

Neuerung brachten die Versuche doch — die Thatsache nämlich, dass auch in O-freien Räumen die Muskeln zu leben vermochten, indem sie CO₂ aushauchten.

War nun auch in grossen Zügen durch die genannten Autoren das Richtige getroffen, so war es doch zweifellos ein Verdienst Hermann's,¹ dass er diese mit einfachen Mitteln am Froeschmuskel gefundenen Thatsachen mit Hilfe der durch Bunsen verbesserten Gasanalyse auf's Neue prüfte und durch variierte Versuchsanordnung wirklich sicher stellte. In den älteren Versuchen war namentlich gar keine Rücksicht darauf genommen, dass die ausgeschnittenen Muskeln neben Lebensprocessen auch Fähnissprocesse zeigen mussten. Hermann² hat auf letztere sein besonderes Augenmerk gerichtet und hielt nur die CO₂-Production der ausgeschnittenen Muskeln für erwiesen; die beobachtete Zehrung von O bezog er aber nicht auf Lebensprocesse. Wenn man nun die Eigenschaften, welche der ausgeschnittenen Muskel zeigt, auf die Verhältnisse am lebenden Organismus übertragen darf, so war man also zu der Anschauung gekommen, dass der O nicht die unmittelbare Ursache für die Verbrennung war; dass aber der O doch für die normale, andauernde Functionirung des Muskels unersetzbar ist, war indess schon durch andere Versuche dargethan. Die Untersuchungen von Ludwig³ und Sezelkow hatten ergeben, dass von den Muskeln der Warmblüter, wenn sie im Zusammenhang mit den übrigen Organen untersucht werden, nicht allein CO₂ ausgehaucht, sondern auch O aufgenommen wird. Der Muskel ist also nicht absolut unabhängig von der O-Zufuhr; dagegen sind O-Aufnahme und CO₂-Abspaltung zeitlich trennbar.

Indem nun Hermann auch noch die Beobachtungen über die Betheligung des Myosins an der Muskelcontraction, sowie die damaligen Kenntnisse über die Milchsäurebildung combinirte, meinte er annehmen zu dürfen, dass bei der Thätigkeit des Muskels zunächst eine complicirte Substanz zerlegt werde, die neben Myosin Milchsäure und CO₂ liefere, aber durch Synthese der festen Zerfallsproducte mit ernährenden Molekülen und O auf's Neue regenerirt werden könne.⁴ Es wird später Gelegenheit sein auf diese Hypothese zurückzukommen.

Ludwig und Sezelkow haben die alten Untersuchungsmethoden verlassen und den Muskel in seiner natürlichen Lage untersucht. Sie verfahren so, dass sie den Gasgehalt des zu- und des abströmenden Blutes prüften. Sie

¹ *Untersuchungen über den Stoffwechsel der Muskeln, ausgehend vom Gaswechsel derselben.* Berlin 1867.

² A. a. O. S. 38—39 und S. 66.

³ *Sitzungsberichte der Kais. Akademie der Wissenschaften zu Wien.* Mathematisch-naturwissenschaftliche Classe. 1862. Bd. XLV, II. S. 190 ff.

⁴ A. a. O. S. 69 ff.

Versuche über den Einfluss der Temperatur auf die Respiration des ruhenden Muskels.

Von

Dr. Max Rubner.

(Aus dem physiologischen Institut zu Leipzig.)

I. Einleitung.

Zu den schwierigsten und verwirkeltesten Untersuchungen gehört das Studium der Respiration der einzelnen Organe und trotz der ernstesten Bemühungen hält es schwer in diesem Zweige der Biologie fortzuschreiten. Ueberdies eignen sich nur wenige Organe für eine directe Untersuchung. Aus naheliegenden Gründen hat am häufigsten noch der Muskel als Versuchsobject gedient. Die einfachsten und ursprünglichsten Methoden haben G. Liebig,¹ Valentin,² und Matteucci³ geübt, indem sie herausgeschnittene Froeschmuskeln in einen abgegrenzten Luftraum brachten und auf mehr oder minder zuverlässige Weise die Aenderung des Gasgehaltes untersuchten.

Es zeigte sich, dass der Muskel auch ohne in Contact mit dem Körper zu sein, eine Respiration habe; dieses war allerdings nicht sehr auffallend, da man ja die vorzüglichsten Lebenseigenschaften nach dem Ausschneiden des Muskels persistiren sah und den engen Connex zwischen Lebenseigenschaften und Chemismus zu würdigen gelernt hatte. Aber eine auffallende

¹ *Dies Archiv.* 1850. S. 393 ff.

² *Archiv für physiologische Heilkunde.* Bd. XIV. S. 431 ff.

³ *Annales de Chimie et de Physique.* 1856. t. XLVII. p. 129 et suiv.

Archiv für Anatomie u. Physiologie 1885

fanden bei normalen Muskeln auch im Ruhezustande eine O-Zehrung und CO₂-Bildung; bei Durchschneidung der Nerven war die Qualität des Chemicismus nicht geändert. Die Thätigkeit steigert sowohl O-Aufnahme als CO₂-Bildung; beide nicht in gleichem Grade; denn der respiratorische Quotient aller bei ruhenden Muskeln angestellten Versuche war 1 0.797, bei der Thätigkeit aber 0.986, d. h. die CO₂-Ausscheidung nimmt rascher zu als die O-Aufnahme.

Ein Mangel dieser Methodik war, dass nur qualitative Versuche sich ausführen liessen, indem die Blutgeschwindigkeit und die Menge der durchspülten Muskelsubstanz unbekannt war. Diesem Uebelstande aber hatten Ludwig's Bemühungen alsbald abgeholfen, indem er zeigte, dass ein aus dem Körper herausgeschnittener Warmblütermuskel bei Durchspülung mit defibrinirtem Blut sich bis an 20 Stunden am Leben erhalten lasse. Es waren somit alle Bedingungen gegeben, um den Chemicismus der Athmung des Muskels näher zu verfolgen. Wie fruchtbar diese neue Methode werden konnte, haben Ludwig und C. Schmidt gezeigt, indem sie die wesentlichsten Beziehungen der Muskelregbarkeit, der Leistungsfähigkeit und der Ermüdung verfolgten. Auch über die näheren Beziehungen des O zu den Erscheinungen der Ermüdung sind Aufschlüsse erhalten worden. Man wendet aber häufig gegen die bisherigen Untersuchungsmethoden der Organe, die wir skizzirt haben, ein, die aus den Versuchen sich ergebenden Schlüsse hätten keine Beweiskraft für den Ablauf der Prozesse im Organismus selbst, weil die Versuchsbedingungen viel zu verschieden von den normalen Lebensbedingungen wären.

Es liegt etwas Wahres in diesem Einwande; dass die Versuchsbedingungen vielfach anders sind, als die Lebensbedingungen im Körper, ist richtig. Aber das will man ja eben; nur durch Variation der Bedingungen und der Untersuchung des Erfolges der Variirungen können wir nähere Kenntnisse von den Lebensprocessen der Organe erhalten. Man wird sich freilich vor einer blinden Uebertragung aller Resultate auf die Verhältnisse im Körper selbst hüten müssen.

Die Fragen, welche wir über den Lebensvorgang im Muskel zu stellen haben, sind keineswegs schon alle beantwortet, so ist z. B. der Einfluss hoher und niedriger Temperatur auf den ausgeschnittenen Muskel noch nicht festgestellt, wenn wir zunächst von der kurzen Notiz Hermann's,² dass die CO₂-Bildung bei 40 bis 50° schneller erfolgte, als 20 bis 30° absehen. Die Frage der Abhängigkeit der Respiration von der Temperatur des Muskels hat ein ganz ausserordentliches theoretisches Interesse und ich

bin daher gerne der Aufforderung meines verehrten Lehrers, Prof. C. Ludwig, nachgekommen, diese Frage aufzunehmen. Es sind aber durch die später mitzuthellenden Versuche keineswegs alle Einwirkungen der Temperatur auf die Respiration gelöst worden, aber in allgemeinen Zügen lässt sich doch die Beziehung beider kennzeichnen.

Die Methodik, nach welcher bei derartigen Versuchen zu verfahren ist, haben zwar schon Ludwig und C. Schmidt¹ bekannt gemacht; es wäre daher denkbar gewesen, die gestellte Aufgabe mit den gleichen Hilfsmitteln zu lösen.

2. Methodik.

Ludwig und C. Schmidt haben zuerst den Biceps fem. des Hundes zu ihren Versuchen benutzt. Wie es aber in der Natur der Sache lag, war stets eine mühsame und zeitraubende Praeparation nöthig, indem der Muskel ganz aus seiner natürlichen Umgebung geschält werden musste, und es waren viele Unterbindungen zu machen, ehe eine tadellose Durchspülung des Muskels zu erreichen war, d. h. ehe jegliche Nebenblutung aus den Gefässen stillstand. Die ersten Bemühungen meinerseits zielten dahin ab, ein anderes leichter herzustellendes Praeparat zu den Durchblutungen zu erhalten, das wo möglich aber auch dem Biceps gegenüber den Vortheil einer grösseren Muskelmasse bieten sollte.

Injectionsversuche mit Berliner Blau zeigten, dass diesen Bedingungen das ganze unversehrte Hinterbein eines Hundes genügte, wenn man dabei in bestimmter Weise verfährt. Im Allgemeinen war die Praeparationsmethode folgende: bei einem durch Verblutung getödteten Thiere wird rasch die A. iliac. comm. durch eine vorläufige Ligatur geschlossen; sodann die Bauchdecken etwa in der Mitte zwischen Nabel und Symphys. oss. pub. senkrecht zu dem Eröffnungsschnitt der Bauchhöhle durchtrennt, das Rückgrat durchgesägt. Alsdann setzt man in thunlichster Eile eine starke Canüle in die A. iliac. ein, unterbindet die an die Bauchwand gehenden arteriellen Zweige; der Penis² wird durch einen starken Messingdraht so weit als möglich an seiner Wurzel abgebunden. Unterhalb des Knies wird gleichfalls durch kräftige Drähte die Abbindung vollzogen. Unter diesen Verhältnissen wird, wie man sich durch Injectionen überzeugen kann, nur der Oberschenkel mit Blut versorgt. Alles rückfliessende Blut strömt durch die Vena cruralis ab, in welche man eine, der arteriellen Canüle ähnliche,

¹ A. a. O.

² Es wurden bis auf einen Fall nur männliche Hunde verwendet.

¹ A. a. O. S. 199.

² A. a. O. S. 16.

mit starkem Glashalse einsetzt. Allerdings kann man bemerken, dass dann und wann durch Venen des Rückenmarkcanales ein geringer Blutaustritt vorkommt. Um dieser Blutung vorzubeugen, wurde in den Rückenmarkcanal ein Korkpfropfen eingetrieben. Nun legt man die Bauchwand gegen die Wirbelsäule hin zusammen, und Wirbelsäule wie Haut werden dann zu einem Stumpf zusammen gebunden, aus welchem nur die beiden Cantülen herausragen.

Freilich ist im Vergleich zu dem ursprünglichen Praeparate Ludwig's das neue in gewissem Sinne mangelhaft, indem nicht allein Muskelsubstanz, sondern auch Knochen und Haut durchspült werden. Das sind aber keine wesentlichen Bedenken; denn ein reger Stoffverbrauch in Knochen und Haut ist wohl nicht zu befürchten, da von ersteren ihr geringer Blugehalt bekannt, letztere aber, namentlich bei niederen Bluttemperaturen, wegen der Contraction der Gefässe nahezu blutleer bleibt.

Bei der Herstellung des Praeparates muss mit thümlichster Eile vorgefahren werden, damit das in den Gefässen befindliche gerinnungsfähige Blut durch defibrinirtes ersetzt werde, weil sonst Verstopfungen von Gefässbezirken vorkommen können.

Als Durchströmungsflüssigkeit war in den früheren Versuchen stets das unveränderte Blut benutzt worden und zwar das Blut desselben Thieres oder derselben Thierart, von welcher der Muskel stammte. Es kommen aber dabei manchmal Verlegungen des Stromweges vor, weshalb eine gewisse Verdünnung des verwendeten Blutes von Vortheil sein kann. Die Beschaffung einer reichlichen Menge Hundeblasses bietet oft die allergrössten Schwierigkeiten. Es scheint daher unzweifelhaft ein Vortheil zu sein, wenn man das Blut einer fremden Thierart, z. B. das leicht zu beschaffende Kalbsblut verwenden könnte. Die Zulässigkeit einer derartigen Verwendung kann aber nicht von vornherein als selbstverständlich gelten. Ausgeschnittene Kaninchenmuskeln sterben, wenn sie mit Hundeblood durchströmt werden, rasch ab, indessen sie bei Durchströmung mit Kaninchenblut lange Zeit hindurch am Leben bleiben.

Ich habe daher Vorversuche über die Durchspülung von Hundemuskeln mit Kalbsblut angestellt. Als Verdünnungsmittel für das Blut wurde Kochsalzlösung gewählt und zwar erwiesen sich Mischungen von 0.6 Procent ClNa -Lösung mit Blut am günstigsten; in einigen Fällen wurde auch eine ClNa -Lösung verwendet, welche neben 0.6 Proc. ClNa noch 0.1 Proc. $\text{PO}_4\text{Na}_2\text{H}$ enthielt. Derartige Salzlösungen zeigen, wenn auf einen Theil Blut drei Theile der ersteren zugesetzt werden, kaum eine Auflösung von Blutkörperchen. Zu den Durchspülungen wurden, wenn man von den Vorversuchen absieht, Mischungen verwendet, welche auf einen Theil Blut höchstens einen Theil Salzlösung enthielten.

Versuch vom 2. Juni 1880.

Ein Hund von 6 Kilo wurde verblutet, das Blut aufgefangen, defibrinirt und colirt. Durch den Herzstich wurde der Hund getödtet, die unteren Extremitäten abgetrennt, und in der bereits erwähnten Weise das Praeparat hergestellt. Nun wird rasch mit dem defibrinirten Blute das in den Gefässen noch rückständige fibrinhalige ausgewaschen, bis das abfließende Blut seine Fähigkeit zu coaguliren völlig verloren hat. Dann wurde begonnen, aus einer Druckflasche eine Kalbsblut-Salzmischung (ein Theil Blut : drei Theile 0.6 procentiger ClNa) durch den Muskel zu leiten.

Um 3^h 45' begann die Durchleitung, zu dieser Zeit war die minimale Reizbarkeit des Muskels ausgedrückt in Min. Rollenabstand des du Bois'schen Schlittens = 115.

Um 5^h 15' war der nicht durchspülte Schenkel schon völlig unempfindlich für Reize; für den durchspülten wurde die Reizbarkeit gefunden = 115^{mm} Rollenabstand.

Um 5^h 42' war sie = 120^{mm} Rollenabstand.

6^h 5' " " = 115^{mm} " "

6^h 25' " " = 110^{mm} " "

Das Kalbsblut hatte also den Hundemuskel an 2³/₄ Stunden bei gleicher Reizbarkeit erhalten. Dass aber das Hundeblood doch für den Hundemuskel eine geeignetere Durchspülungsflüssigkeit ist, zeigt der folgende Versuch.

Versuch vom 6. Juni 1880.

Das Praeparat entstammte einem 7 Kilo schweren Windspiel; die Durchspülungsflüssigkeit bestand aus 320^{cem} Kalbsblut und 680^{cem} Salzlösung (0.6 Procent ClNa ; 0.2 Procent $\text{PO}_4\text{Na}_2\text{H}$). Die Reizbarkeit des Muskels verhielt sich folgendermassen:

12^h war sie = 163^{mm} Rollenabstand.

1^h " " = 162^{mm} " "

1^h 30' " " = 148^{mm} " "

2^h " " = 150^{mm} " "

2^h 15' " " = 158^{mm} " "

Zwischen 2 und 3 Uhr nahm dann die Reizbarkeit ziemlich rasch ab. Es wurde durchspült bis sie völlig erloschen war, dann an Stelle des Kalbsblutes Hundeblood durchgeleitet, das in Kürze die Erregbarkeit wieder herstellte, so dass nach 4 Uhr wiederum kräftige Zuckungen erhalten wurden.

Man erkennt also, dass es im Allgemeinen wünschenswerth ist, für die Muskeln des Hundes Hundeblood zu verwenden.

Aus der Fähigkeit des Muskels, lange Zeit hindurch bei Durchspülung mit arteriellem Blute seine Reizbarkeit ungeschwächt zu erhalten, konnte man wohl schliessen, dass auch der Chemismus der Muskeln qualitativ wie quantitativ derselbe geblieben sei. Diese Vermuthung zu bestätigen, dienten folgende Versuche:

Das Praeparat wurde mit verdünntem Kalbsblut durchblutet (1 Blut: 1 Salzlösung 0.7 Proc. ClNa 0.1 Proc. $\text{PO}_4 \text{Na}_2 \text{H}$), welches etwa auf Zimmertemperatur abgekühlt war. Nachdem die Durchblutung 122 Minuten gewährt hatte, wurde in der von Ludwig und Schmidt angegebenen Weise eine Blutprobe über Hg aufgefangen, die Blutrecipienten gefüllt und auf Eis gelegt. Ebenso ist um die 487. Minute und um die 577. Minute je eine Blutprobe entnommen worden. Es war beabsichtigt gewesen, die Stromgeschwindigkeit völlig gleich zu erhalten, doch sind durch unvorhergesehene Zwischenfälle Differenzen in der Blutgeschwindigkeit aufgetreten. Die untenstehende Tabelle enthält die näheren Angaben.

Versuch vom 15. Juni 1880.

Zeit in Minuten von Beginn des Versuches.	Mittlere Geschwindigkeit während des Auffangens des Blutes in Cubikcentimetern.	In einer Minute CO_2 in Cubikcentimetern bei 0° u. 1 m Hg-Druck.	Reizbarkeit. Abstand der Rollen in Millimetern.
122	5.6	0.250	88
487	4.5	0.157	75
577	4.5	0.245	55

Die Geschwindigkeitswerthe beziehen sich auf die Zeit der Blutprobeentnahme. Im Allgemeinen ist auch in der Zwischenzeit die Geschwindigkeit möglichst gleich gehalten worden; nur vor der Entnahme der Probe II war die Blutgeschwindigkeit um ein Wesentliches höher als während der Probeentnahme. Die Proben, sowie eine arterielle Probe sind mit Hilfe der Ludwig'schen Gaspumpe entgast und die erhaltenen Gase nach den von Bunsen gegebenen Regeln analysirt worden.

Die analysirten Gasproben geben über die Respiration des Muskels während sechs Stunden Aufschluss. Es ist auch die Reizbarkeit des Muskels geprüft worden. Da bekanntlich diese nicht an allen Stellen eines Muskels dieselbe ist, so muss man die Elektroden stets an der gleichen Stelle ansetzen. Es wurde vorgezogen die Elektroden an bestimmten Stellen zu befestigen. Zu diesem Zwecke wurden an den zwei Seiten des Schenkels Hautschnitte gemacht, die Cutis etwas abgezogen und in die auf diese Weise erzeugten Taschen die Elektroden gebracht. Letztere bestanden aus

etwa 3 cm langen $1\frac{1}{2}$ cm breiten Platinblechen, welche mit Papier, das in verdünnte Kochsalzlösung getaucht war, umwickelt waren. Die Hautwunde wurde vernäht, und niemals sind an diesen Stellen Blutungen eingetreten.¹

Man erkennt aus den mitgetheilten Werthen der Tabelle, dass die CO_2 -Auscheidung des Schenkels durch lange Zeit hindurch constant geblieben ist, wenn schon sich ein allmähliches Absinken der Reizbarkeit bemerkbar macht, also ein Parallelgehen der CO_2 -Bildung mit der Reizbarkeit nicht besteht. Das Absinken der CO_2 -Bildung bei Entnahme der zweiten Blutprobe, dürfte darauf zurück zu führen sein, dass in der Zwischenzeit der 122. bis 487. Minute die Blutgeschwindigkeit etwas zu gross geworden war, so dass also in Probe II möglicherweise Blut gerathen ist, welches nicht mit einer Geschwindigkeit von 4.5 cm^3 pro Minute strömte, sondern schneller. Ein ähnliches Resultat wie in diesem Versuche für die CO_2 erhalten wurde ist für die O-Zehrung schon von Ludwig und O-Schmidt angegeben, indem sie nur eine ganz allmähliche Abnahme der O-Zehrung im Muskel fanden, auch wenn die Versuche sehr lange währten.

In einem zweiten Versuche ist auch Rücksicht auf die O-Zehrung genommen worden, die Dauer desselben war aber wesentlich kürzer als die des ersten Versuches.

Die Blutsalzmischung, welche zur Durchspülung diente enthielt auf 320 Theile Kalbsblut 680 Theile Salzmischung (0.6 Procent ClNa und 0.1 Procent $\text{PO}_4 \text{Na}_2 \text{H}$). Ueber die uns interessirenden Ergebnisse des Versuches giebt die folgende Tabelle Aufschluss.

Versuch vom 25. Juni 1880.

Zeit in Minuten von Beginn des Versuches.	Mittlere Geschwindigkeit während des Auffangens im Cem.	In einer Minute CO_2 bei 0° und 1 m Hg-Druck.	Reizbarkeit. Abstand der Rollen in Mm.	O-Zehrung pro einer Minute in Cem. bei 0° und 1 m Hg-Druck.
0—68	11	0.691	89	0.293
68—142	18	0.761	—	0.319
142—167	18	0.702	91	—

Es sind drei Blutproben analysirt worden; die ungefähr der ersten, zweiten und dritten Stunde nach der Einleitung der Durchspülung entsprechen. Die Reizbarkeit ist innerhalb dieser Zeit völlig unverändert ge-

¹ Dies kann auch als ein Beweis für die oben aufgestellte Behauptung, die Haut werde nur unvollkommen durchblutet, angesehen werden.

blieben, die CO_2 -Production zeigte keine Zu- noch Abnahme, die O-Zehrung ist bis zur zweiten Stunde der Durchspülung nicht abgesunken.¹

In den beiden Versuchen lässt sich also ersehen, dass die mitgetheilte Methode der Herstellung des Praeparates und die Art der Durchspülung bei gleichbleibenden Bedingungen (Ruhe und Temperatur) genügen, um gleiche Ausscheidungsgrößen der Respirationsproducte zu erlangen.

Die Beobachtungen über den Einfluss verschiedener Erwärmung auf die Respiration des Muskels machten eine Reihe neuer Einrichtungen nöthig, welche zuerst besprochen werden müssen.

Das Muskelpraeparat befand sich in einem Zinkkasten mit doppelter Wandung. Durch Oeffnungen an der Seitenwand treten die blutzuführenden und abführenden Röhren ein. Zwei weitere Oeffnungen liessen die wohl isolirten Leitungsröhre durchtreten, welche wie oben schon erwähnt in Platinelektroden endigten. Eine starke Glasplatte deckte den Raum in welchem der Muskel sich befand. Der Rand der Platte war in der Breite von 4 bis 5^{cm} mit Watte beklebt, mit dieser lag sie auf dem Blechkasten auf. Die Glasplatte wurde für den Fall, dass der Muskel gerade nicht beobachtet wurde, mit einer Lage von Watte zugedeckt; die Doppelwandung des Kastens war entweder mit warmen Wasser gefüllt, das noch weiter durch einen unter dem Kasten befindlichen Bunsenbrenner auf seiner Temperatur gehalten werden konnte, oder sie wurde mit einer Salz-Eismischung gefüllt.

Kaltes und heisses Wasser wurden stets vorrätzig gehalten und zwar befanden sich die betreffenden Gefässe in etwa 3 bis 4 Meter Entfernung vom Praeparate aufgestellt, höher stehend als dieses. Von diesen Gefässen führten weite Kautschukschläuche bis zum Zinkkasten, so dass er also auf's schnellste mit heissem oder kaltem Wasser versehen werden konnte.

Die Blutzuleitung geschah nicht mit der von Ludwig und Schmidt benutzten Druckflasche, sondern die Einrichtung war etwas abgeändert worden. Es wurde zunächst Rücksicht darauf genommen, dass das Blut während der immerhin langen Versuchszeit keine Aenderung seines Gasgehaltes erleide. Die Blutsalzmischung befand sich in einer dreifach tubulirten Wouloff'schen Flasche. Letztere war in ein weiteres Gefäss mit Eis

¹ Der Versuch wurde unterbrochen, weil die Durchspülungsfähigkeit nicht weiter reichte. Die durchspülte Muskelmasse wog: 404.0 gm Fleisch. Die Temperatur des abfließenden Blutes war bei Probe I. 22.4—22.8° C.

II. 22.8—23.0° C.

III. 23.0—22.5° C.

versenkt und verblieb in dieser bis zu Ende des Versuches. Die Blutsalzmischung behielt sonach immer eine Temperatur, die nahe an 0° lag. Der mittlere Tubulus der Flasche liess einen Messingstab durchtreten, welcher an seinem in der Flasche befindlichen Ende ein Messingkreuz trug, das als Mischer fungirte; es wurde durch Bewegungen des Mixers dafür gesorgt, dass die Blutkörperchen sich nicht absenkten.

Der eine seitliche Tubulus führte zu einer zweiten Wouloff'schen Flasche, welche ihrerseits durch einem Kautschukschlauch mit einem auf beliebige Höhe einstellbaren Wassergefässe verbunden war. Das Wasser floss in die Wouloff'sche Flasche, comprimirt hier die Luft, die dann auf die Blutsalzmischung der erst erwähnten Wouloff'schen Flasche drückte. Der dritte Tubulus der Blutflasche hatte zwei Röhren. Die eine war mit einem unten nach Art der Gasleitungsröhren gebogenen Rohre verbunden, dessen Schnabel unter Quecksilber tauchte. Sie diente dazu, zu beliebigen Zeiten Blutproben zur Analyse wegnemen zu können. Die andere Röhre diente zur Zuleitung des Blutes zu dem Muskel. Es konnte aber nicht daran gedacht werden etwa das auf 0° abgekühlte Blut dem Muskel zuzuleiten und die Variation der Temperatur dadurch zu erzeugen, dass man die Muskelsubstanz von aussen erwärmt. Denn kein Moment ist gerade für die Abkühlung oder Erwärmung des Muskels von solcher Bedeutung wie die Temperatur des circulirenden Blutes.

Es wurde daher zwischen Blutflasche und Muskel ein eigener Apparat eingeschaltet, welcher das Blut auf eine bestimmte Temperatur zu bringen hatte. Ein Blechcylinder von 4 bis 5 Liter Inhalt hatte eine mehrfach durchbohrte Decke. Die eine Oeffnung diente zur Füllung mit heissem oder kaltem Wasser, welche aus den beiden Reservoirren entnommen werden konnte, wie bei Füllung des Blechkastens, der das Praeparat enthielt, schon beschrieben wurde. Eine weite am Boden des Blechcylinders angebrachte Abflussöffnung erleichterte die Entleerung dieses Gefässes. Die Temperatur des Wassers konnte durch ein eingesenktes Thermometer abgelesen werden. Eine in der Wandung befindliche Oeffnung liess die Blutzuleitungsröhre eintreten und zunächst circulirte das Blut in einer mehrfach gewundenen engen Bleiröhre, welche schliesslich aufsteigend den Deckel des Blechcylinders durchbohrte.

In der Mitte des Deckels war eine weitere Oeffnung und diese diente zur Aufnahme eines genau abgepassten Gläschens, dessen Hals von einem vierfach durchbohrten Gummistopfen verschlossen war. Eine centrale Durchbohrung liess einen dünnen Metallstab durchtreten, der mit einem Mischer endigte; der Mischer wurde während eines ganzen Versuches durch eine automatische Einrichtung in Bewegung gehalten, so dass also auch an dieser Stelle ein Absenken der Blutkörperchen nicht eintreten konnte.

Zwei weitere Oeffnungen des Kautschukpfropfens hielten Glasröhrchen, deren eines nahe dem Boden, deren anderes aber nahe dem abschliessenden Gummipfropfen endigte; durch ersteres trat das Blut ein, durch letzteres trat es aus. Da man nun bei Beginn des Versuches das ganze Gläschen mit Blut zu füllen hatte, so war in dem Gummistopfen noch eine vierte Oeffnung angebracht und ein Glasröhrchen eingesetzt, das eben den Stopfen durchsetzte. Während nun Blut einströmte konnte hier die Luft austreten. Ein Kautschukstück mit Klemme gab den nöthigen Abschluss.

Das Ende des durch den Deckel des Bleichcyllinders durchtretenden Bleiröhrchens war mit der Glasröhre verbunden, die auf den Boden des zur weiteren Mischung und Erwärmung des Blutes dienenden Gläschens führte. Die Ableitungsröhre des Gläschens führte das Blut dem Muskel zu. Ehe es in die Canüle zur Arterie trat wurde seine Temperatur durch ein in einem T-Stück befestigtes Thermometer gemessen.

In gleicher Weise war unmittelbar an die Canüle, welche in die Vene eingebunden war, ein T-Stück mit Thermometer zur Bestimmung der Temperatur des abfließenden Blutes eingebunden.

Das abströmende Blut floss in eine mit Quecksilber gefüllte Flasche, aus welcher durch eine Hebevorrichtung das Quecksilber abgelassen werden konnte. Damit nun nicht etwa Stauungen im Blutstrom vorkamen, war, ehe das Blut in die Blutflasche einfloss, ein kleines Manometer eingesetzt, so dass leicht eine Regelung des Blutstromes ausgeführt werden konnte.

Wenn genügend Blut aufgefangen war, so wurde das Gefäss mit Quetschhähnen geschlossen und in demselben Momente dem abströmenden Blute ein anderer Weg geöffnet, indem der eine Schenkel eines bis jetzt geschlossenen T-Stückes aufgemacht wurde. Von der während einer Versuchsperiode entleerten Blutmenge wurden alsbald die Blutproben in die kleinen Recipienten übergefüllt und in Eis verpackt.

3. Versuchsergebnisse.

a) Versuch vom 2. December 1880 (Nr. VI).

Ueber die Herrichtung des Praeparates braucht nichts weiter erwähnt zu werden, weil stets in gleicher schon mitgetheilte Weise verfahren wurde. Die durchspülte Muskelmasse betrug 291 ^{mm}; die Blutmischung bestand aus 2310 ^{ccm} Hundeblood + 4000 ^{ccm} Salzlösung (0.7 Procent CaNa; 0.1 Procent PO4 Na2 H). Die Einzelheiten, welche zu wissen von Interesse ist, giebt übersichtlich nebenstehende Tabelle.

Tabelle III.

Versuch vom 2. December 1880.

Zeit in Minuten.	t° des abfließenden Blutes.	Menge des abgeflossenen Blutes in Ccm.	Reizbarkeit.	Bemerkungen.
0—95	15.0—15.3	340	Bei einem Bündel St. 6.5—6.5	
95—159	14.0	300	6.5	Blut zur Analyse. Blut schwach venöser Färbung.
159—220	21.8—25.5	400	8.5—7.0	
220—273	25.3	200	8.7—6.7	Blut zur Analyse. Blut dunkel.
273—335	22.4—14.0	390	5.3—5.0	
335—374	12.2	190	Muskel nicht reizbar.	Blut zur Analyse. Blut schwach venöser Färbung.
374—420	18.0—26.8	170	Anfangs nicht reizbar, später bei 0 mm.	
420—446	25.1	150	5.9—4.0	Blut zur Analyse. Blut dunkel.

Schon die oberflächliche Betrachtung des aus dem Muskel abströmenden Blutes und die Vergleichung mit dem arteriellen Blute zeigt, dass beim Kühlhalten des Muskels nur wenig Sauerstoff verzehrt wurde; denn das venöse Blut war nur wenig dunkler als das arterielle; beim Erwärmen des Muskels floss es dagegen dunkel gefärbt ab. Die Reizbarkeit des Muskels war gleichfalls von der Temperatur beeinflusst. Sie sank bald nach dem Durchleiten kühlen Blutes bis 6.5 ^{mm} Rollenabstand ab. Völlig zum Erlöschen zu bringen war sie nicht, obschon 2 1/2 Stunden kühles Blut durchgeleitet wurde. Beim Erwärmen stieg sie dann an, doch zeigte sich auch bei gleichbleibender Erwärmung die Tendenz zu sinken. Bei erneuter Abkühlung — die Temperatur war im Mittel 12.2° — war auch bei Anwendung der stärksten Reize keine Zuckung wahrzunehmen. Der Muskel war völlig unerregbar. Erneute Erwärmung stellte die Reizbarkeit wieder her.

Von den Respirationsgasen wurde nur die CO₂-Bestimmung ausgeführt; die Bestimmung der O-Zehrung missglückte. Die näheren Angaben enthält die Tabelle auf der folgenden Seite.

Wohl zeigen die Werthe für die CO₂-Production Schwankungen; dagegen lässt sich keine mit dem Wechsel der Temperatur zusammenfallende Gesetzmässigkeit entdecken. Die CO₂-Bildung scheint unabhängig von der Temperatur zu sein. War nun auch die Bestimmungen des Sauerstoffs missglückt, so zeigte doch die Färbung des

Tabelle IV.

Temperatur des aus dem Muskel abström. Blutes.	Geschwindigkeit in Mm. pro einer Minute.	CO ₂ pro einer Minute bei 0° und 1 m Druck.	Reizbarkeit gemessen am Rollenabstand.
14.0	4.7	0.248	6.5
25.3	4.1	0.134	8.7—6.7
12.2	4.9	0.188	0
25.1	4.7	0.202	5.9—4.0

Blutes, dass für den Sauerstoffverbrauch sicher eine Beeinflussung durch die Temperatur angenommen werden musste und zwar in dem Sinne, dass Steigen der Temperatur die O-Zehrung mehrt, Abkühlen sie mindert. Es war an diesem Versuche recht auffallend entgegengetreten, dass der Muskel nur schwierig auf eine beliebige Temperatur zu bringen ist. Das Hauptaugenmerk wurde daher zunächst darauf gerichtet, die Temperaturintervalle noch grösser zu machen.

b) Versuch vom 10. December 1880 (Nr. VII).

Das von einem grösseren Hunde hergestellte Praeparat hatte 517^{erm} Muskelmasse. Die Blutmischung bestand aus 1 Theil Hundeblood + 2 Theilen Salzmischung (0.7 Procent ClNa, 0.1 Procent PO₄ Na₂ H). Bei einer mittleren Temperatur von 10.4° war der Muskel unerregbar geworden; die Reizbarkeit kehrte mit der Erwärmung auf 31° wieder. Die erneute

Tabelle V.

Zeit in Minuten.	t° des abfließenden Blutes.	Menge des abgeflossenen Blutes in Ccm.	Reizbarkeit.	Bemerkungen.
0—130	10.7	530		
130—223	10.4	360		Blut zur Analyse.
223—304	23.0—26.0	240		Ohne Stäbe 13.0, sinkt bald auf 0. 65.0—120 ^m bei allen Stäben.
304—356	31.2	200		Blut zur Analyse.
356—398	—	330		ohne Stäbe bei 0 m.
398—432	9.5	205		Reizb. von Beginn = 0.
432—472	—	340		
472—512	28.2	250		Reizb. kehrt nicht wieder.

Abkühlung liess sie wieder schwinden. Als nun auf die Durchspülung mit kühlem Blute nochmals Erwärmung auf 28.2° folgte, stellte sich trotzdem die Reizbarkeit nicht wieder ein.

Hinsichtlich arterieller oder venöser Färbung des aus dem Muskel abfließenden Blutes ist dasselbe zu sagen wie im vorigen Versuche. Bei Kälte nähert die Farbe des Venenblutes sich mehr der arteriellen Farbe. Es ist in diesem Versuche auch gelungen, Temperatur-Minima und -Maxima weiter auseinander zu legen. Ueber die Art der Muskelrespiration giebt folgende Tabelle Aufschluss.

Tabelle VI.

Temperatur des aus dem Muskel abfließ. Blutes.	Geschwindigkeit in Ccm. pro einer Min.	CO ₂ in Ccm. pro einer Min. bei 0° und 1 m Druck.	O-Verbrauch pro einer Min. bei 0° und 1 m Druck.	CO ₂ am Rollenabstand.	Reizbarkeit gemessen am Rollenabstand.
10.4	3.8	0.185	0.076	2.43	13.0 ohne Stäbe, erlischt aber alsbald.
31.2	4.0	0.079	0.125	0.63	Reizbar bei eingelegten Stäben, später reizbar ohne Stäbe bei 0 m.
9.5	6.0	0.297	0.084	3.51	0
28.2	6.2	0.132	0.130	1.01	Reizbarkeit kehrt nicht wieder.

Die CO₂-Ausscheidung weist in diesem Falle Schwankungen auf, welche mit dem Temperaturwechsel zusammenhängen. Es hat geradezu den Anschein, als ob bei hoher Temperatur weniger CO₂ gebildet worden wäre als bei niedriger Temperatur.

Die Sauerstoffzehrung zeigt — wie wir aus der Färbung des Blutes schon vermuthen konnten — eine Steigerung durch die Wärme und ein Absinken bei der Abkühlung. Bildet man in üblicher Weise die respiratorischen Quotienten, so erkennt man, dass dieselben bei abnorm niedriger Temperatur des Muskels die auffallendsten Abweichungen von den unter normalen Verhältnissen erhaltenen bieten. Die Quotienten des von warmem Blute durchspülten ausgeschnittenen Muskels zeigen dagegen nichts Auffälliges. Es ist von grossem Interesse, dass auch der durch Kälte scheinbar todt gewordene Muskel doch noch eine sehr bestimmbare Sauerstoffzehrung besitzt. Letztere steht also in keinem directen Zusammenhange mit der Reizbarkeit.

c) Versuch vom 9. Februar 1881 (Nr. VIII).

Zu einem weiteren Versuche diente ein Praeparat mit 530^{erm} Muskelmasse. Die Durchspülungsflüssigkeit war ein Gemisch von 1 Theil Hunde-

blut und 2 Theilen 0.6 procentiger Kochsalzlösung. Es gelang diesmal, noch grössere Temperaturdifferenzen zu erzielen, als in den beiden vorigen Versuchen. Leider konnte der Muskel aber nicht wieder bei Erwärmung untersucht werden, weil in dem Momente, als die zweite warme Blutprobe gesammelt werden sollte, Quecksilber in die Venen geräthen und somit dem Blute der Weg verlegt war.

Tabelle VII.

Zeit in Minuten.	t° des abfließenden Blutes.	Menge des abgeflossenen Blutes.	Reizbarkeit.	Bemerkungen.
0—81	32.0	360	5.2	—
81—126	33.7	250 *	Ein Bündel Stäbe.	
126—271	—	520	4.0	Blut zur Analyse.
271—325	7.2	250	Völlig unempfindlich.	
			"	Blut zur Analyse.

Tabelle VIII.

Temperatur des aus dem Muskel ausstr. Blutes.	Geschwindigkeit in Cem. pro einer Min.	Cem. CO ₂ pro einer Min. bei 0° und 1 m Druck.	Cem. O-Verbr. pro einer Min. bei 0° und 1 m Druck.	CO ₂ O	Reizbarkeit gemessen in Mm. Rollenabstand.
33.7	5.60	0.342	0.207	1.65	5.2—4.0
7.2	4.63	0.193	0.042	4.56	0

Die Resultate stimmen in Allem mit den früheren überein. Zwar zeigt die CO₂ bei der Kälte ein gewisses Absinken, es lässt sich dies aber, wie später noch gezeigt werden wird, auch auf andere Weise erklären, ohne dass man CO₂-Bildung mit der Temperatur in nähere Beziehung bringt. Die O-Zehrung ist bei der Abkühlung von 33.7° auf 7.2° ausserordentlich abgesunken. Doch konnte man selbst bei dieser niedrigen Temperatur den Sauerstoffverbrauch durch den Unterschied zwischen arteriellem und venösem Blute constatiren. Die respiratorischen Quotienten zeigen das bereits im vorigen Versuche bemerkte auffällige Verhältniss.

d) Versuch vom 16. Februar 1881 (Nr. IX).

Die verwendete Muskelmasse beträgt 453.3 gm. Hundebhut und 0.6 procentige Kochsalzlösung wurden zu gleichen Theilen gemischt als Durchsprüpfungsflüssigkeit verwendet. Da die Herstellung des Praeparates sehr

rasch gelungen war, so konnte schon etwa eine Stunde nach dem Tode des Thieres mit dem Auffangen der ersten Blutprobe begonnen werden. Die Temperaturdifferenzen waren diesmal noch bedeutender. Es gelang einerseits, die Muskelrespiration bei einer der normalen nahestehenden Temperatur zu untersuchen, andererseits war das Minimum = 6.4° C. Die Erwärmung der Wirkung der Erwärmung auf die Reizbarkeit kann füglich unterlassen werden.

Tabelle IX.

Zeit in Minuten.	t° des abfließenden Blutes.	Menge des abgeflossenen Blutes.	Reizbarkeit.	Bemerkungen.
0—54	32.6	301	5.5 ohne Stäbe.	
54—99	39.5	315	7.2—7.2	Blut zur Analyse.
99—240	9.5	300	Völlig unempfindl.	
240—282	6.4	250	"	Blut zur Analyse.
282—357	35.3	283	3.5 ohne Stäbe.	
357—419	38.2	320	"	Blut zur Analyse.

Die analytischen Ergebnisse stehen in vollem Einklang mit den früheren Befunden.

Tabelle X.

Temperatur des aus dem Muskel abfl. Blutes.	Geschwindigkeit in Cem. pro einer Min.	Cem. CO ₂ in einer Min. bei 0° und 1 m Druck.	Cem. O-Verbr. pro einer Min. bei 0° und 1 m Druck.	CO ₂ O	Reizbarkeit des Muskels, gemessen nach Mm. Rollenabstand.
39.5	7.0	0.501	0.415	1.10	7.2
6.4	6.1	0.364	0.117	3.11	0
38.2	5.1	0.188	0.256	0.73	7.5

Die Kohlensäureausscheidung sinkt allerdings auch bei der Abkühlung des Muskels wie in dem vorigen Versuche. Die richtige Aufklärung für dieses Absinken der CO₂ giebt aber die darauf folgende Erwärmung des Muskels. Auch unter dem Einflusse der letzteren steigt die CO₂-Bildung nicht an; sie ist vielmehr noch weiter abgesunken. Es hat daher den Anschein, als ob die wechselnde starke Abkühlung einen schädigenden Einfluss auf den Muskel habe, wodurch ein allmähliches Absinken der CO₂-Bildung herbeigeführt wird. Dieser schädigende Einfluss macht sich in gleicher Weise auf den Sauerstoffverbrauch geltend.

Der Sauerstoffverbrauch erweist sich wiederum abhängig von dem Grade der Erwärmung. Doch wird man erkennen, dass der Sauerstoff-

verbrauch nach der starken Abkühlung auf 6.1° sich nicht mehr zur alten Höhe erhebt, obschon die Temperatur von 38.2° nur wenig von der Mitteltemperatur der erstmaligen Erwärmung 39.5° verschieden ist. Auch an der Reizbarkeit, welche bei der zweimaligen Erwärmung die alte Höhe nicht erreicht, ist eine gewisse Schädigung unverkennbar. Im Uebrigen besteht auch zwischen diesem Versuche und den früheren eine befriedigende Uebereinstimmung.

Man könnte nur gegen die Behauptung des schädigenden Einflusses der Temperatur anführen, dass von einer derartigen Einwirkung im Versuch b nichts zu bemerken war. Nun ist aber in Versuch b der erstmaligen Erwärmung des Muskels schon eine Durchspülung mit kaltem Blute vorausgegangen; andererseits aber wird die schädigende Wirkung wesentlich von der Grösse der Temperaturdifferenz abhängen und diese war nirgends grösser als in dem Versuch d, nämlich: 33.1° , bei Versuch b aber nur rund 21° .

e) Versuch vom 1. März 1881 (Nr. X).

Die zu diesem Versuche verwendete Muskelmasse betrug 374 grm ; zur Durchspülung dienten 1700 ccm Hundeblood + 2000 ccm 0.6 Percent CINALÖsung. Auch hier gelang es, schon eine Stunde nach dem Tode des Thieres die erste Blutprobe zu sammeln.

Tabelle XI.

Zeit in Minuten.	t° des abfließenden Blutes.	Menge des abgeflossenen Blutes.	Reizbarkeit.	Bemerkungen.
0—47	36.0	322	11.5 ohne Stäbe.	
47—95	36.0	250	$11.5—6.5$	Blut zur Analyse.
95—252	9.8	586	Völlig unempfindl.	
252—310	8.6	250	"	Blut zur Analyse.
310—384	33.5	590	5.0 mit allen Stäben.	
384—437	34.3	250	5.0 mit allen Stäben. 4.5 ohne Stäbe.	Blut zur Analyse.

Der Versuch bietet, wie man nach den Zahlen der vorstehenden Tabelle schliessen kann, eine Bestätigung der früheren Resultate. Auch hier gelang es, den Muskel durch Kälte unempfindlich gegen die Reize zu machen und durch erneute Wärmezufuhr seine Reizbarkeit wieder herzustellen, wenn auch nicht in gleicher Höhe, wie sie früher bestand. Die Werthe für die Respiration des Muskels sind folgende:

Tabelle XII.

Temperatur des aus dem Muskel aushl. Blutes.	Geschwindigkeit in Ccm. pro einer Min.	Ccm. CO_2 in einer Min. bei 0° und 1 m Druck.	Ccm. O-Verbr. in einer Min. bei 0° und 1 m Druck.	$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$	Reizbarkeit des Muskels, gemessen nach Mm. Rollenabstand.
36.0	4.54	0.417	0.304	1.36	$11.5—6.5$
8.6	4.40	0.262	0.094	2.78	0
34.3	4.70	0.228	0.210	1.09	$5.0—4.5$

Die Kohlensäureausscheidung sinkt während der Abkühlung des Muskels bedeutend ab; sie sinkt aber noch weiter auch während der darauf folgenden Erwärmung.

Es ist das gleiche Verhalten wie im vorigen Versuche, nur weniger stark ausgeprägt.

Die Sauerstoffzehrung fällt mit der Erniedrigung der Temperatur und steigt bei erneuter Erwärmung wieder an. Doch erreicht das zweitmalige Ansteigen nicht den Werth, welchen die Sauerstoffzehrung bei Beginn des Versuches darbot. Die Erklärung für diesen Vorgang bietet die schädigende Einwirkung bedeutender Temperaturdifferenzen. Wie das Gesamtbild des Versuchs von den übrigen nicht abweicht, so stehen auch die respiratorischen Quotienten den früher erhaltenen nahe.

Damit ist das Versuchsmaterial, über welches ich verfüge, abgeschlossen; die Frage der Wirkung der Temperatur ist zwar damit nicht erledigt, doch lassen sich, wie man sehen wird, gewisse Grundzüge für die Wirkung derselben wohl feststellen. Ich werde daher nun, die Resultate der einzelnen Versuche zusammenfassend, Schlussfolgerungen zu ziehen unternehmen. Von grosser Wichtigkeit wäre es gewesen, die Grenze festzustellen, bei welcher überhaupt kein O mehr aufgenommen und keine CO_2 mehr abgegeben wird. Eine hierfür benötigte Abkühlung erfordert aber eine ausserordentlich lange Durchspülung eines Muskels.

4. Betrachtung der Resultate.

a) Die Sauerstoffzehrung.

Das wichtigste Ergebnis der Untersuchungen ist der Nachweis der Abhängigkeit der Sauerstoffzehrung des Muskels von der Temperatur desselben. In allen Fällen ist bei Abnahme der Temperatur auch der Sauerstoffconsum abgesunken, bei darauf folgender

Wiedererwärmung auf's Neue angestiegen. Dieses Ansteigen und Abfallen lässt zweifellos in jenen Versuchen, welche ähnliche Maxima und Minima der Temperatur zeigen, eine gleiche Abhängigkeit vom Temperaturintervall erkennen. Man muss aber wohl erwägen, dass diese Uebereinstimmung keine absolute sein kann (wie dies bei den einzelnen Versuchsreihen schon hervorgehoben wurde), weil die O-Zehrung im Verlaufe der Zeit der Durchspülung absinkt. Dieses Absinken beruht offenbar auf einem schädigenden Einfluss abnorm niedriger Temperaturen, der schon für manche Lebenserscheinungen erwiesen ist. Sonach ist die absolute Zahl für den O-Consum bei gleicher Temperatur etwas verschieden, je nachdem die O-Zehrung in der ersten, oder zweiten oder dritten Stunde der Durchspülung untersucht wird.

Vergleicht man die einzelnen Temperaturintervalle und ihre Wirkung auf den Sauerstoffconsum und führt die Werthe auf die Zunahme um 1° C. oder die Abnahme um 1° C. zurück, so erhält man folgende Zahlen.

Tabelle XIII.

Nr. der Versuche für Erwärmung. ¹	Wenn die t des Muskels um 1° steigt, steigt der O-Verbrauch um x Procent	Wenn die t des Muskels um 1° sinkt, sinkt der O-Verbrauch um x Procent	Beobachtete Temperatur. Minimum für das Ansteigen, das Absinken.	Beobachtete Temperatur. Maximum und Minimum für die Abkühlung.	Nr. der Versuche für Abkühlung.
VII. a—b	3.09	1.55	10.4—31.2	31.2—9.5	VII. b—c
VII. c—d	2.92	3.10	9.5—28.2	33.7—7.2	VIII. a—b
VIII. b—c	3.73	2.27	6.4—38.2	39.5—6.4	IX. a—b
X. b—c	4.80	2.54	8.6—34.3	36.0—8.6	X. a—b

Die Schwankungen in den einzelnen Werthen sind nicht bedeutend, wenn man die Schwierigkeiten derartiger Versuche nur einigermaßen zu beurtheilen versteht. Abgesehen davon, dass die zu Versuchen verwendeten Muskeln schon individuell ein etwas abweichendes Verhalten zeigen konnten, ist weiteres zu bedenken — und dies wird unten noch zu besprechen sein, — dass innerhalb selbst ziemlich weiter Temperaturgrenzen die O-Zehrung des Muskels fast unabhängig von der Temperatur genannt werden kann. Erst bei Ueberschreitung einer gewissen Temperatur-

¹ Die einzelnen Perioden der Erwärmung und Abkühlung sind mit a, b, c, d bezeichnet.

schwelle beginnt der O-Verbrauch merkbar von der Temperatur beeinflusst zu werden.

Vergleicht man also Temperaturdifferenzen, welche mit ihrem niedrigsten Temperaturwerth über oder unter die Temperaturschwelle fallen, so kann der für 1° berechnete Zuwachs des Sauerstoffconsums nicht der gleiche sein. In der That entsprechen einer derartigen Erklärung die vorliegenden Zahlen, indem Maxima und Minima der Temperatur sehr verschiedene absolute Werthe aufweisen. Sonach muss man auch schliessen, dass für den Zuwachs des O-Consums mit Zunahme der Temperatur bei meinen Versuchen keine allgemein gültige Constante angegeben werden kann.

Tabelle XIV.

Bezeichnung des Versuchs.	Temperatur	Cem. CO ₂ in einer Min. in einer Min. pro ein Kilo.	O-Verbr. in einer Min. pro ein Kilo.	Temperatur mittel.	Mittelwerth für CO ₂ Proc. für O-Consum: 0° 1 m Druck. 0° 1 m Druck.	Mittelwerth für O-Consum: 0° 1 m Druck. 0° 1 m Druck.
IX. b	6.4	0.80	0.25	7.9	0.61	0.19
VIII. b	7.2	0.36	0.08			
X. b	8.6	0.70	0.25			
VII. c	9.5	0.57	0.16			
VII. a	10.4	0.35	0.15	12.2	0.64	0.19
VI. c	12.2	0.72	—			
VI. a	14.0	0.85	0.23			
VI. d	25.1	0.72	—	26.2	0.48	(0.25)
VI. b	25.3	0.46	—			
VII. d	28.2	0.25	0.25			
VII. b	31.2	0.15	0.24	33.8	0.63	0.50
VIII. a	33.7	0.65	0.39			
X. c	34.2	0.61	0.56			
X. a	36.0	1.11	0.81			
IX. c	38.2	0.41	0.56	38.8	0.75	0.78
IX. a	39.5	1.10	1.00			

Einen leichteren Ueberblick über die besprochenen Verhältnisse gewinnt man bei passender Combination aller Einzelversuche. Dazu ist eine

Umrechnung der letzteren Werthe auf absolute Werthe nöthig; da in allen Versuchen die verwendete Muskelmasse bekannt war, ergeben sich keine weiteren Schwierigkeiten. Ich habe in folgender Tabelle die Angaben pro 1 Kilo Muskel, pro 1 Stunde Zeit und in Ccm bei 0° und 760^{mm} Druck eingetragen, weil die meisten Zahlen für Ergebnisse der Respiration auf die gleichen Einheiten zurück geführt worden sind.

Tabelle XV.

Temperatur mittel.	CO ₂ in Ccm. bei 0° und 760 ^{mm} pro Kilo und St.	O in Ccm. bei 0° und 760 ^{mm} pro Kilo und St.
7.9	48.12	15.00
12.2	50.52	15.00
26.2	37.86	19.74
33.8	49.80	39.42
38.8	59.16	61.56

Man darf diese Zahlen nun nicht ohne weitere Kritik hinnehmen; da alle Muskeln mit der Zeit eine Abnahme ihrer Respirationsgrösse zeigen, so enthält die Rubrik der Sauerstoffzehrung Zahlen, welche von zwei Factoren abhängig sind.

- 1) von dem Einfluss der Temperatur;
- 2) von dem Einfluss der Schädigung durch vorhergehende Abkühlung.

Die zweite Einwirkung liesse sich eliminiren, wenn für jedes Temperaturintervall eine Reihe von Muskeln in verschiedenen Zuständen der Durchspülung zur Beobachtung gekommen wären. Dies trifft in der That für manche Reihen zu, doch nicht für alle. Es stört aber diese Ungleichheit des Muskelzustandes nicht sehr, wie sich leicht zeigen lässt.

In der ersten Gruppe von Zahlen, welche die Versuche zwischen 6.4 bis 9.5° C umfasst, sind nur solche enthalten, welche bereits längere Zeit durchspülte Muskeln betreffen. Man könnte nun vermuthen, die Bestimmung der Sauerstoffzehrung sei zu niedrig ausgefallen. Wie nun die Zusammenstellung mit der folgenden Gruppe (10.4° bis 14.0°) darthut, ist dies aber nicht der Fall; denn obschon die zweite Gruppe zwei Versuche enthält, welche gleich nach dem Abtrennen des Muskels vom Körper angestellt wurden, zur Bildung der Mittelzahl verwendet sind, erkennt man, dass die O-Zehrung doch nicht grösser ist als in der ersten Reihe. Für das Intervall 25.1 bis 28.2° steht leider nur ein Versuch aus einer späten Versuchszeit zur Verfügung. Hier dürfte wohl die Respirationsgrösse

etwas zu klein ausgefallen sein, weil ausserdem noch die Zahl dem Muskel VII zugehört, welche eine auffallende kleine O-Zehrung hatte, da er schon früher zweimal dem schädigenden Einflüsse niedriger Temperaturen ausgesetzt war. Die beiden anderen Gruppen geben zu keiner weiteren Erinnerung Veranlassung.

Man erkennt nun zweifellos, dass innerhalb weiter Temperaturgrenzen von 6.4° bis 14.0° mit aller Sicherheit die Sauerstoffzehrung des durchbluteten Hundemuskels von der Temperatur unbeeinflusst bleibt. Betrachtet man 12.2° in Mittel als Temperaturschwelle für die Sauerstoffzehrung, so hätte man für das Temperaturintervall 12.2 bis 33.8° = 21.6° Differenz + 162.8 ProcentZuwachs = 7.5 Procent pro 1° C. Temperaturzuwachs und für 33.8 bis 38.8° = 5° Differenz + 56.1 ProcentZuwachs = 11.2 Procent pro 1° C. Die beiden Zahlen sind also ziemlich übereinstimmend; ob man schliessen könne, bei einer Körpertemperatur nahen Erwärmung nähme die O-Zehrung rascher zu als zwischen 12.2 bis 33.8°, lasse ich dahin gestellt.

Berechnet man den mittleren Werth für die Steigerung von 12.2° bis 38.8°, so hat man für das Intervall 26.6 + 310.4 Procent = 11.6 Procent pro 1° C. In allen Fällen konnte bei dem für Reize völlig unempfindlichen Muskel mit aller Sicherheit noch eine Sauerstoffzehrung nachgewiesen werden. Sie lässt sich nicht allein chemisch darthun, sondern wird auch dem Auge bei Vergleichung des zuffliessenden und des abströmenden Blutes bemerkbar. Die O-Zehrung des durch Kälte völlig unerregbar gewordenen Muskels ist nicht kleiner als man sie bei Thieren beobachtet hat, die bei abnorm niedrigen Temperaturen untersucht worden sind.

Es muss selbstverständlich eine weitere Grenze geben, bei welcher jegliche Sauerstoffzehrung durch den Muskel aufgehoben wird. Die langsame Abkühlung des Muskels war die Ursache warum in meinen Versuchen diese Grenze nicht hat erreicht werden können. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass Hermann¹ in der Deutung seiner Versuche mit dem Froschmuskel zu weit gegangen ist, wenn er alle Sauerstoffzehrung bei diesem auf Ursachen bezieht, „welche für die Lebensprocesse des Muskels keine Rolle spielen,“ wenn auch die Berechtigung zu einer derartigen Schlussfolgerung ziemlich nahelegend schien.

b) Die Kohlensäurebildung.

Wesentlich anders als für die O-Zehrung liegen die Verhältnisse für die Kohlensäurebildung. Wenden wir uns auch

¹ Siehe die Versuche Regnault's, Baumert's und Jolyet-Regnard's.

² A. a. O. S. 39 und 66.

wieder zunächst an die Betrachtung der einzelnen Versuche, so erkennen wir dass sämtliche Reihen bei welchen die Temperatur variiert wurde (ausgenommen VI), gar keinen Einfluss der ersteren erkennen lassen, vielmehr findet man im Verlaufe einer Durchspülung ein mehr oder minder beschleunigtes Absinken der CO_2 -Bildung, das vermuthlich auf einer Schädigung des Muskels durch die rasch variierte Temperatur zurückgeführt werden muss; dass letztere auch die O-Zehrung schädigt, wurde schon besprochen.

Es ist nur in einem Versuche eine Erwärmung auf die CO_2 -Bildung vorhanden, es scheint als ob bei der Erwärmung in diesem Falle sogar weniger CO_2 gebildet worden sei als in der Kälte. Diese Einwirkung ist aber in den späteren Versuchen nicht mehr so kräftig hervorgetreten. Die CO_2 -Bildung ist also von wesentlich anderen Momenten abhängig als die O-Zehrung. Nahe der Körpertemperatur scheint allerdings eine gewisse Zunahme der CO_2 -Bildung bei Zunahme der Erwärmung einzutreten. Die etwas niedrige Zahl 0.48 in Tabelle XIV auf S. 57 beruht zweifellos darauf, dass sie die Mittelzahl von Einzelversuchen ist, welche mit einem durch den Wechsel der Temperatur bereits geschädigten Muskel ausgeführt worden sind. Die Steigerung der CO_2 -Production bei dem Ansteigen von 38.8° auf 38.8° ist zwar nicht bedeutend, doch darf sie als sicher gestellt betrachtet werden.

Die vorliegenden Thatsachen beweisen also, dass man durch Einwirkung abnorm niedriger Temperaturen, die Fähigkeit des Muskels Sauerstoff zu zehren sowie seine Reizbarkeit aufheben kann; die niedrige Temperatur vermag aber die Kohlensäurebildung nicht zu hemmen.¹ Die Prozesse der Kohlensäurebildung sind also nicht nur unabhängig von der Anwesenheit des Sauerstoffes, wie aus anderen Beobachtungen z. B. denen Hermann's² und Minot's³ zu entnehmen war, sie sind auch in gewissen Grenzen beim Säugethiermuskel unabhängig von der Wärme. Man wird aber auch für die CO_2 -Bildung eine untere Grenze finden können, bei welcher dieselbe aufhört.

Es wäre sehr interessant zu wissen, ob CO_2 -Bildung und jene ausserordentlich kleine O-Zehrung, welche die tief abgekühlten Muskeln zeigten, wirklich bei den nämlichen Temperaturen beginnen oder nicht? Die Temperatur bei welcher die O-Zehrung aber in die Zersetzung energisch eingreift, und jene Temperatur, bei welcher auch die CO_2 ein merkliches Steigen mit der Temperatur zeigt (nahe der Körpertemperatur), liegen weit

¹ Das Verhalten der CO_2 -Bildung zeigt nicht im Geringsten eine Aehnlichkeit mit einem Dissociationsprocess.

² A. a. O.

³ Ludwig's Arbeiten.

auseinander, indem erstere zwischen 12 bis 25°, letztere nahe der Körpertemperatur sich befindet.

Es lassen sich also auch mit Hilfe der Einwirkung der Temperatur die zwei wichtigen Eigenschaften der Muskelsubstanz

- 1) unabhängig vom O-Verbrauch CO_2 zu bilden (niedere Temperatur),
- 2) kräftige Oxydationswirkungen zu entfalten (bei hoher Temperatur) darthun.

Die Verschiedenheit der chemischen Prozesse drückt sich am deutlichsten aus, wenn man die respiratorischen Quotienten bei den verschiedenen Temperaturen betrachtet.

Tabelle XVI.

t in 0° C. des abfluss. Blutes.	Resp.-Quotient.	Mittlerer Werth für t.	Mittlerer Werth für R.-Q.
6.4	3.11	} 8.4	} 3.28
7.2	4.56		
8.6	2.78		
9.5	3.51		
10.4	2.43		
28.2	1.01	28.2	1.01
31.2	0.63	} 33.8	} 1.18
33.7	1.65		
34.3	1.09		
36.0	1.36		
38.2	0.73	} 38.8	} 0.91
39.5	1.10		

Bei niedriger Temperatur sind die Quotienten so hoch, dass sie niemals durch oxydative Spaltung irgend einer Substanz erklärt werden können; mit dem Steigen der Temperatur nähert sich der Quotient Werthen, welche auch bei unversehrten Thieren erhalten werden.

c) Allgemeine Betrachtungen über die Muskelrespiration.

Das Ueberwiegen der CO_2 -Production über die O-Aufnahme ist von vielen anderen Autoren schon für den Froshmuskel angegeben worden, so von Liebig, Hermann; desgleichen ist auch in den Versuchen von

Ludwig und Sezelkow, von Ludwig und C. Schmidt und bei Minot für den Säugethiermuskel Aehnliches angegeben worden. Diese Ergebnisse sind durch Versuche, welche an ganzen Thieren angestellt wurden von Pflüger, Aubert, bei Warmblütern auch von Hertter bestätigt worden. In all den aufgeführten Fällen hat es sich um das Ueberwiegen der CO_2 -Production nach Entziehung von O oder bei ungenügender O-Zufuhr gehandelt. Hierzu kommt also noch die von mir constatirte Thatsache, dass eine bedeutende Abkühlung des Muskels wie eine O-Entziehung wirkt.

Zuerst hat für diese Verhältnisse Hermann¹ eine richtige Vorstellung geweckt, indem er auf Analogien mit Gährungsvorgängen hinwies. Er nahm den Zerfall einer complicirten Substanz an, deren Zerfallsproducte Myosin, CO_2 und Milchsäure sein sollten; von dieser Substanz befindet sich in jedem ausgeschnittenen Muskel eine gewisse Menge, Wärme beschleunigt die Zersetzung der Substanz; sie wird durch Blutbestandtheile und O wieder regenerirt. Dadurch ist nun der Lebensprocess wesentlich von einem Gährungsprocess verschieden, da bei den eigentlichen Gärungen die Aufnahme von O gar nicht nöthig ist. Die fictive Muskelsubstanz kann also nur in dem Momente der Zerlegung mit manchen Gährungsprocessen in Parallele gestellt werden; beide haben gemeinsam: Freiwerden von Spannkraft ohne Aufnahme von O. Mit Hermann's Hypothese lassen sich viele Erscheinungen in guten Einklang bringen; aber die neueren Untersuchungen über die Milchsäurebildung bei der Starre und beim Tetanus und die nähere Kenntniss des Myosins, die Beziehung des Myosins zur Gerüstsubstanz, haben nicht zur Befestigung der ersten beigetragen, indem sie die Analogien zwischen Starre und Contraction nicht vermehrten. Auch die von mir gefundenen Thatsachen stehen mit Hermann's Hypothese nicht recht im Einklang; man versteht nicht, warum dann die CO_2 -Bildung gar nicht in irgend einem Zusammenhang mit der Erwärmung steht, während doch der Sauerstoff von gewissen Grenzen ab die bestimmteste Abhängigkeit von der Wärme zeigt.

Soll man eine durch die Wärme hervorgerufene Neubildung der fictiven Substanz unter O-Aufnahme annehmen, wenn noch gar keine vermehrte Zersetzung derselben in der CO_2 -Bildung nachweisbar ist? Mir ist auch durch verschiedene andere Beobachtungen am normalen Thier nicht wahrscheinlich, dass jene Moleküle, welche ernährend wirken, in ein Eiweissmolekül als Bestandtheile eingetreten sein müssten, wie Hermann's Hypothese fordert.

Es lassen sich nun alle gefundenen Thatsachen in einfacher Weise erklären, ohne weit von diesen mit einer Hypothese auszuweichen. Das

Paradoxe einer mit der Temperatur nicht variablen CO_2 -Ausscheidung verschwindet, wenn man sich klar legt, dass die bei verschiedenen Temperaturen ausgeschiedenen CO_2 -Moleküle nicht gleichwerthig zu sein brauchen. Wie das gleichzeitige Verhalten des Sauerstoffs lehrt, sind die bei niedriger Temperatur im Muskel auftretenden CO_2 -Moleküle eines auf einen Gährungsprocess zurückzuführenden Ursprungs; wahrscheinlich ist es aber nicht bloss eine Substanz, welche zerlegt wird, sondern, es kommen vielmehr mannigfaltige Spaltungen vor; sie haben das Gemeinsame, dass kein O¹ benöthigt wird.

Beim Steigen der Temperatur nimmt die Zahl der durch einem Gährungsvorgang erzeugten CO_2 -Moleküle ab, die directe Oxydation des C wohl, auch die von H treten ein.

Wenn nun wie anderweitige Schlussfolgerungen dargethan haben, das Wesentliche des Lebensvorganges nur in den Uebertragungen der Kraft auf die-Zellen-zu-suchen, beziehungsweise danach zu bemessen ist, so ist es begreiflich, dass die Ausscheidung von CO_2 bei einem Gährungsvorgange, welche mit relativ unbedeutender Entwicklung von Kraft verläuft, schon durch oxydative Vorgänge geringer Ausdehnung vollkommen ersetzt werden kann. Der Unterschied wird selbst dann ein wesentlicher bleiben, wenn der Gährungsvorgang etwa nicht allein in Abspaltung von CO_2 , sondern auch in Abspaltung von H besteht, obschon in diesen Fällen durch Reduktion O-haltiger Verbindungen ausser der Spaltungswärme noch weiterer Wärmezuwachs auftreten kann. Wir nehmen also an, dass dem Muskel die zweifache Fähigkeit zukomme:

- 1) Gährungsvorgänge (in engstem Sinne) einzuleiten
- 2) Oxydative Spaltungen herbeizuführen.

Wie weit letzter Vorgang durch die Zelle selbst eingeleitet wird, lässt sich nicht sagen; man könnte sich recht wohl auch denken, dass jederzeit der erste Hebel zur Zerlegung durch den Gährungsvorgang eingesetzt wird; ein weiterer Zerfall der Gruppe könnte dann in ähnlicher Weise stattfinden, wie Hoppe-Seyler manche Stoffe, bei deren Zerlegung H frei wird, durch den activirten O zerfallen lässt. Ob jemals im Säugethiermuskel ein Gährungsvorgang ohne die Aufnahme jeder Spur Sauerstoff stattfindet, ist durch meine Versuche nicht bewiesen.

d. Beziehungen der Muskelrespiration zur Respiration des Gesamtkörpers eines Thieres.

Es ist von grossem Interesse, der vielfach angestrebten Frage über die Grösse der Respiration einiger Organe etwas näher zu treten; wir wollen

¹ Oder nur äusserst wenig.

versuchen, ob sich auf Grund der gemachten Experimente irgend etwas über die Grösse der Betheiligung der Muskeln an der Gesamtrrespiration eines in Ruhe befindlichen Thieres aussagen lasse. Es sind vielfach Versuche gemacht worden diese Grösse zu bestimmen.

Wenn man von denjenigen Verfahren absieht, welche wegen der unzureichenden Methodik oder falschen Versuchsanordnung keine Bedeutung haben, so bleibt etwa zunächst das Bestreben J. Ranke's, welcher aus der Blutvertheilung Schlüsse auf die Betheiligung am O-Verbrauch ziehen wollte.

Ohne Kenntniss der Blutgeschwindigkeiten und des Gasgehalts des Blutes lässt sich aber Nichts beweisen. Ranke hat auch mit Hilfe eines kleinen Respirationapparates die CO_2 -Ausscheidung des Frosches untersucht und das gleiche Thier dann nach der Amputation eines Beines wieder zu einem Respirationsversuch verwendet. Der Ausfall in der CO_2 -Production zeigte sodann die Betheiligung des Organes an der CO_2 -Bildung an. Er rechnet dabei so, dass er annimmt 11 Procent des Körpers beständen aus Drüsen, 89 Procent träfen auf den „Bewegungsapparat“. Unter letzterem sind nicht nur Muskeln, sondern offenbar auch Knochen-, Haut- und Bindegewebe gemeint. Nun finden sich für den Bewegungsapparat nur 60 Procent der gesamten CO_2 -Production; 40 Procent treffen auf die Drüsen. Man kann freilich vermuthen, dass die Versuche nicht ganz rein den Ausfall der CO_2 -Bildung, welcher durch die Muskeln erzeugt worden ist, zeigen; denn möglicherweise verhalten sich doch auch die Frösche nicht ganz indifferent gegen die Amputation eines Beines, und jeder bedingte Reizzustand hätte wohl auch den Abfall der CO_2 -Bildung zu klein erscheinen lassen.

Eine feinere Methode zur Bestimmung der Betheiligung des Muskels aus respiratorischen Gasaustausches ist offenbar die Curarisirung eines Thieres. Auch wenn man den Abfall der Körpertemperatur der vergifteten Thiere durch Einsenken in ein warmes Bad hintanhält, fällt die Sauerstoffzehrung um 35.5 Procent ab, verglichen mit der Sauerstoffzehrung eines Thieres, welches schon solange es unvergiftet war, in einem warmen Bade gehalten wurde.

Das ist also eine ganz wesentliche Herabsetzung, bedingt durch den Ausfall aller jener Prozesse, welche im Säugethiermuskel durch Vermittelung der Nerven hervorgerufen werden. Eine genaue Bestimmung der Betheiligung der Muskeln an der Respiration geben aber auch Versuche mit Curare nicht. Man muss vielmehr noch bedenken, dass auch die curarisirten Muskeln eine gewisse Grösse der Respiration zeigen. Es ist nun keinem Zweifel unterworfen, dass zwischen curarisirten Muskeln und solchen, deren Nerv durchschnitten ist, kein Unterschied in der Respirationsgrösse vorhanden ist. Da nun aber bei der Durchspülung des Hundemuskels bei

meinen Versuchen offenbar jener Gaswechsel untersucht wurde, welchen auch vom Nerven getrennte Muskeln zeigen würden, so füllen diese Beobachtungen, jene Lücken aus, welche die Versuche mit Curare gelassen haben. Meine Versuche haben zwar dieses Endziel nicht angestrebt; es ist aber doch von einigem Interesse, etwas Näheres über die Betheiligung der Muskeln an der Respiration zu erfahren.

Man kann etwa folgende Berechnung anstellen:

Normale Kaninchen zehren wenn sie in ein Bad von 39°C versenkt sind, nach Finkler und Örtmann $673.2\text{ cm}^3\text{ O}$ bei 0° und 760 mm Druck. Da nun Kaninchen etwa 13 Procent Ballast im Darm haben, so trifft auf 1 Kilo darmreines Thier $773\text{ cm}^3\text{ O}$. Die complete Curarisirung vermindert die Oxydation auf $436.2\text{ cm}^3 = 501\text{ cm}^3\text{ O}$ pro 1 Kilo darmreines Thier.

Wie gross ist nun aber die O-Zehrung der in dem Thier befindlichen curarisirten Muskeln? Aus meinen Versuchen muss, wie leicht einzusehen ist, jene Zahl ausgewählt werden, welche der Temperatur 39° am nächsten liegt; es muss ferner berücksichtigt werden, dass die Zahl nicht einem Muskel entlehnt sein darf, der vorher abgekühlt war, weil dadurch ja die Lebensgemeinschaften geschwächt worden sind. Diesen Bedingungen entspricht die bei 39.5° bestimmte O-Zehrung mit $78.6\text{ cm}^3\text{ O}$ pro 1 Kilo Muskel.

Wenn nun 1 Kilo darmreines Thier 45 Procent Muskeln enthält, so zehrt die in einem Kilo Thier enthaltene Muskelmasse $35.4\text{ cm}^3\text{ O}$. Da also 1 Kilo curarisirtes Thier $501\text{ cm}^3\text{ O}$ zehrt, aber 35.4 cm^3 auf O-Zehrung durch die Muskelsubstanz kommen, so verbleiben demnach 465.6 cm^3 , welche für Drüsen, Knochen u. s. w. zu rechnen sind, d. i. rund 60 Procent; 40 Procent entsprechen den unversehrten Muskeln. Aus diesen Zahlen kann man auch ableiten, dass 88 Procent der im Muskel ablaufenden Prozesse dem Nervenfluss unterstehen, 12 Procent dagegen nicht.

Man wird die Respirationsverhältnisse des künstlich durchbluteten Warmblütermuskels vielleicht auffallend finden, wenn man die Respiration unversehrter Thiere betrachtet, deren Temperatur stark erniedrigt ist, z. B. winterschlafender Murmelthiere oder Kaltblüter mit niedriger Temperatur. Was die ersteren anlangt, so sind die in ihnen ablaufenden Prozesse ganz andere als bei den warmblütigen Thieren, weil sie O aufzuspeichern vermögen; wie bekannt zeigen sie auffallend niedrige respiratorische Quotienten. Mit den Kaltblütern aber kann eine genaue Uebereinstimmung in allen Eigenschaften nicht wohl erwartet werden.

Im O-Verbrauch ist allerdings bei den niedrigsten Temperaturen kein Unterschied zwischen dem abgekühlten Muskel und einem Kaltblüter. Dagegen zeigt der Säugethiermuskel eine viel grössere CO_2 -Bildung, wie kalt gehaltene unversehrte Thiere. Bei fortschreitender Erwärmung verhalten

sich aber letztere wesentlich anders als der Muskel; ihre O-Zehrung wächst rasch. Diese Verschiedenheit beruht zweifellos auf der Zunahme der Erregbarkeit des Nervensystems der Kaltblüter bei Zunahme der Temperatur.

Man könnte aber auch auf den Gedanken kommen Vergleiche mit den von Velten¹ angestellten Versuchen zu ziehen, welcher die Respirationsproducte verschieden temperirter, curarisirter Kaninchen (bis 22° C herab) untersucht hat. Hier hinkt ein Vergleich erst recht, indem es sich da bei zunächst um Thiere handelt, deren Muskelrespiration fast Null ist; ausserdem aber erstrecken sich seine Versuche nur bis 22°. Die Resultate stehen aber trotzdem nicht in Widerspruch mit den meinen, für das gleiche Temperaturintervall ausgeführten. Die respiratorischen Quotienten zeigen besonders bei den niederen Temperaturen häufig wie in meinen Fällen einen Werth, welcher über 1.0 liegt.

Dies drückt sich allerdings in den Generaltabellen nicht so aus; man kann sich aber davon überzeugen, wenn man aus den Einzelversuchen sich selbst die Quotienten berechnet.

¹ Pflüger's *Archiv*. Bd. XXI. S. 361 ff.

Untersuchungen zur Mechanik des quergestreiften Muskels.

Zweite Abhandlung.¹

Von

J. v. Kries.

(Nach Versuchen von Dr. med. Hochhaus).

Aus dem physiologischen Institut zu Freiburg i. Br.

Die Abhängigkeit der Muskelthätigkeit von den mechanischen Bedingungen, unter welchen der Muskel arbeitet, ist bis jetzt sehr wenig erforscht. In früheren Untersuchungen² habe ich gezeigt, dass die Weber'sche (oder Fick'sche) Schematisirung zum Verständniss der Zuckungen, die ein Muskel bei gleichem Reize unter verschiedenen mechanischen Bedingungen ausführt, in keiner Weise ausreicht. Aus mehreren Versuchsmethoden ergaben sich dort gewisse, jenem Schema gegenüberzustellende theoretische Vorstellungen; aber auch diese sind zu allgemein, als dass man sie verwenden könnte, um weitere Fragen dieses Gebietes mit quantitativen Angaben zu beantworten, gerade wie auch die Fick'sche Vorstellung dies nur leisten könnte, wenn ein angebbares und allgemein gültiges Functionalverhältniss zwischen Dehnbarkeit und natürlicher Länge sich hätte auffinden lassen. Es scheint mir deshalb von Wichtigkeit, zunächst ganz ohne theoretischen Ausblick eine Anzahl empirischer Regeln in diesem Gebiete zu gewinnen, welche vielleicht, wenn sie erst in einer gewissen Reichhaltigkeit vorhanden sind, eine mehr oder weniger vollständige Kenntniss der einschlägigen Verhältnisse repräsentiren können.

¹ Vgl. *dies Archiv*. 1880. S. 348.

² A. a. O. S. 350.