchen, das vorläufig in dem Wasser schon erwärmt war, der Muskel vom Thermometer abgeschoben. Dieser Akt ist in den Tabellen gehöriges Ortes verzeichnet.

Die Muskelmassen waren am Ende des Versuches vollständig starr. Zum Starrmachen des Kaninchenmuskels bedurfte es, wie aus den Tabellen selbst erhellt, einer höheren Temperatur als zum Starrmachen des Froschmuskels. Bei dem letzteren kam eine Erhöhung der Muskeltemperatur über die des umgebenden Wassers im Betrage von  $0,07^\circ$  zu Stande. Bei den Kaninchenmuskeln betrug diese Temperaturerhöhung im einen Falle  $0,21$ , im andern sogar  $0,23^\circ$ . Besonders anschaulich wird die Temperaturerhöhung in den beiden letzten Versuchen, wo während des Versuches der Muskel abgeschoben wurde. In Ver-



## Nr. II.

Zeit.	$T_1$	$T_2$	korrigirt $T_1$	korrigirt $T_2$	Differenz
0	12,60	15	44,18	50,20	— 6,02
0,5	16,40	15	48,98	50,20	— 1,22
1	17,45	15	50,03	50,20	— 0,17
1,5	17,73	15	50,31	50,20	+ 0,11
2	17,79	15	50,37	50,20	+ 0,17
2,5	17,83	15	50,41	50,20	+ 0,21
3	17,83	15	50,41	50,20	+ 0,21
3,5	17,80	15,01	50,38	50,21	+ 0,17
4	17,75	15	50,33	50,20	+ 0,13
4,5	17,71	15	50,29	50,20	+ 0,09
5	17,69	15	50,27	50,20	+ 0,07
5,5	17,67	15	50,25	50,20	+ 0,05
6	17,66	15	50,24	50,20	+ 0,04
6,5	17,65	15	50,23	50,20	+ 0,03
7	17,65	15	50,23	50,20	+ 0,03
7,5	17,62	15	50,20	50,20	+ 0,00
Muskel abgestreift.					
8	17,62	15	50,20	50,20	0,00

## Nr. III.

Zeit	$T_1$	$T_2$	korrigirt $T_1$	korrigirt $T_2$	Differenz
0	14,30	15	43,88	50,20	— 6,32
1	15,85	15	48,43	50,20	— 1,77
2	17,21	15	49,79	50,20	— 0,41
3	17,67	14,99	50,25	50,19	+ 0,06
3,5	17,75	15	50,33	50,20	+ 0,13
4	17,82	15	50,40	50,20	+ 0,20
4,5	17,83	15	50,43	50,20	+ 0,23
Muskel abgestreift.					
—	17,62	15	50,20	50,20	0,00
6	17,62	15	50,20	50,20	0,00

such Nr. II. geschah dies, als schon die Differenz zwischen den beiden rohen Ablesungen auf 2,62 zurückgesunken war, hier hatte das Abschieben des Muskels, wie man sieht, keinen Einfluss auf den Stand des Thermometers, weil dieses eben schon genau die Temperatur des Wassers angenommen hatte. Im Versuch Nr. III. wurde der Muskel abgeschoben, als das Thermometer gerade am höchsten stand, und es sank nun momentan so weit, dass wieder eine Differenz von gerade 2,62 zwischen beiden Ablesungen übrig blieb. Hier hatte man den Beweis, dass der Muskel wirklich wärmer als das umgebende Wasser war, deutlich vor Augen.

Wir könnten noch verschiedene andere Versuche mit Kaninchenmuskeln hinzufügen, bei denen der Muskel eine merklich höhere Temperatur annahm, als das umgebende Wasser. Wir haben noch mehrere Male Differenzen von 0,1 und mehr beobachtet. In anderen Fällen zeigte allerdings der Muskel in keinem Augenblicke des Versuches eine höhere Temperatur, als das umgebende Wasser, allein es ist den obigen Auseinandersetzungen zufolge gar nicht zu verwundern, wenn in einzelnen Fällen ein positiver Erfolg ausbleibt. Es ist uns namentlich nicht gelungen, an einem Stück Fleisch von einem frisch geschlachteten Kalbe, die Erwärmung über die Temperatur der Umgebung hinaus zu zeigen. Wir wollen nicht weiter erörtern, welche Umstände etwa am Misslingen dieses Versuches schuld sind.

Das rein thatsächliche Resultat aus den bis jetzt mitgetheilten Versuchen können wir in den Satz zusammenfassen: Wenn wir einen lebenden Muskel bis

zu der Temperatur erwärmen, bei welcher er starr wird, so entwickelt sich in demselben eine gewisse Wärmemenge, die möglicherweise hinreicht, die Temperatur der ganzen Muskelmasse um mehr als  $0,2^{\circ}$  zu steigern. Wahrscheinlich ist diese Wärmemenge stets so gross, und es liegt nur an den Umständen des Versuches, wenn eine solche Erwärmung nicht immer zu Stande kommt.

Wir haben aus den bisherigen Versuchen noch nicht erfahren, mit welchem Stadium des Erstarrens die Wärmeentwicklung zusammentrifft, da wir bei der Anordnung unserer Versuche den Process des Erstarrens nicht genauer verfolgen konnten. Es konnte zuerst Wärme frei werden, und dann der Muskelinhalt gerinnen oder umgekehrt, oder es konnten beide Ereignisse gleichzeitig statt haben. Sicher erfahren haben wir nur, dass jedesmal, wenn der Muskel starr geworden ist, auch Wärme in demselben entwickelt ist.

Um nun zu ermitteln, ob die Wärmeentwicklung mit der Gerinnung des Muskelinhaltes genau gleichzeitig statt finde, haben wir eine andere Reihe von Versuchen angestellt. Der Gang derselben beruht auf folgender Ueberlegung: Die Gerinnung des Muskelinhaltes verräth sich in der Zusammenziehung; es kommt also nur darauf an zu untersuchen, ob die Wärmeentwicklung mit der Zusammenziehung gleichzeitig geschieht. Man muss den Versuch folglich so einrichten, dass man während der Wärmezufuhr von aussen zugleich sehen kann, in welchem Augenblicke der Muskel sich zusammenzieht und in welchem Augenblicke in demselben Wärme entsteht. Hierzu bietet sich sofort folgender Plan dar. An die

beiden Flächen einer Thermosäule werden möglichst gleiche Muskelstücke angelegt, und zwar an die eine Fläche ein bereits starrer, an die andere ein noch lebender Muskel. Der letztere ist durch eine mässige Last gespannt und mit einem Zeiger verbunden, der durch seine Bewegung die Zusammenziehung des Muskels in vergrössertem Maassstabe anzeigt. Die Thermosäule mit den beiden Muskeln befindet sich in einem Raume, dessen Temperatur allmählich gesteigert wird. Die Enden der Thermosäule sind in Verbindung mit dem Galvanometer, dessen Bewegungen mit dem Fernrohr verfolgt werden. Man rechnet nun darauf, dass sich die beiden Muskeln an den beiden Flächen der Säule gleichmässig erwärmen, und dass mithin der Magnet des Galvanometers in der Gleichgewichtslage verharret, bis im lebenden Muskel eine selbstständige Wärmeentwicklung beginnt, vermöge deren seine Temperatur höher wird als die des nur von aussen erwärmten schon starren Muskels auf der andern Seite. Dieser Vorgang muss sich zu erkennen geben, durch einen Schwung des Magnets in dem Sinne, welcher eine Erwärmung der Säulenfläche anzeigt, an welcher der lebende Muskel liegt. Sowie die Wärmeentwicklung im lebenden Muskel aufhört, muss der Magnet des Galvanometers natürlich wieder zurückgehen. Indem unterdessen auch die Bewegungen des am Muskel befestigten Zeigers beobachtet werden, muss sich zeigen, ob dieselben mit den Bewegungen des Magnets zeitlich zusammenfallen oder nicht.

Wenn der ganze Vorgang in so idealer Einfachheit verlaufen sollte, so müsste natürlich die Zuleitung der Wärme zu den beiden, an der Säule an-

liegenden Muskeln vollkommen gleichmässig stattfinden, und es müsste auch die Wärmeleitung in den beiden Muskelstücken selbst ganz gleich sein, was wohl nie der Fall ist, und selbst die Wärmezufuhr konnten wir nicht ganz genau gleichmässig halten, da wir die ganze Anordnung nicht in ungerührtes Wasser versenken konnten, denn wenn man eine Thermosäule in Wasser versenkt, so bilden sich Nebenschliessungen und vielleicht hydroelektrische Stromzweige durch die Multiplikatorleitung. Vielleicht zwar sind diese von untergeordnetem Einflusse, allein unsere Probeversuche in dieser Richtung ermutigten uns nicht sehr auf diesem Wege vorzugehen; wir blieben dabei, die Thermosäule mit den Muskeln in einen mit Luft und gesättigtem Wasserdampf gefüllten Raum aufzustellen, und so lieber auf den Vortheil vollkommen gleichmässiger Wärmezufuhr zu verzichten. Natürlich war alsdann, nicht zu erwarten, dass der Magnet des Galvanometers während der Erwärmung ruhig in der Gleichgewichtslage verharrte. Im Gegentheil musste man auf mehr oder weniger bedeutende Störungen gefasst sein, bedingt durch ungleichmässige Erwärmung der beiden Säulenflächen. Man durfte indessen doch hoffen, dass noch so grosse Störungen das vorhin entworfene Bild der Erscheinung nicht zu gänzlichem Unkenntlichwerden verzerren, da ja nach den zuerst mitgetheilten Versuchen die Wärmeproduktion beim Erstarren nicht unbeträchtlich ist.

Die Vorrichtungen zu unsern Versuchen sind in Fig. 1 abgebildet. Dieselbe wird ohne hinweisende Buchstaben leicht mit der folgenden Beschreibung zu vergleichen sein. Die Thermosäule war eine von Illner in Breslau gefertigte, eine gleiche wie sie Heiden-

hain zu seinen bekannten Versuchen über Wärmeentwicklung bei der Muskelzusammenziehung angewandt hat; das Galvanometer, ein Meyerstein'sches. Um seine Empfindlichkeit gehörig herabzustimmen, wurde der grosse Magnet so am Stativ befestigt, dass er in gleichem Sinne mit dem Erdmagnetismus auf den Magnetring wirkte. Die Muskeln waren folgendermassen befestigt. Auf ein ziemlich geräumiges cylindrisches Glasgefäss passte mit einem Cartonring ein hölzerner viereckiger Deckel. Von der unteren Seite desselben ragten zwei starke, zweimal rechtwinkelig gebogene Eisendrathbügel in das Glas hinab. Am queren Theil des Bügels waren die Enden der beiden Muskeln mit Fäden angebunden. An den andern Enden der Muskeln waren ebenfalls Fäden befestigt, die durch Löcher im Deckel senkrecht über den unteren Anknüpfungspunkten durchgingen; der am vorläufig schon starr gemachten Muskel befestigte Faden (ein gewöhnlicher Zwirnfaden) war einfach oben mit einiger Spannung angeknüpft. Am lebenden Muskel war dagegen ein langes dünnes Metalldräthchen befestigt, welches mit dem andern Ende am kurzen Arm eines Hebels angeknüpft war. Der Stützpunkt dieses Hebels war mit einem Kork in Verbindung, der auf einen im Deckel befestigten, ziemlich langen, starken, steifen Eisendrath gesteckt werden konnte; der lange Hebelarm, der belastet war, spielte vor einer ebenfalls an dem erwähnten Korke befestigten Millimeter-skala. Der lebende Muskel war demnach mittels des feinen Dräthchens durch die Belastung des langen Hebelarms gespannt, und wenn er sich zusammenzog, so musste der lange Hebelarm vor der Scala steigen.

Aus der Beschreibung und Abbildung wird ersicht-

lich geworden sein, dass die beiden Muskeln parallel senkrecht in einiger Entfernung nebeneinander ausgespannt waren. Die Abmessungen der ganzen Vorrichtung waren so gewählt, dass zwischen den beiden Muskeln gerade die Thermosäule der Länge nach Platz hatte, und dass der lebende Muskel ihre eine, der starre Muskel ihre andere Fläche vollständig deckte. Durch umgebundenen Zwirnfaden war noch dafür gesorgt, dass die Muskeln nicht von den Säulenflächen abgleiten konnten. Die Enden der Säule liefen durch Vermittelung von Quecksilbernäpfchen in Dräthe aus, die durch den Deckel zum Galvanometer geführt waren. Durch ein Loch in der Mitte des Deckels war noch ein Thermometer in das Glas hineingesteckt. Am Boden des Glases befand sich eine Schicht Wasser, um den Raum im Inneren stets mit Wasserdampf zu sättigen, und so Verdunstung von den Muskeln zu verhüten. In einigen Versuchen war noch der übrige Binnenraum des Glases und namentlich die Zwischenräume zwischen Thermosäule, Thermometer u. s. w. mit lockerer Baumwolle ausgefüllt, um regelmässige Luftströmungen zu vermeiden. Wir haben übrigens davon keinen wesentlichen Vortheil gesehen. Das Glas mit den gehörig zugerichteten Muskeln mit Thermosäule und Thermometer wurde in ein zweites, grösseres Glas eingesetzt; damit auch zwischen den Böden der beiden Gläser noch eine Luftschicht sei, lag im grösseren Glas ein gläserner Dreifuss, auf den das kleinere gestellt wurde. Das grosse Glas wurde nun in eine Brutmaschine gebracht, deren Wasser durch untergesetzte Lampen auf  $100^{\circ}$  erhalten wurde. Indem so der ganze Apparat gleichsam mit einer Hülle von

kochendem Wasser umgeben war, glaubten wir eine möglichst gleichmässige Erwärmung von allen Seiten zu erzielen. Aus dem Deckel der Brutmaschine ragte nun bloss hervor das Thermometer, die Drähte von der Thermosäule zum Galvanometer, und der Stab, dessen oberes Ende den Hebel trug, der mit dem lebenden Muskel verbunden war. In einigen Versuchen kühlten wir das Gefäss mit den Muskeln vor Beginn des eigentlichen Versuches in Eis ab, in andern Versuchen giengen wir aus von der gerade herrschenden Zimmertemperatur, die meist einige über  $20^{\circ}$  betrug.

Begreiflich konnten zu diesen Versuchen stets nur Froschmuskeln verwendet werden. Wir haben, nach einigen Proben mit andern Muskeln dieses Thieres, später stets die gesammte Muskelmasse des Oberschenkels benutzt, zwischen welcher mit möglichster Schonung der grösste Theil des Knochens herausgeschnitten wurde. Das Becken einerseits und ein Stück Tibia andererseits blieb am Präparat erhalten, um die Fäden daran zu knüpfen. Man kann trotzdem die beiden Schenkel eines Frosches zum Versuch benutzen, indem es leicht gelingt, das Becken in der Symphyse so zu durchschneiden, dass die Muskeln beider Schenkel für unsere Versuche hinlänglich unverletzt bleiben.

Wir wollen nun sogleich einige unserer Versuchsreihen in graphischer Darstellung mittheilen und daran die weitere Diskussion der Resultate anknüpfen. Die Figuren 2, 3, 4, 5 stellen 4 Versuchsreihen dar und sind folgendermassen zu verstehen. Die Abscissen sind die Zeit und der Massstab derselben in Minuten ist an der Abscissenaxe angeschrieben. Es bedeutet also in Fig. 2, 3 und 5 jedes Millimeter eine



halbe, in Fig. 4 eine ganze Minute. Die Ordinaten der mit 2 bezeichneten Kurve bedeuten die abgelesenen Scalentheile des Galvanometers. Der Massstab dafür ist durch die an der Ordinatenaxe dicht angeschriebene Zahlenreihe gegeben. Jedes Millimeter Ordinate stellt also in allen 4 Figuren 10 Scalentheile vor. Die Gleichgewichtslage des Magnets ist durch einen kleinen (schwarzen) Querstrich an der Ordinatenaxe angedeutet; wo dieselbe ausser den Bereich der Figur fällt, ist sie unten links angeschrieben.

Die mit 3 bezeichnete Kurve lässt den Gang des Zeigers, also mittelbar den Verkürzungsgrad des Muskels, während der Versuchszeit sehen, in Theilen der Scala, vor welcher sich der mit dem lebenden Muskel verknüpfte Zeiger bewegt. Der Massstab dazu ist durch die mittlere Zahlenreihe links angedeutet. Es entspricht also 1 Millimeter-Ordinate in den Fig. 2, 3, 4, je 2 in der Fig. 5, je 5 Theilen der Zeiger-scala.

Die mit 1 bezeichnete Kurve gibt den am Thermometer abgelesenen Gang der Temperatur in dem Luftraum, in welchem sich Muskeln und Thermosäule befinden. Es entspricht über allein Millimeter Ordinate einem Grad der hunderttheiligen Scala, wie aus der am weitesten links stehenden (blau geschriebenen) Zahlenreihe zu ersehen.

Die Drähte waren in allen Versuchen so mit dem Galvanometer verknüpft, dass die Ablenkung zu den grossen Zahlen der Scala geht, wenn die mit dem lebenden Muskel belegte Seite der Säule wärmer ist.

Sehen wir uns zunächst Fig. 2 genauer an. Bis zum Schluss der 24. Minute steht der Zeiger absolut

still auf dem Theil 63 der Scala. Es hat sich während der ersten 24 Minuten nichts im Muskel ereignet, was sich durch eine Zusammenziehung verrathen hätte. Die Temperatur desselben ist inzwischen von etwas über  $4^{\circ}$  bis  $47,8^{\circ}$  gestiegen. Der Magnet des Galvanometers hat nun während dieser 24 Minuten allerlei Bewegungen ausgeführt. Er stand zu Anfang 350, also 80 Theilstriche von der Gleichgewichtslage in dem Sinne entfernt, dass eine kleine Temperaturdifferenz zu Gunsten des ursprünglich starren Muskels angezeigt wird. Diese Differenz ist bis zur 5. Minute gewachsen, der starre Muskel muss sich also schneller erwärmt haben, als der lebende. Vom Ende der 5. bis zum Ende der 11. Minute hat die Temperaturdifferenz abgenommen (jedoch nicht bis zu Null), in dieser Zeit hielt also die Erwärmung des lebenden Muskels einen rascheren Gang ein. Von der 11. bis zur 14. Minute erwärmte sich wieder der starre Muskel rascher. Hierauf geht 3 Minuten lang die Kurve der Abscissenaxe fast genau parallel. Das bedeutet, dass während dieser Zeit die Erwärmung beider Muskeln gleichen Schritt hält, so dass die kleine Differenz zu Gunsten des starren Muskels konstant bleibt. Hierauf bis Ende der 21. Minute erwärmt sich wieder der starre, und dann wieder der lebende Muskel ein wenig rascher; bleiben wir nun auch hier bei der 24. Minute vorläufig stehen. Es ist von vorn herein nicht daran zu denken, dass diese Schwankungen des Magnets auf ungleiche Erwärmung der Muskeln durch innere Processe zu beziehen wären. Sie können auch nicht beruhen auf einer etwaigen Verschiedenheit im Leitungsvermögen des lebenden und des starren Muskels. Es müssten

ja sonst die entsprechenden Kurvenstücke in den verschiedenen Versuchsreihen eine gewisse Regelmässigkeit und Analogie zeigen. Auch die Annahme einer Aenderung der elektromagnetischen Kraft der Säule mit der Temperatur würde keine befriedigende Rechenschaft geben, selbst wenn uns die Physik hinreichende Daten lieferte. Wir müssen also nothgedrungen in diesen Bewegungen des Magnetes einfach die Wirkung „störender Einflüsse“ erkennen, die sich bei unserer Versuchsweise gar nicht vermeiden lassen. Die Wärmezufuhr ist eben doch nicht von allen Seiten her absolut gleich, und offenbar auch im Laufe der Zeit veränderlich, so dass bald der starre, bald der lebende Muskel mehr Wärme zugeführt erhält.

Wir sind leider nicht im Stande gewesen die störenden Einflüsse zu beseitigen, oder sie wenigstens durch konstant Halten unschädlich zu machen. Ganz rein sieht man ihre Wirkung hervortreten in Controlversuchen mit zwei von vorn herein starren Muskeln. Zwei solche Versuche sind in Fig. 6 und 7 graphisch dargestellt. Wie in den andern Figuren deutet die mit 2 bezeichnete Kurve den Gang des Magnetes vom Galvanometer an; die mit 1 bezeichnete Kurve zeigt den Gang der Temperatur. Die mit 3 bezeichnete Kurve fehlt hier natürlich, da kein Muskel sich zusammenziehen konnte, wenn beide von vorn herein starr waren. Beide Versuche wurden unter ziemlich gleichen Bedingungen angestellt, und dennoch macht im einen der Magnet Bewegungen im Betrag von 374 Scalentheilen, im andern nur von 52. In diesem zweiten Controlversuch hielt sich also die Temperaturdifferenz der beiden der Säule angelegten

Muskeln fast vollkommen konstant, oder es gieng die Wärmezufuhr zu beiden ganz gleiches Schrittes; im ersten dagegen variierte die Wärmezufuhr bedeutend, so dass die Temperaturdifferenz zu verschiedenen Zeiten sehr verschieden war.

Obgleich es uns, wie gesagt, nicht gelungen ist, über die störenden Einflüsse Herr zu werden, so glauben wir doch durch unsere Versuche die schwebende Frage zur endgültigen Entscheidung gebracht zu haben, und zwar in dem Sinne, dass die Wärmeentwicklung beim Starrwerden des Muskels in dieselbe Zeit fällt, wie die Zusammenziehung. In der That, nehmen wir unsere Figuren 2, 3, 4, 5 wieder vor, und fassen die Kurvenstücke ins Auge, welche der Zusammenziehung des ursprünglich lebenden Muskels entsprechen. Zunächst in Fig. 2 beginnt laut Angabe des Zeigers nach Ablauf der 24. Minute die Zusammenziehung. Sofort macht auch der Magnet einen rascheren Schwung zu den grossen Zahlen, der bis zur Mitte der 30. Minute dauert, genau so lange als der Zeiger im Steigen — der Muskel in Zusammenziehung — begriffen ist. Während dieser ganzen Zeit war also die Erwärmung des lebenden jetzt starr werdenden Muskels rascher, so dass er ungefähr am Ende der 28. Minute schon die Temperatur des früher wärmer gewesenen, ursprünglich starren Muskels erreicht — in dieser Zeit nämlich passirt der Magnet die Gleichgewichtslage. Diese Bewegung des Magnets ist nun offenbar auf eine Wärmeproduktion im Innern des starr werdenden Muskels zu beziehen. Einmal nämlich haben wir ja überall nach den zuerst mitgetheilten Versuchen eine Wärmeproduktion zu

erwarten, dann aber trifft diese aufsteigende Bewegung des Magnets ganz regelmässig mit der aufsteigenden Bewegung des Zeigers zusammen, während die den störenden Einflüssen zugeschriebenen Bewegungen im ersten Theil der Kurven keinerlei Regelmässigkeit zeigen, wie ein vergleichender Ueberblick über unsere 4 Figuren lehrt.

Ganz besonders regelmässig ist die Erscheinung, dass der Magnet seinen Rückschwung beginnt in dem Augenblick, wo der Zeiger stille steht. Nur in Fig. 4 scheint der Magnet schon eine Minute früher (Min. 31) den Rückschwung zu beginnen, als der Zeiger stille steht (Min. 32). Dies rührt aber wohl daher, dass nur am Ende jeder Minute notirt wurde. Es kann sehr wohl Stillstand des Zeigers und Umkehr des Magnets in demselben Augenblick der 32. Minute statt gefunden haben. Der Beobachter am Fernrohr konnte, wenn er den Stand des Magnets im Auge behielt, angeben „jetzt steht der Zeiger still“, was vom Beobachter an diesem meist auf die Sekunde bestätigt wurde. Diese Erscheinung des Rückschwunges gleichzeitig mit dem Stillstehen des Zeigers haben wir in den 35 Versuchsreihen, die wir angestellt haben, nur 2 oder 3 mal vermisst, und das nur in solchen Fällen, wo wir mit kleinen Muskeln, z. B. mit dem Sartorius arbeiteten. Natürlich sind bei solchen die Störungen durch ungleiche Zufuhr der äusseren Wärme im Verhältniss zur inneren Wärmeproduktion noch ungleich mächtiger als bei grösseren Muskelmassen. Ueberhaupt kann es nicht überraschen, dass in einer grösseren Anzahl von Versuchen auch solche vorkommen, wo das Wesentliche der ganzen Erschei-

nungsreihe durch die Störungen vollständig verdeckt wird. Sehen wir doch aus dem Controlversuch Fig. 6, dass unter Umständen die Störungen möglicherweise bedeutend genug sein können. Wenn es also der Zufall mit sich brächte, dass in dem Augenblicke, wo die Wärmeproduktion im lebenden Muskel beginnt, die äussere Wärmezufuhr zum starren Muskel ins Steigen käme, und dass dann gerade in dem Augenblicke, wo die Wärmeproduktion im eben erstarrten Muskel aufhört, die Wärmezufuhr von aussen zu ihm stärker würde, dann würde der Parallelismus der Zeigerkurve und der Magnetkurve nicht gefunden werden. Man sieht leicht, dass dies Zusammentreffen von Umständen nicht oft zu erwarten ist. Gleichwohl müssen wir die Möglichkeit der vollständigen Verdeckung der wesentlichen Erscheinung durch die störenden Einflüsse ausdrücklich hervorheben, damit der, welcher etwa unsere Versuche wiederholen wollte, sich nicht mit einem einzigen oder einigen wenigen begnüge, wo vielleicht gerade ein unglücklicher Zufall scheinbar ein negatives Resultat herbeiführen könnte.

Ueber die Zeigerkurve in Fig. 4 und 5 haben wir noch eine Bemerkung zu machen. Sie zeigt auch im Anfang vor Beginn der Starre einige Erhebungen und in Fig. 4 sogar eine Senkung. Es scheint also, als ob hier schon bei ganz niedriger Temperatur Fig. 4 bei  $21^{\circ}$ , Fig. 5 bei  $26^{\circ}$  eine Zusammenziehung des Muskels stattgefunden hätte. Dies ist jedoch bloss ein Fehler, dadurch veranlasst, dass der Muskel mit dem Hebel nicht mittels eines feinen Metalldrähtchens, sondern mittels eines Zwirnfadens

verbunden war. Dieser zieht sich zusammen, wenn er durch die aufsteigenden Wasserdämpfe feucht wird. Wenn die Durchfeuchtung vollständig ist, kann zwar die Zusammenziehung des Fadens einen ziemlich hohen Betrag erreichen, aber es kann dadurch doch nie die Zusammenziehung des Muskels beim Erstarren verdeckt werden. In den Versuchen Fig. 2 und 3 war übrigens, wie in allen unsern spätern, dieser Fehler durch Anwendung des Metalldrahtes vollständig vermieden. Die kleine Erhebung des Zeigers in der vierten 4. Minute Fig. 3 muss nur durch eine zufällige Erschütterung des ganzen Apparates herbeigeführt worden sein.

Kommen wir nach dieser nothwendigen Besprechung der Nebenumstände noch einmal zurück auf die Hapterscheinung, welche darin besteht, dass mit grosser Regelmässigkeit der Magnet in demselben Augenblick seinen Rückschwung beginnt, in welchem der Zeiger still steht. Es liegt darin, wie gesagt, der Beweis, dass die Wärmeentwickelung im erstarrenden Muskel aufhört in demselben Momente, in welchem seine Zusammenziehung vollendet ist. In der That muss sich gerade das Aufhören der Wärmeentwickelung durch einen scharfen Knick der Kurve zu erkennen geben, welche den Gang des Magnets darstellt. Während der Wärmeentwickelung nämlich wird der bis dahin lebende Muskel eine höhere Temperatur annehmen als die, welche ihm in dieser Zeit vermöge der äusseren Wärmezufuhrbedingungen zukommt. Sowie die innere Wärmeentwickelung aufhört, treten die äusseren Bedingungen in ihr Recht, und, mögen dieselben beschaffen sein wie sie wollen, immer muss das Aufhören der Wärmeentwickelung eine plötzliche

Minderung der Erwärmung oder sogar eine effektive Abkühlung des betreffenden Muskels zur Folge haben, was durch einen Knick in der Kurve angezeigt wird.

Dass die Wärmeentwicklung in demselben Momente aufhört, wie die Zusammenziehung des Muskels, war aus den zuerst mitgetheilten Versuchen keineswegs schon mit Sicherheit zu schliessen. Es wäre ja recht wohl denkbar gewesen, dass die durch das Gefüge des Muskelgewebes überrall erreichbare Zusammenziehung eingetreten wäre, lange bevor die wärmebildenden Prozesse vollständig abgelaufen sind, mit andern Worten, lange ehe der ganze Vorrath des zersetzbaren Körpers vollständig erschöpft ist. Verhielte sich die Sache so, dann hätte die Rückkehr des Magnets in unsern Versuchen in einem späteren Zeitpunkt erst erfolgen müssen, als in welchem der Zeiger seinen höchsten Stand erreicht.

Ob vielleicht später bei höheren Temperaturen noch einmal von Neuem Wärmeentwicklung statt finde, haben wir nicht untersuchen können, da die Illner'sche Thermosäule nach der eigenen Angabe des Verfertigers keine höheren Temperaturen als etwa 55° erträgt.

Das ganze Resultat unserer Untersuchung können wir in folgenden zwei Sätzen aussprechen.

1. Wenn man einen Muskel zur Erstarrungstemperatur erwärmt, so wird in ihm Wärme frei.

2. Diese Wärmeentwicklung fällt genau in dieselbe Zeit, während welcher sich der erstarrende Muskel zusammenzieht.

---



### Nachschrift.

Während des Druckes der vorstehenden Zeilen sind wir durch Ludwig darauf aufmerksam gemacht worden, dass schon Anton de Haen (Siehe dessen *ratio medendi editio altera P. II. Cap. X.* Wien 1760) die postmortale Temperatursteigerung beobachtet hat. Ein Auszug der betreffenden Stelle findet sich in der Gratulationsschrift H. Lebert's zum 500jährigen Jubiläum der Wiener Universität „Ueber das Aneurysma der Bauchorta und ihrer Zweige.“ Berlin 1865, S. XXI. Wir müssen demgemäss die S. 321 ausgesprochene Behauptung zurücknehmen, dass unseres Wissens Hübner zuerst eine Angabe über postmortale Temperatursteigerung gemacht habe.

Wir können ferner unserer Mittheilung noch hinzufügen, dass wir nachträglich noch einige Vorversuche über Wärmeentwicklung beim Todtenstarrwerden des Muskels angestellt haben. Es wurden ausgeschnittene Kaninchenmuskeln rasch auf die Temperatur der Umgebung (in einem Kellerraum von sehr konstanter Temperatur) abgekühlt. Dann wurde ein Thermometer in die Muskelmasse versenkt und von Zeit zu Zeit mit einem daneben in der Luft befindlichen Thermometer verglichen. In einem Falle wurde ein Steigen der Muskeltemperatur über die der Umgebung deutlich beobachtet. Wir beschränken uns auf diese blosse Andeutung, da die Versuchsreihe durch unsere Trennung unterbrochen wurde.