

# Das Verhalten der Gase, welche mit dem Blut durch den reizbaren Säugethiermuskel strömen.

Von

**C. Ludwig und Alex. Schmidt.**

---

Die Beziehung des Muskels zu dem Sauerstoff und der Kohlensäure hat man auf verschiedenen Wegen genauer darzustellen versucht. Das scheinbar zugänglichste Mittel schien vielen Beobachtern darin zu bestehen, dass sie die Gasvolumina ausmassen, welche in der Athmung des gesammten Körpers verkehren. Hierdurch können jedoch nur beschränkte und, soweit es sich um das Leben des Muskels handelt, nur unsichere Aufschlüsse gewonnen werden. Beschränkt sind die Ergebnisse darum, weil auf diesem Wege nur aus dem Unterschiede in der Gasbewegung und eines ruhenden oder in Muskelbewegung begriffenen Thieres zu schliessen ist, welchen Zuwachs der Gasaustausch durch die Muskelthätigkeit gewonnen hat. Dieses Resultat kann allerdings mit Sicherheit festgestellt werden.

So werthvoll dasselbe für die Beurtheilung des gesammten Stoffwechsels werden mag, so wenig leistet es für die Erkenntniss derjenigen Oxydationen, durch welche sich der ruhende von dem zuckenden Muskel unterscheidet. Wenn man, wie es gewöhnlich geschieht, annimmt, dass der Unterschied in Gewinn und Verlust von Kohlensäure und Sauerstoff den Zuckungen der Muskeln allein zugeschrieben werden müsse, so geschieht dieses mittelst der unbewiesenen Unterstellung, dass indess die Athmungsvorgänge in den Gefässprovinzen ausserhalb der Muskeln durchaus unverändert geblieben seien. Wenn aber, wie sich zeigen wird, dieses nicht der Fall ist, so lehren die Differenzbestimmungen des gesammten Gasaustausches während der Ruhe und der Bewegungen der Muskeln wenig oder nichts über den Antheil, den die Vorgänge innerhalb des Muskels selbst an dem vermehrten Gasaustausche nehmen.

Dem letztgenannten Ziele nähern sich, wie es auf den ersten Blick scheinen könnte, die Resultate einer anderen Methode. Wir meinen damit diejenige, welche unmittelbar das Blut auffängt, welches zu und von den ruhenden oder bewegten Muskeln eines lebenden Thieres strömt. Bei Anwendung dieses Verfahrens wird allerdings das gewonnene Resultat unabhängig von den Störungen, die möglicherweise durch andere Organe eingeführt werden können, es bleibt dagegen behaftet mit denjenigen Unsicherheiten, die aus dem veränderlichen Blutstrom innerhalb der Muskeln selbst erwachsen; von diesen kann es auch nicht unabhängig gemacht werden, weil es unmöglich ist am lebenden Thier den Blutstrom nach Belieben zu regeln. Den Erfahrungen entsprechend, welche in dieser Abhandlung zur Sprache kommen, können wir den Beobachtungen, die auf diese Weise gewonnen sind, einen nur qualitativen Werth zusprechen. Diese Bemerkung soll natürlich die Bedeutung der Resultate, die aus der Untersuchung des lebenden Muskelblutes gewonnen sind, nicht herabsetzen. Wer könnte die Wichtigkeit der von *Setschenow* gefundenen Thatsache bestreiten, dass ein Muskel, welcher von O-freiem Blut durchströmt wird, noch zu lebhaften Zuckungen veranlasst werden kann, oder der von *Sczelkow* beobachteten Erscheinungen<sup>β</sup>, dass der zuckende Muskel einen viel umfänglicheren Gasumtausch einleitet als der ruhende, oder endlich die Erfahrung von *A. Schmidt* unterschätzen, dass das O-freie Blut aus dem zuckenden Muskel grössere Quantitäten eines im Blut selbst oxydirbaren Stoffes hinwegführt als aus dem ruhenden?

Die Einwände, welche man aus diesem oder jenem Grunde gegen die bisher erwähnten Beobachtungsmittel erheben kann, dürften Veranlassung gewesen sein, dass man zur Lösung unseres Problems noch den dritten Weg eingeschlagen, auf welchem das Verhalten des isolirten Muskels als Verzehrter und Bildner von O und CO<sub>2</sub> ermittelt werden könnte. Diese Methode, welche zuerst von *du Bois* nach ihrer ganzen Bedeutung gewürdigt wurde, hat *G. v. Liebig*, *Valentin*, *Matteucci* und *L. Hermann* in der That zu sehr bedeutungsvollen Resultaten geführt, namentlich hat *L. Hermann* bei seinen Untersuchungen über den Gaswechsel in den Muskeln auf eine grosse Zahl sehr wichtiger Thatsachen hingewiesen, von denen wir hier eine Uebersicht nach den eigenen Worten des Verfassers geben.

Die erste Reihe der Resultate *Hermanns*, welche sich auf die Gase bezieht, die man aus dem blutfreien Muskel erhalten kann, lautet folgendermassen.

»Ausgeschnittene, möglichst unveränderte Froschmuskeln enthalten keinen auspumpbaren O —, sie enthalten kleine vermuthlich einfach absorbirte Mengen N —, sie enthalten geringe Mengen freier und festgebundener CO<sub>2</sub>, letztere wahrscheinlich nicht dem Muskelinhalt angehörig. — Durch das allmähliche oder plötzliche Erstarren wird eine bedeutende Menge frei auftretenden CO<sub>2</sub> im Muskel gebildet, — dasselbe geschieht beim Tetanus des Muskels. — Die durch den Tetanus gebildete CO<sub>2</sub> erreicht nicht die bei gleichen Muskeln durch die Starre producirbaren Mengen. — Tritt nach dem Tetanus die Starre ein, so wird hierbei in Vergleich zur directen Erstarrung um so viel weniger CO<sub>2</sub> gebildet als während des Tetanus bereits entstanden ist. — Bei der Fäulniss tritt in dem Muskel eine neue Gasentwicklung ein, hauptsächlich von CO<sub>2</sub> und N in bestimmtem, aber im Laufe des Processes sich änderndem Mengenverhältniss.«

Aus einer andern Reihe von Beobachtungen über den Gaswechsel ausgeschnittener Froschmuskeln in O-haltigen Gasgemengen zieht *L. Hermann* folgende Schlüsse. »Die Sauerstoffaufnahme ausgeschnittener entbluteter Froschmuskeln beruht auf einer sofort nach der Entfernung aus dem Körper beginnenden Zersetzung der Oberfläche und namentlich etwa freiliegender Querschnitte des Muskels. Sie nimmt mit dem Vorschreiten der Fäulniss zu. Eine mit den Lebensprozessen des Muskels zusammenhängende O-Verzehrung lässt sich nicht nachweisen; wenn sie vorhanden ist, so kann sie nur verschwindend klein sein.

»Jene Sauerstoffaufnahme wird durch Bewegungen des Muskels in der umgebenden Luft, wodurch er stets mit neuen Schichten derselben in Berührung kommt, vergrössert; eine mit dem Contractionsvorgange zusammenhängende Vermehrung der O-Aufnahme ist nicht nachzuweisen und kann, wenn sie vorhanden ist, nur verschwindend klein sein. — Die CO<sub>2</sub> Abgabe des ausgeschnittenen Muskels rührt zum Theil von den Zersetzungsprozessen seiner Oberfläche, zum Theil aber von der Ausscheidung physiologisch gebildeter CO<sub>2</sub> her; der letztere Antheil wird erst dann nachweisbar, wenn durch Starre oder Contraction eine vermehrte Bildung von CO<sub>2</sub> im Muskel erfolgt.«

Ueber den Einfluss, den die umgebende Atmosphäre auf die Erregbarkeit des ausgeschnittenen Muskels ausübt, theilt *L. Hermann* Folgendes mit. »Die Gegenwart von O vermag das Absterben ausgeschnittener Muskeln etwas hinaus zu schieben. — Diese Wirkung des O ist nicht nachweisbar, wenn die Muskeln anhaltend in Thätigkeit erhalten werden. — Gleichzeitig existirt eine den Tod beschleunigende Wirkung des O durch Zerstörung der oberflächlichen Schicht. Bei dünnen Muskeln überwiegt diese zerstörende Wirkung über die erhaltende. — H, N, NO, CO sind für den Muskel indifferente Gase. CO<sub>2</sub> wirkt auf ihn wie jede Säure.«

Mit diesen Erfahrungen kann das, was uns vom Gasleben des Muskels zu wissen nothwendig ist, offenbar noch nicht abgeschlossen sein: dafür spricht der Umstand, dass die Erfahrungen, die an lebendigem Muskelblut gewonnen sind, nach mehreren Richtungen hin von den durch *Hermann* ermittelten abweichen. Abgesehen hiervon betreffen die Beobachtungen einen Muskel, der im Absterben begriffen und insbesondere einen solchen, der seines normalen Tauschmittels für die Gase entbehrt.

In Anbetracht dessen schien es uns zweckmässig ein neues Verfahren zur Lösung der Aufgabe zu versuchen. Das Princip desselben bestand darin, einen künstlichen Strom frischen, faserstofffreien Blutes durch den eben ausgeschnittenen Muskel zu leiten, diesen letztern hierdurch lebendig zu erhalten und die Veränderungen zu untersuchen, welche das Blut während seines Durchganges durch den Muskel erfährt.

Die Möglichkeit dieses Verfahren erfolgreich anzuwenden setzt die Erfüllung zweier Vorbedingungen voraus. Die erste verlangt, dass der Blutstrom durch den Muskel isolirt und namentlich ohne Blutung zu erzeugen geführt werden könne, die andere aber, dass sich unter dem Einfluss des künstlichen Blutstroms die Lebenseigenschaften der Muskelsubstanz erhalten.

Als eine Muskelmasse, die sich der Regelung des Blutstroms wegen von vorn herein als zweckmässig empfahl, stellte sich uns das Herz dar. Wir griffen um so hoffnungsvoller zu ihm, als durch andere schon früher im hiesigen Laboratorium angestellte Versuche erwiesen war, dass sich das Froschherz unter dem Einfluss von Blut und Serum sehr lange schlagfähig erhält. Aber schon wenige Versuche belehrten uns, dass das

Herz ein für unsere Zwecke unbrauchbares Object sei. Dieses Organ ist von einer ungemeinen Empfindlichkeit gegen jede Unregelmässigkeit im Blutstrom. Wenn infolge dieser letzteren eine Stockung eintritt, so bilden sich sogleich Extravasate, die Lymphgefässe füllen sich mit Blutkörperchen und alsbald wird die durchströmte Muskelmasse starr. Der unmittelbar schädliche Einfluss des Stroms tritt besonders deutlich hervor, wenn man denselben nur durch eine der beiden Kranzarterien führt. Hier sieht man in der Regel schon in der vom Blut durchspülten Herzabtheilung die Starre eintreten, während die andern nicht durchströmten Abtheilungen noch pulsiren. Wir haben diesen Erfolg gesehen eben so wohl wenn wir durch das Herz des Hundes Rinder-, oder Hundeblood führten, mochte dieses auf 20° C. oder auf 36° bis 40° C. erwärmt sein.

Wir standen desshalb von der Benutzung des Herzens ab und wendeten uns zu den *m. biceps* und *semitendinosus* des Hundes, zwei Muskeln, an welchen sich der Blutstrom, wie wir indess gefunden, noch viel bequemer beherrschen liess als am Herzen.

4. Verbindung der Arterien und Venen mit dem künstlichen Blutstrom. — In den *m. biceps* treten drei bis vier Arterienäste ein. Von oben her, unmittelbar neber seinem Ursprung am Sitzbeinhöcker dringt ein starker Zweig aus der *a. hypogastrica* in ihn; ein Theil desselben versorgt auch die Abtheilung des *m. semitendinosus*, welche oberhalb seiner *inscriptio tendinea* gelegen ist. Aus der *a. cruralis*, nachdem sie auf die Hinterfläche des Oberschenkels gelangt ist, entspringen 3 bis 4 Aeste für den *m. biceps*, welche von unten her in den genannten Muskel eindringen. Diese Aeste gehen nicht unmittelbar aus dem Stamm der *a. cruralis* hervor, sondern aus einem grossen Zweig, den sie quer durch die Kniekehle sendet. Aus dieser Kniekehlarterie entsteht ferner der Ast, welcher die unterhalb der *Inscription* gelegene Abtheilung des *m. semitendinosus* versorgt und ausserdem mehrere andere für die in der Nähe angehefteten Muskeln des Ober- und Unterschenkels. Neben jedem der aufgezählten arteriellen Zweige läuft ein entsprechender venöser.

Die Vertheilung der Arterien in diesem, vielleicht in allen übrigen Muskeln bietet eine bisher noch nicht beachtete Eigenthümlichkeit. Sobald ein Arterienstämmchen zwischen die

Bündel des Muskels selbst eingetreten ist, vertheilt sie sich ausschliesslich in einer ganz bestimmten Abtheilung des Muskels, ohne Verbindungsweige zu den benachbarten Gefässen abzugeben. Dieses Verhalten legt sich sehr klar bloss, wenn man einen beliebigen der aufgezählten Zweige mit farbigen, leichtflüssigen Massen ausspritzt; man erhält hierdurch jedesmal nur eine ganz beschränkte Injection, wie lange und unter welchem Druck man auch den Strom zuführen mag. Ebenso fliesst das Blut oder jede andere der eingespritzten Massen nur durch die der injicirten Arterie entsprechende Vene ab, vorausgesetzt dass dem Fliessen aus der Vene kein Hinderniss entgegengestellt wird. Unterbindet man dagegen die Vene, welche bis dahin den einzigen Abflussweg darstellte, so entwickelt sich nun auch ein Strom in den andern Venen desselben Muskels und zwar darum, weil durch Netze kleiner Venen, welche die Muskelbündel sowohl wie die Fascie des Gesamtmuskels umspinnen, eine Verbindung zwischen den verschiedenen grössern Venenstämmen hergestellt ist. Wir unterlassen es Zeichnungen und weitere Beschreibung von den Muskeln und ihren Gefässen zu geben, da diese doch nur für den Leser von Bedeutung sein könnten, welcher unsere Versuche wiederholen wollte. Jeder aber der dies beabsichtigt, wird ohnedies gezwungen sein, sich an einem Präparat zu orientiren, wobei er die anatomischen Verhältnisse auch ohne fremde Anleitung leicht übersehen wird.

Aus den mitgetheilten Beobachtungen über den Gefässverlauf gehen selbstverständlich die Regeln hervor, nach denen man bei der Einleitung des künstlichen Blutstroms zu verfahren hat. Sowie man die Absicht hat, die gesammte Masse beider Muskeln zum Versuch zu benutzen, muss man mindestens zwei Arterienanülen einbinden: die eine in den Zweig der *a. hypogastrica*, die andere in den Kniekehlenast der *a. cruralis*. Nachdem dies geschehen, muss man sorgfältig alle Zweige zubinden, die aus den genannten Aesten zu den anliegenden Gebilden abgehen. In dieser Beziehung bietet die obere Arterie geringe Schwierigkeiten, da sie unmittelbar vor ihrem Eintritt in die *mm. biceps* und *semitendinosus* nur zum *m. ischiadicus* und in das umliegende Bindegewebe Zweige schickt. Wünscht man den Strom auf den *m. biceps* zu beschränken, so wird es nöthig auch noch den Zweig für den obern Theil des *m. semitendinosus* zu unterbinden, wobei man jedoch

zu beobachten hat, dass häufig, wenn nicht immer ein schmaler Abschnitt des Randes, welchen der *m. biceps* dem *m. semitendinosus* zukehrt, von einem Aestchen der Arterie versorgt wird, die in den letztgenannten Muskel eingeht.

Grössere Schwierigkeit bietet die Behandlung der Zweige, welche von der Kniekehle her in die Muskeln übergehen. Um die Zahl der künstlichen Zuflüsse nicht unnöthig zu mehren, haben wir von unten her nur eine Cantüle eingebunden und zwar in die Ursprungsstelle des Kniekehlenastes. Nachdem diese festsetzt, wird es nöthig die zahlreichen grösseren und kleineren Zweige zu unterbinden, welche die von Fett und einer Lymphdrüse umgebene Arterie nach verschiedenen Seiten hin ausschickt. Wir fanden es zweckmässig, diese oft mühsame Unterbindung vorzunehmen solange der Muskel und die Arterie sich noch in ihrer natürlichen Lage befanden, so dass sich die kleinen Zweige bequem spannen liessen, während man mit einem stumpfen Instrument den Stamm der Arterie isolirte.

Gerade so wie mit den Arterien ward auch mit den Venen verfahren, das heisst wir setzten nur zwei Venencantülen ein. Auf die Art, wie je zwei gleichnamige Gefässe mit einander verbunden und wie jede der gemeinsamen Röhren weiter behandelt wurden, kommen wir sogleich zurück.

Nachdem die Cantülen eingesetzt und die schädlichen Zweige unterbunden waren, lösten wir die Muskeln vom Schenkel ab, wobei wir uns mit dem Messer sorgfältig nur in den Fascialgebilden hielten. Waren sie vom Oberschenkel losgelöst, so dass sie nur noch durch ihren Ursprung am Sitzbeinhöcker mit den übrigen Körpern in Verbindung standen, so sägten wir den Sitzbeinhöcker aus, so dass dieser mit den herausgenommenen Muskeln verbunden blieb. War dieses geschehen, so unterbanden wir die grössern der Venenzweige, welche aus der Fläche des *m. biceps* hervorgehen, die er der Haut zuwendet, und betupften mit concentrirtem Eisenchlorid den Sägeschnitt des Knochens oder bedeckten den letztern mit einem Streifen Fliesspapiers, das mit Eisenchlorid getränkt war.

Alsdann setzten wir an jede Arterien-cantüle ein biegsames schwarzes Kautschukrohr, führten beide an zwei Zinken einer hohlen Glasgabel, den dritten Zinken der letzteren verbanden wir durch ein schwarzes Kautschukrohr mit der Glasflasche, welche das defibrinirte O-reiche Blut des Hundes enthielt. Auf

dieselbe Weise leiteten wir auch die beiden Venen in ein Rohr zusammen.

Durch den Muskel, der mit seiner der Haut zugewendeten Fläche auf einer starken Glasplatte lag, leiteten wir jetzt defibrinirtes Blut hindurch, theils in der Absicht, um das Blut, welches noch vom lebenden Zustand her in den Gefässen war, zu entfernen, weil dieses sonst Veranlassung zur Verstopfung gegeben hätte, wenn es später geronnen wäre, theils aber in der Absicht, um die Stellung zu ermitteln, welche den Cantülen gegeben werden musste, um den Strom des Blutes möglichst unbehindert aus- und eintreten zu lassen; endlich aber führten wir auch darum das Blut vorläufig durch den Muskel, um zu erfahren, ob die Unterbindung der Nebenzweige nach Wunsch gelungen war, oder, wenn dies nicht der Fall gewesen, um die noch eintretende Blutung zu stillen. Um sicher zu sein, dass während des Versuches kein neuer schädlicher Nebenweg dem Blut eröffnet werde, verschlossen wir zeitweilig das Rohr, in welches die Venen ausmündeten und brachten auch vorübergehend bei offener Venenmündung den Druck in der Quecksilberflasche auf eine Höhe, welche die voraussichtlich während des Versuchs nothwendige überstieg. Es ist immer gerathen, auf diesen Theil der Vorbereitung die höchste Sorgfalt zu verwenden; mit dieser gelingt es nun auch, die Blutung so weit auszuschliessen, dass man später viele Stunden hindurch das Blut in den Muskel leiten kann, ohne dass mehr als ein paar Tropfen desselben auf der Oberfläche zum Vorschein kommen, deren Gesamtsumme ungünstigen Falls einige CbC. beträgt. Wir haben nur die Versuche zur Gasanalyse herangezogen, beziehungsweise bei der Ziehung unserer Resultate benutzt, bei welchen die Blutung noch nicht 4 Procent der Blutmasse ausmachte, welche während der ganzen Versuchsdauer durch den Muskel geflossen war. — So günstige Resultate kann man indess nur dann erwarten, wenn der Muskel mit seiner der Haut zugekehrten Fläche auf einer Glasplatte ruht, so dass er durch seine Schwere die oft zahlreichen und kurz abgeschnittenen Venenästchen zusammendrückt, die von der genannten Fläche zum Unterhautbindegewebe hinlaufen. Wenn der Sitzknorren in eine Klemme eingespannt wird und von ihm der Muskel senkrecht herabhängt, so bluten sehr häufig die Verbindungsästchen zwischen Muskel- und Hautvenen. Diese



Aestchen können so zahlreich und so klein sein, dass es kaum möglich ist, durch Unterbindung der Blutung abzuhelfen. Verschiedene andere Mittel, durch die wir die Oeffnungen zu verkleben trachteten, haben uns ebenfalls in einzelnen Fällen im Stiche gelassen.

2. Vorbereitung des Blutes. Wie wir immer nur die Muskeln, so haben wir auch nur das Blut und zwar das defibrirte des Hundes verwendet. — Das zum Durchleiten bestimmte Blut war entweder durch Schütteln mit atmosphärischer Luft arteriell gemacht, oder dieses war mit Eisen reducirt, oder es war Blut des erstickten Thieres. Zuweilen ward auch dem reducirt oder dem Erstickungsblute noch nachträglich O zugesetzt.

Wenn arterielles Blut zur Verwendung kommen sollte, so wurde dem Thier, dessen Muskeln wir gebrauchen wollten, aus der a. carotis so lange Blut entzogen, bis es dem Tode nahe war. Dieses Blut wurde geschlagen, sorgfältig durch Leinwand filtrirt und in die Glasflasche gebracht, aus welcher der künstliche Strom hervorgehen sollte. Die noch in der Flasche verbleibende Luft wurde durch Quecksilber verdrängt, das durch die untere Tubulatur eingelassen wurde. Die obere Oeffnung der Flasche war mit einem durchbohrten Kautschukpfropf verschlossen. In seiner Bohrung sass ein kurzes, jenseits des Pfropfens rechtwinklig gebogenes Glasröhrchen; über dieses war ein schwarzes Kautschukrohr gesteckt, in dessen freies Ende abermals ein kurzes Glasröhrchen eingebunden war. Durch das Quecksilber, welches vom Boden der Flasche her einfluss, wurde nicht allein die Luft aus dieser letztern, sondern auch aus dem Röhrchen verdrängt und dann dieses mit einer Klemme verschlossen. Aus dem Inhalt dieser Flasche wurde nicht allein der Muskel gespeist, sondern es wurden auch aus ihm die Blutproben genommen, welche zum Vergleich mit dem durch den Muskel geflossenen entgast wurden.

Zur Reduction des Blutes verwendeten wir nach dem Vorgange von *Rollet* Eisen. Wir vermieden jedoch die Anwendung von Limatura, nachdem wir uns überzeugt hatten, wie langsam sich die letzten Spuren dieses Präparats aus dem Blute absetzen; statt ihrer benutzten wir feinsten Eisendraht, der zu etwa Millimeter langen Stücken zerschnitten war. Das Blut, welches reducirt werden sollte, liessen wir aus der Arterie in ein geräumiges, ursprünglich mit Quecksilber gefülltes Glasrohr

fließen, so dass das Blut, welches in die obere verengte Mündung des Rohrs eindrang, den Platz einnahm, welchen das aus dem untern Halse des Rohres ausfliessende Quecksilber frei machte. Die Drahtstückchen waren schon vor dem Eintreten des Bluts in das Glasrohr gebracht. Nachdem das Rohr mit Blut nahezu gefüllt war, wurden die beiden Oeffnungen desselben luftdicht verschlossen und das Rohr so lange aufrecht hingestellt, bis sich die Luftbläschen, welche zwischen den Eisenstückchen verblieben waren, auf die Oberfläche des Blutes begeben hatten, alsdann wurden sie von unten her durch Quecksilber verdrängt und die Kautschuke an den beiden Röhrenden von Neuem luftdicht verschlossen. Hierauf wurde die Mischung aus Blut, Quecksilber und Eisen anhaltend geschüttelt, bis auch in hellstem Licht das Blut eine schwarzrothe Farbe angenommen hatte. — Die Veränderung, welche das so behandelte Blut erlitten hat, besteht, wie schon *Rollet* bemerkte, nicht blos in einer Reduction, sondern auch in der Auflösung eines merklichen Theils seiner Körperchen. Diese Auflösung schreiben wir jedoch nicht dem Schütteln zu, weil wir sie vermissen, wenn wir das Blut auch noch so heftig ohne den reducirenden Stoff mit Quecksilber geschüttelt hatten. Die an dem rothgefärbten Serum kenntliche Auflösung der Blutkörperchen trat dagegen ein, wenn wir das Blut mit Ferrum Hydrogenio reductum entsauerstofften. Die grosse Wirksamkeit, welche dieses Präparat an und für sich schon besitzt, kann man noch dadurch bedeutend erhöhen, dass man es luftfrei mit dem Blute in Berührung bringt, indem man es z. B. unter Wasser erhitzt und nach dem Abkühlen feucht anwendet. Das auf diese Weise behandelte Eisen reducirt die Blutkörperchen äusserst rasch, so dass man relativ grosse Mengen dieser letztern zu entsauerstofften vermag, ohne zum Schütteln greifen zu müssen. Hat man auf diese Weise das Blut von seinem Sauerstoff befreit, so ist ebenfalls ein grosser Theil der Körperchen aufgelöst. Die Röthung des Serums bleibt dagegen aus, wenn man den Sauerstoff nicht vollständig entzogen hat, sondern etwa nur so weit, dass das Blut an Farbe einem stark venösen gleicht. Diese Befunde scheinen zu beweisen, dass die Auflösung der Körperchen durch die Entziehung des O bedingt werde, eine Erscheinung, wie sie auch bei andern Methoden der O-Entziehung eintritt.

Wir hegen ausserdem die Vermuthung, dass das Eisenoxydul, welches sich bei der Reduction des Blutes bildet, dem letztern  $\text{CO}_2$  entziehe, diese Annahme stützen wir auf das Ergebniss einer Analyse der Blutgase, wonach das ursprüngliche Blut 24,95 Proc., das mit Eisen reducirte 49,44 Proc.  $\text{CO}_2$  enthielt. Dieser Gegenstand erfordert jedoch noch weitere Untersuchung. — Wenn der Muskel hintereinander von zwei Blutsorten durchströmt werden sollte, die sich nur durch ihren Gehalt an O unterscheiden, so wurde ein Theil des reducirten Blutes unter sorgfältigem Abschluss der Luft in eine andere Flasche gefüllt und ihm dort so viel reiner Sauerstoffgehalt zugemessen, dass dieser vollständig von dem Blute absorbirt werden konnte.

Aus nahe liegenden Gründen schien es wünschenswerth, den Muskel auch dem Einfluss von Erstickungsblut auszusetzen. Um dasselbe zu gewinnen, fingen wir auf bekannte Weise das Blut eines erstickten Hundes auf. Um uns nun davon zu überzeugen, ob die eigenthümlichen Wirkungen des Erstickungsblutes von den leicht oxydirbaren Stoffen herrührten, die es, wie wir neulich zeigten, enthält, oder nur von seinem Mangel an O bedingt seien, fügten wir einem Theile des gewonnenen Erstickungsblutes so viel reinen O's zu, dass dasselbe deutlich arteriell wurde. Nachdem hierdurch die leicht oxydablen Stoffe zerstört waren, reducirten wir das Blut mit Eisen. Das ursprüngliche Erstickungsblut und das besauerstoffte und nachträglich wieder reducirte unterschieden sich jetzt allerdings dadurch, dass dem letztern die leicht oxydablen Stoffe fehlten, welche das erstere besass; aber dieses war nicht die einzige Differenz, denn das nach vorgängiger Oxygenirung wieder reducirte Blut besass möglicherweise einen höheren Kohlensäuregehalt als das Erstickungsblut, aus dem es dargestellt war.

3. Regelung des Blutstroms. Nach unsern Erfahrungen kann die Geschwindigkeit des Blutstroms durch den ausgeschnittenen Muskel nur dadurch geregelt werden, dass man den Druck an der arteriellen Stromseite erhöht oder erniedrigt. An der Venenmündung muss der Druck möglichst constant bleiben. In unsern Versuchen schwankte er von 2 mm. über bis 2 mm. unter Null; bald erwies sich dieser und bald jener Druck geeigneter, um den Abfluss zu beschleunigen. — Eine grössere Erhöhung des Drucks als die angegebene bedingt eine Stauung des Stromes in den leicht erweiterbaren Venen und in Folge

dessen zuweilen venöse Blutungen. Ein stärker verminderter Druck als der bezeichnete erzeugt dagegen durch Ansaugen der Wand einen Verschluss der Venen, da in ihnen das Blut aus den Capillaren her mit sehr geringer Spannung anlangt.

Die beistehenden Holzsnitte mögen den Apparat erläutern, dessen wir uns zum Einleiten und Auffangen des Blutes bedienen.

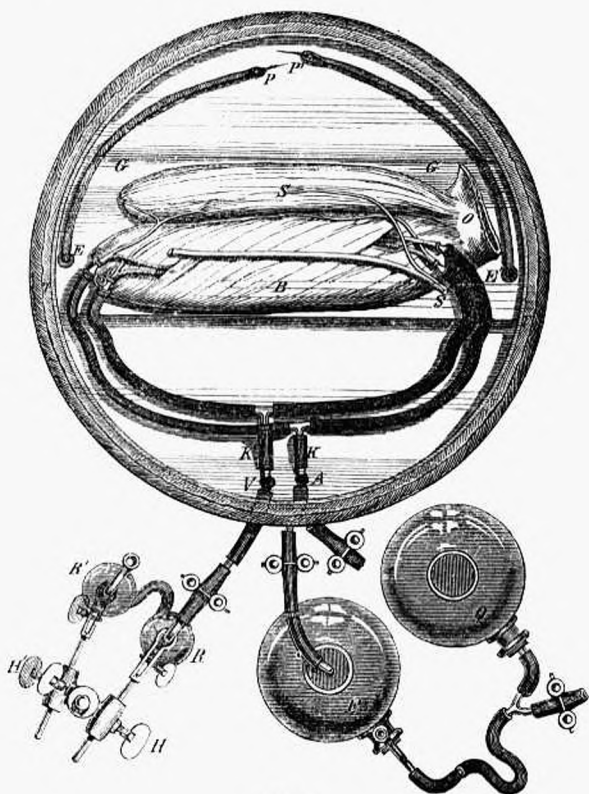


Fig. 1.

Figur 1 giebt die Ansicht des Apparates von oben. *TT* stellt einen Glasteller dar, dessen oberer Rand abgeschlossen und mit einer Spiegelplatte bedeckt ist. Der Verschluss zwischen

beiden ist luftdicht, wenn der Rand des Gestellers mit Talg bestrichen wird. Durch den Boden des Tellers sind vier Löcher gebohrt, in zwei derselben  $E E$  sind zwei überspannene Drähte eingelackt; durch diese können elektrische Ströme von aussen zu den beiden Platindrähten  $P P$  geleitet werden, die durch die Leitungsschnüre von  $E$  zu  $P$  gelangen. Die beiden andern Oeffnungen  $A$  und  $V$  werden durch zwei Glasröhren ausgefüllt, welche gleich oberhalb des Tellerbodens rechtwinklig umgebogen sind, die eine von ihnen  $A$  leitet das arterielle Blut, die andere  $V$  das venöse. Jede der beiden Röhren  $A$  und  $V$  ist durch einen Kautschukschlauch  $K$  und  $K'$  mit einem  $T$ -Rohr verbunden, wodurch die obere und untere Gefässstammchen des *m. biceps* ( $B$ ) und *semitendinosus* ( $S$ ) gegen je eine Ausmündung hingeleitet werden. Die Vertheilung und Anordnung der Kautschukschläuche und Blutgefässe wird keiner Erläuterung bedürfen, es sei hier nur noch bemerkt, dass  $O$  das os ischii,  $S'$  der *n. ischiadicus* ist,  $G G$  aber eine Glasplatte vorstellt, auf welcher die Muskeln ruhen. Ausserhalb des Tellers stehen auf der Arterien-seite zwei grössere, über ihrem Boden tubulirte Flaschen  $F$  und  $Q$ . Die unteren Tubulaturen dieser beiden Flaschen sind durch einen Kautschukschlauch verbunden. Aus der oberen Mündung der Blutflasche  $F$  geht ein Rohr zu  $A$ , so dass das Quecksilber, welches in der Flasche  $Q$  enthalten ist, das Blut aus  $F$  nach  $A$  hin verdrängen kann. \*) Die Mündung des äusseren Röhrchens  $V$  steht durch einen Kautschukschlauch mit einem pipettenförmigen Gefäss  $R R$ , dessen cylindrischer Bauch nach *CbC.* getheilt ist, in Verbindung. Aus der unteren Oeffnung von  $R$  geht ein längerer Kautschukschlauch ab, der in die untere Mündung des Gefässes  $R'$  übergeht, so dass das venöse Blut, welches von  $V$  herkommt, das Quecksilber aus  $R$  nach  $R'$  hin verdrängen kann. Die Gefässe  $R$  und  $R'$  werden durch zwei Klammern  $H$  und  $H'$ , die von demselben Halter ausgehen, festgestellt.

Fig. 2 stellt den Apparat in der Seitenansicht dar. Um die Zeichnung durchsichtiger halten zu können ist der Dreifuss, auf welchem der Teller ruht, weggelassen. An der Blutflasche  $F$ , welche in Fig. 2 dargestellt ist, sieht man noch das Manometer  $M M$ , an dessen Millimetertheilung der Druck des *Hg* abgelesen werden

\*) Die aus den Glasgabeln bei  $A$  und  $Q$  hervorgehenden, mit Klemmen zugeschnürten Kautschuke deuten an, wie man ausser  $F$  gleichzeitig noch eine andre Blutflasche zwischen  $Q$  und  $A$  einschalten könne.

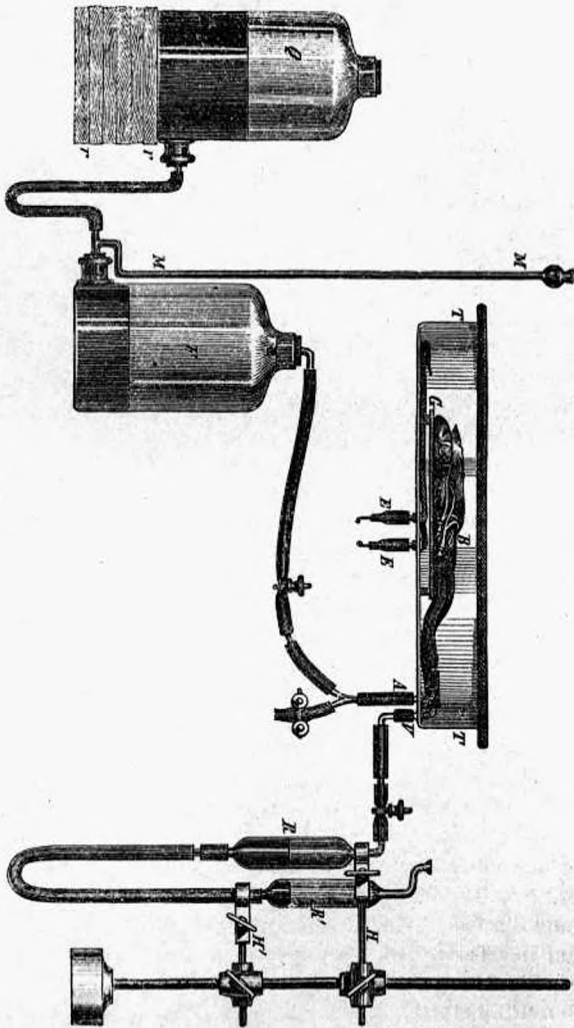


Fig. 2.

kann, welchem das Blut in der Flasche ausgesetzt ist. Der für den Strom wirksame Druck wird selbstverständlich gefunden, wenn man von dem Stand des  $Hg$  in  $M M$  denjenigen in  $F$  abzieht. Den Gegendruck des Blutes in  $F$  haben wir vernachlässigt, weil er als zu unbedeutend nicht in Betracht kommt. Unter dem Boden der Flasche  $Q$  liegen eine beliebig zu ändernde Anzahl Brettchen  $r r$  von je einem Ctm. Dicke.

Bei Eröffnung der Versuche waren wir darauf gefasst, dass wir die Geschwindigkeit des Blutstromes nicht über ein gewisses Maass hinaus steigern dürften, ohne Transsudaten oder Extravasaten zu begegnen, die eingetreten sein würden in Folge des hohen Drucks, welcher zur Einleitung grösserer Geschwindigkeiten nothwendig ist. Unterhalb dieser Grenze hofften wir dagegen den Strom mittelst des Drucks leicht regeln zu können. Hierin hatten wir uns jedoch getäuscht; denn alsbald zeigte sich, dass die veränderlichen Zustände der Muskelmasse und des Blutes mindestens so einflussreich auf den Strom sind, als die Aenderungen des arteriellen Drucks. Zur Aufstellung allgemein gültiger Regeln für die Leitung des Stroms durch ausgeschnittene Muskeln genügt unsere Beobachtungsreihe nicht. Obwohl sie sich über die nicht unbeträchtliche Zahl von 22 Mm. biceps und semitendinosus verschiedener Hunde erstreckt, so war doch die Absicht, in der wir den Strom unterhielten, nicht geeignet, um uns des Genauern über die Variationen der Widerstände zu belehren. Wir sind jedoch im Stande eine Anzahl von Vorsichtsmassregeln anzugeben, welche bei der Wiederholung ähnlicher Versuche künftigen Beobachtern von Nutzen sein dürften. Was von uns hier über den Strom ausgesagt wird, gilt für eine Temperatur des Blutes und des Muskels von  $18^{\circ}$  bis  $20^{\circ}$  C.

Am besten lässt sich der Strom handhaben, wenn arterielles Blut durch den ruhenden horizontal gelagerten Muskel fliesst; unter »ruhende« wird hier auch der Muskel verstanden, welcher während einer Beobachtungsdauer von mehreren Stunden nur zu einigen wenigen Zuckungen veranlasst wird. Die Widerstände, welche der Muskel unter diesen Bedingungen dem Strom entgegensetzt, sind Anfangs am geringsten. Sie wachsen wenn die Zeit zunimmt, während welcher er aus seiner natürlichen Verbindung gelöst war. Ein Druck von bestimmter Höhe, der in den ersten 30 bis 60 Minuten ein bestimmtes Volum Blut in der Zeiteinheit durch den Muskel treibt, muss in

der dritten und vierten Stunde des Versuchs oft verdoppelt werden, wenn er auch jetzt wieder die ursprüngliche Menge von Blut durchführen sollte. — Daraus ist die Regel zu entnehmen, dass durch einen m. biceps von 150 bis 200 Gr. Gew. der Strom im Anfang nur mit einem Druck von 40 bis 60 mm. Hg zu beginnen hat. Dieser Druck lieferte uns in der Minute zwischen 2,5 bis 3,0 CbC. Blut; man kann dann sicher sein, dass bei dem Druck von 100 bis 150 mm. Hg auch noch nach vier Stunden diese Menge durchzutreiben ist. Die Anwendung niederer Drücke gewährt nächst dem den Vortheil, Blutungen aus feinen, schwer oder gar nicht zu unterbindenden Nebenwegen hintanzuhalten. — Insbesondere glauben wir auch vor vorübergehenden, einige Minuten andauernden Druckerhöhungen warnen zu müssen. Ein hoher Druck pflegt in der Regel den Widerstand im Muskel dauernd zu erhöhen.

Die so eben gemachte Mittheilung über das allmähliche Anwachsen des Widerstandes darf jedoch nicht so verstanden werden, als ob dieses gleichmässig mit der wachsenden Zeit geschähe; dieses ist keineswegs der Fall. Der Widerstand wächst zwar im Allgemeinen, aber er thut dieses in sehr unregelmässiger Weise, indem er, ohne dass sich ein Grund dafür angeben liesse, bald auf- und bald absteigt. Diese Eigenschaft zwingt den Beobachter zu einer stetigen Aufmerksamkeit, wenn er auch nur annähernd selbst während der Zeit von wenigen Minuten die Geschwindigkeit gleichmässig erhalten will.

Aehnlich wie ein Muskel, der fortwährend vom arteriellen Blut durchströmt wird, verhält sich auch ein solcher, dessen Strom, nachdem er durch Zeiträume von 1 bis 1½ Stunde unterbrochen war, wieder eingeleitet wird. Nach der Strompause findet man den Muskel mit ungefähr denselben Widerständen behaftet, die er vor dem Beginn derselben darbot, zuweilen aber scheint sich auch in Folge der Pause der Widerstand erniedrigt zu haben, so dass er dem bei Beginn der ersten Durchleitung vorhandenen gleichkommt. Die so eben ausgesprochene Bemerkung gilt jedoch nur dann, wenn der Muskel durch den wieder eintretenden Strom zu seiner früheren Reizbarkeit zurückgeführt wird.

Besondere Widerstände werden eingeführt, wenn der Muskel zu tetanischen oder zuckenden Zusammenziehungen veranlasst wird. Mit jeder Zuckung entleert sich allerdings das



Blut, welches in den Venen angehäuft war, aber zugleich mehrt sich der Widerstand, der dem Eindringen arteriellen Blutes entgegen tritt. Daraus wird es verständlich, dass man den Druck erhöhen muss, wenn man durch einen intermittirend zuckenden Muskel gerade so viel Blut führen will, wie durch den ruhenden in derselben Zeit abfluss. Schwerer verständlich ist der Umstand, dass hinter einer abgelaufenen Zuckung ein vergrösserter Widerstand zurück bleibt. Zuweilen ist derselbe so gross, dass man geneigt ist an eine die Zuckung überdauernde Zusammenziehung der Gefässe zu denken. — Die Hemmungen, welche in dem Blutstrom angebracht werden durch einen Muskel, den man mehrere Minuten hindurch in raschem Wechsel bald zucken und bald ruhen lässt, sind um so grösser, je reizbarer der Muskel, beziehungsweise je kräftiger und allgemeiner seine Zusammenziehungen ausfallen.

Viel grössere Widerstände als durch die bisher berührten Umstände werden eingeführt, wenn man O-ames Blut in den Muskel schickt. Uns hat es geschienen, als ob das durch Erstickung entsauerstoffte in dieser Richtung nicht merklich anders wirkte als das mit Eisen reducirte. Die Hemmung könnte man als eine Folge der Veränderung ansehen, welche die Blutkörperchen erlitten haben; wenn sich, wie oben erwähnt, ein Theil derselben aufgelöst hat, so dürften auch andere, die nicht vollständig zerflossen sind, aufgequollen sein und damit ihre Glätte und Elasticität eingebüsst haben. Wir möchten jedoch nicht behaupten, dass diese Erklärung für alle Fälle ausreiche. Auffallend war es wenigstens, dass wiederholt der Strom unter relativ niedrigem Druck rasch floss, wenn das O-arme Blut unmittelbar auf das arterielle folgte, so dass sich erst sehr allmählich der langsame Strom des schwarzen Blutes einstellte. Wir können zudem nicht leugnen, dass uns die Annahme einer Selbststeuerung des Stroms innerhalb der Muskeln eine ansprechende ist. Jedenfalls scheint es nach den vorliegenden Andeutungen wünschenswerth Versuche darüber anzustellen, ob nicht etwa die contractilen Ringe der kleinen Arterie unmittelbar von dem durch ihre Lichtung strömenden Blute angeregt werden. Eine solche Einrichtung könnte möglicherweise dazu führen, dass die Gefässe des Muskels je nach den Bedürfnissen dieses letztern das Blut mehr oder weniger rasch zufließen liessen.

#### 4. Die Lebenseigenschaften des ausgeschnittenen Muskels.

Vielleicht ist es schon aufgefallen, dass wir zwischen dem Ausschneiden des Muskels und dem Beginn des künstlichen Blutstromes so viele umständliche Handgriffe ausführten, die nothwendigerweise einen Zeitraum von mindestens einer halben Stunde in Anspruch nehmen. Man könnte denken diese Zeit würde genügen, um einen Säugethiermuskel vollständig abzutöden; diess ist jedoch nicht der Fall, vorausgesetzt dass man das Thier, dem der Muskel entnommen wurde, durch einen sehr grossen Aderlass dem Verblutungstode nahe brachte. Diese Verfahrensweise ergiebt sich aber bei den vorstehenden Versuchen von selbst, weil wir in der Regel das Blut desselben Hundes zu dem künstlichen Strome benutzten, dessen Muskel wir gebrauchten. Wir liessen also, wie schon bemerkt, den meist sehr grossen Hunden so viel Blut aus der Carotis ab, bis sie aus Anämie in Krämpfe verfielen, und verfuhrten nun mit dem Blute wie angegeben. Nachdem von Seiten des Bluts alle Vorbereitungen geschehen waren, tödteten wir das Thier vollkommen durch einen Stich in das Herz und begannen mit der Ausschälung des Muskels, sobald das Auge unempfindlich geworden war. Bei diesem Verfahren ist uns niemals ein vorzeitiger Muskeltod oder eine Gerinnung des in den Muskeln zurückgebliebenen Blutes an der Ausführung des Versuchs hinderlich gewesen; sollte man aber fürchten, dass bei besondern Schwierigkeiten der Einbindung ein im Muskel verbleibender Blutrest gerinnen oder die Reizbarkeit in Folge der langen Blutleere erlöschen könnte, so hat man es immer in der Gewalt, den Muskel durch einen vorübergehenden Strom wieder zu beleben.

Wir wollen in dem Folgenden sogleich alle unsere Erfahrungen zusammen stellen, die wir über die belebenden Eigenschaften eines Blutes gesammelt haben, das auf  $18^{\circ}$  bis  $20^{\circ}$  C. temperirt war. — Unzweifelhaft erhält ein künstlicher Strom arteriellen Blutes die Lebenseigenschaften der Muskeln und Nerven, und stellt sie auch diesen Gebilden wieder her, wenn sie bis zur Erschöpfung der Reizbarkeit ermüdet waren. Hierfür sprechen die einfachsten Versuche. Wird z. B. nur eine der Muskelarterien eingebunden, so dass nur ihr Bezirk einen Strom empfängt, während die der übrigen Arterien leer bleiben, so tritt unfehlbar und spätestens nach 2 bis 3 Stunden in den nicht vom Blut benetzten Muskelmassen die Starre ein, während die

unmittelbar anliegenden, vom Blut umflossenen Fasern einen hohen Grad von Reizbarkeit behauptet haben. Gerade so wie die Muskeln verhalten sich auch die Nerven. Soweit die Stämme derselben von Blut umflossen sind, erweisen sie sich auch erregbar und geschickt die von ihren Zweigen versorgten und annoch reizbaren Muskeln zur Contraction zu veranlassen. — Nicht minder wie die vorhandene Reizbarkeit durch den künstlichen Blutstrom erhalten wird, kann durch den letztern auch der ermüdete Muskel wieder hergestellt werden. Ein Muskel, der durch Unterbrechung des Blutstromes oder durch eine anhaltende Reihe von elektrischen Schlägen so weit herabgekommen ist, dass er durch die heftigsten Reize nicht mehr angeregt wird, gewinnt seine Zuckungsfähigkeit alsbald wieder, wenn er auch nur kurze Zeit von einem künstlichen Strom arteriellen Blutes durchsetzt wurde. Selbstverständlich geschieht dieses letztere nicht mehr, wenn schon die Starre eingetreten war.

Die erquickenden Wirkungen des künstlichen Stroms sind jedoch keineswegs von solcher Stärke und Nachhaltigkeit, wie man sie dem lebendigen Blute zuschreiben pflegt. Zunächst ist es augenfällig, dass die Zeit, während welcher das Blut die Lebenseigenschaften erhält, keine unbeschränkte ist. Füllt man das gesammte durch den Aderlass erhaltene Blut in eine Flasche und lässt von dort den Strom ununterbrochen durch den Muskel fließen, so dass dieser letztere fortwährend mit frischem arteriellen Blute gespeist wird, so findet man denselben trotz stetiger und sorgfältiger Ueberwachung nach etwa zwanzig Stunden abgestorben und ungeachtet des fortdauernden Stromes auch alsbald starr. Da das angeführte Blut, wie wir zeigen werden, zu dieser Zeit erst nur geringe Veränderungen in seinem Gasgehalt erlitten hat, so kann die Schuld des Absterbens nicht auf eine schädliche Wirkung des Blutes bezogen werden. Der Muskel ist während des Versuchs, wie kaum bemerkt zu werden braucht, vor Verdunstung geschützt.

Von diesem allmählichen Absterben zeigten sich jedoch wenigstens in den ersten 4—6 oder auch 8 Stunden seit dem Beginn des Versuchs keine Spuren, insofern man sich damit begnügt, auf die Lebenseigenschaften nur aus dem Verhalten der Reizbarkeit des unbelasteten Muskels zu schliessen.

Als Maass für die Stärke des elektrischen Reizes, welcher zum Hervorlocken der minimalen Zuckung nothwendig war,

diente auch uns der Abstand der beiden Rollen des gewöhnlichen Inductionsapparates, welcher durch einen Grove in Gang gesetzt wurde. Die Ströme wurden in den Muskel durch zwei Platindrähte übergeführt, von denen der eine in die untere Sehne eingehakt war, während der andere zu einer Schlinge umgebogen den Nerven umgriff, unmittelbar bevor sich sein oberer Ast in den Muskel einsenkte, den wir reizen wollten. In andern Fällen, wo wir die Reizung vom Nerven allein aus beabsichtigten, legten wir diesen letztern kurz vor seinem Eintritt in den Muskel auf zwei wohl isolirte Zuleitungsdrähte, die mehrere Millimeter weit von einander abstanden.

Bevor wir die Ergebnisse der Reizung mittheilen, wiederholen wir die Bemerkung, dass die betreffenden Versuche nur ausgeführt wurden, um uns von der belebenden Fähigkeit des Blutes zu überzeugen. Von diesem Gesichtspunkt aus sind also auch unsere Angaben über die beobachteten Zuckungen selbst anzusehen.

Bei dem Aufsuchen der minimalen Zuckung ergibt sich sogleich, dass nicht alle Theile des Muskels gleich reizbar sind, namentlich sind die Unterschiede, welche m. biceps und m. semitendinosus darbieten, in der Regel sehr beträchtlich. Aber auch die verschiedenen Abschnitte desselben Muskels befinden sich auf verschiedenen Stufen der Reizbarkeit; die Abtheilungen, welche von Anfang an die höchste Reizbarkeit besaßen, bewahren sie auch während der ganzen Dauer des Versuchs. Dem entsprechend bestimmten wir die Reizbarkeit durch den Rollenabstand, welcher zur Erzeugung der minimalen Zuckung in den erregbarsten Muskelstücken nothwendig war.

Die Intensität der Schläge, welche die minimale Zuckung der reizbarsten Theile auslöste, war immer eine geringe. Dieses geht daraus hervor, dass der hiezu nöthige tetanisirende Strom auf der Zunge nicht mehr empfunden wurde, selbst wenn die den Reiz zuführenden Elektroden im Gegensatz zu ihrer grösseren Entfernung am Muskel auf der Zunge nur um zwei bis vier mm. von einander abstanden.

Die Zuckung trat im Beginn des Versuchs vom Nerven aus bei einem weit grössern Abstand der Rollen ein, als vom Muskel aus; in den spätern Zeiträumen zeigte sich dagegen die Zuckung beim allmählichen Zusammenschieben der Rollen eher

vom Muskel aus als vom Nerven, und endlich fand sich ein Zeitraum ein, bei welchem man durch einen einzigen Inductionsschlag weder vom Muskel noch vom Nerven aus irgend eine Zuckung eintreten sah, obwohl die tetanische Erregung noch sehr wirksam war. Dieses für uns räthselhafte Verhalten ist indess von *E. Brücke* in einer Abhandlung aufgeklärt worden, die während des Verlaufs unserer Untersuchung erschien. Bevor wir noch durch *Brücke* wussten, dass die Contraction in Folge eines kurz dauernden Reizes darum ausbleibt, weil die Muskelnerven gelähmt sind, hatten wir durch unsere Erfahrungen belehrt schon zu der Aushilfe gegriffen, dass wir statt einen Inductionsschlag eine Reihe derselben in Anwendung brachten und dass wir diese durch den ganzen Muskel in der oben beschriebenen Weise hindurchfahren liessen.

Unter dieser Voraussetzung zeigte sich nun die Reizbarkeit in dem von uns angewendeten Muskel so lange, als der künstliche Blutstrom durch ihn ging, jedesmal viele Stunden hindurch ganz constant; nicht minder stellte sich unter dem Einströmen des Bluts die Reizbarkeit wieder in dem frühern Grade ein, auch wenn diese durch eine anhaltende Blutleere so weit herabgebracht war, dass sich gar keine Zuckungen mehr sehen liessen, selbst wenn die Rollen übereinander geschoben, der Hohlraum der primären mit Drähten ausgefüllt und statt eines zwei Elemente angesetzt worden waren. Darnach hätte man schliessen sollen, dass das Blut mindestens 6 Stunden hindurch die Muskel in voller Lebenskraft erhalten habe.

Anders gestaltet sich jedoch das Urtheil, wenn man das Verhalten des belasteten Muskels untersucht. Zur Ausführung dieses Vorhabens wählten wir in der Regel den *m. semitendinosus*, da er zum Unterschied von dem *m. biceps* aus parallel laufenden Fasern zusammengesetzt ist. Um den Muskel der Beobachtung zugänglich zu machen, wurde das Sitzbein von der Zange eines starken Halters umklammert. Die untere Sehne des frei herabhängenden Muskels ward an einen Hebel gehakt, dessen freies Ende in einen Schreibstift auslief, so dass die tetanische Contraction um das Doppelte ihrer wahren Höhe vergrößert auf das herusste Papier einer langsam rotirenden Trommel zu notiren war; an demselben Hebel hing ein Gewicht von einer verstellbaren Unterlage unterstützt, damit der Hlub immer von derselben Anfangsdehnung des Muskels aus

begann. — Der Muskel selbst war von einem passenden Beutel feinen weichen Gutta-Perchapiers umhüllt, die Zuleitung des Blutes geschah in der Regel durch die beiden Arterien. Da jedoch aus den Venen des frei herabhängenden Muskels das Blut nicht mehr so leicht hervorfließt, wie aus denen des horizontal liegenden, so sahen wir uns öfter genöthigt, aus den schwellenden Venen das Blut mit der Hand sanft auszudrücken. Diesem etwas mangelhaften Blutstrom können wir jedoch darum die gleich zu beschreibende Abnahme der Leistungsfähigkeit nicht zurechnen, weil sich während dess die Reizbarkeit nicht vermindert hatte.

In allen auf diese Weise veranstalteten Versuchen fanden wir nun, dass mit der Zeit und mit den zugemutheten Anstrengungen die Arbeitsfähigkeit beträchtlich abnahm. Dieses drückte sich nicht allein dadurch aus, dass der im Maximum tetanisirte Muskel das angehängte Gewicht (50 bis 200 Gr.) bei den spätern Contractionen nicht mehr auf dieselbe Höhe hob, wie in den frühern, sondern auch darin, dass während des spätern Tetanus die Ermüdung rascher eintrat als in den frühern, indem das Gewicht in den spätern Contractionen zeitlicher und steiler nach der Abscisse hin herabfiel, als diess in den ersten Contractionen der Fall gewesen. Die Fig. 3 ist nach einer der Curven durchgepaust, welche auf diese Weise erhalten wurden. Die

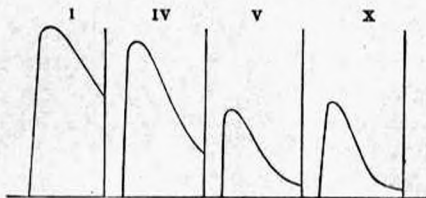


Fig. 3.

Zahlen über den tetanischen Zuckungen geben an, zum wie vielen Male seit dem Beginn des Versuchs das Gewicht gehoben war. Rücksichtlich der Zeit, die wir vom Termin der vollendeten Aufhängung des Muskels an rechnen, ist zu den Curven zu bemerken, dass Tetanus I im Beginn der Zeit notirt ist; Tetanus IV 88 Minuten später; Tetanus V zur 101. Minute; Tetanus X bei 125 Minuten nach Beginn des Versuchs. — Das gehobene Gewicht betrug 200 Grammen.

Die graphische Darstellung zeigt, dass während der Reizung das Gewicht allmählich von der höchsten Höhe herabsinkt, auf die es bei Beginn derselben gestiegen war. — Bleibt dann nach unterbrochener Reizung der vom Blutstrom fortdauernd durchsetzte Muskel einige Zeit in Ruhe, so erholt sich derselbe wieder, denn es wird das Gewicht bei einer nächstfolgenden Reizung über die Höhe gehoben, auf welche es am Ende der vorhergehenden herabgesunken war. — Eine Abnahme der Hubfähigkeit gegen die des früheren Zustandes drückt sich jedoch dadurch aus, dass die maximale Höhe, auf welche das Gewicht bei Beginn der frühern Reizung gehoben wurde, im Beginn der spätern eine geringere ist. Die Unterschiede der maximalen Höhen, zu denen das Gewicht in zwei aufeinander folgenden Tetanus gehoben wird, ist in den frühern Stadien der Versuchsreihe eine grössere als in den spätern, so dass schliesslich ein Zustand eintritt, bei welchem die in grössern Pausen auf einander folgenden tetanischen Contractionen einander vollkommen gleich bleiben. Das Eintreten dieses Zeitpunkts erfolgt um so früher, je öfter nach einander der Muskel zu Anstrengungen veranlasst worden.

Das Resultat dieser letztern Versuchsreihe würde demnach kurz dahin zu fassen sein, dass der ruhende, vom Blutstrom durchflossene Muskel die ihm innewohnende Hubfähigkeit sehr viel länger auf einer der ursprünglichen gleichen Stufe bewahrt, als dieses im blutleeren Zustand geschehen wäre; es vermag auch der Blutstrom dem Muskel die Einbusse wieder zu ersetzen, die er durch Anstrengungen erlitten; dieses gelingt ihm jedoch nur in beschränktem Maasse, so dass er insbesondere nur die kleinen Verluste eines ermüdeten, nicht aber die grossen eines kräftigen Muskels auszugleichen vermag.

Von einer besondern Bedeutung für die Frage nach den belebenden Eigenschaften des Blutstromes ist das Verhalten des Muskels während der Blutleere und in der darauf folgenden Wiederherstellung des Blutstromes. Wenn der Strom des kalten Blutes unterbrochen wird nachdem er nicht länger als eine Stunde nach Ausschneiden des Muskels durch diesen letzteren geleitet war, so bedarf es jetzt einer Zeit, die bis zu drei Stunden reichen kann, bevor er seine Reizbarkeit vollkommen eingebüsst hat. Lässt man darauf das arterielle Blut wieder zutreten, so erholt sich die Reizbarkeit, wie schon bemerkt, nach

45 bis 30 Minuten wieder vollständig. Unterbricht man dann den Strom von Neuem, so verliert ein Muskel, der z. B. während der ersten Blutleere drei Stunden hierzu nöthig hatte, jetzt seine Reizbarkeit in etwa  $1\frac{1}{2}$  Stunde vollständig. Ein erneutes Einleiten von arteriellem Blute stellt abermals in 45 bis 30 Minuten die Reizbarkeit wieder vollständig her. Ist diese vollkommen wiedergekehrt und wird darauf der Blutstrom zum dritten Mal unterbrochen, so schwindet jetzt die Reizbarkeit in etwa 40 bis 50 Minuten; sie lässt sich dann in derselben Zeit wie früher durch den arteriellen Blutstrom wieder herbeiführen. Daraus geht hervor, dass der Muskel den zerstörenden Einflüssen, welche während der Blutleere auf ihn wirken, um so rascher unterliegt, je öfter er schon vorher in der Blutleere seine Reizbarkeit eingebüsst hatte.

Da, wie schon wiederholt erwähnt wurde, der Muskel trotz des fortdauernden Blutstroms allmählich seine Lebenseigenschaften verliert, so könnte man vermuthen, dass die geringere Widerstandsfähigkeit des Muskels gegen die zweite und dritte Blutleere nicht von den vorhergehenden Anämien, sondern von der Schwächung bedingt sei, die der Muskel durch seinen längern Aufenthalt ausserhalb des Organismus erfahren habe. Gegen diese letztere Annahme sprechen aber andere Erfahrungen. Wir sahen nämlich wiederholt, dass der Mangel an Blut den Muskel erst nach 6, ja nach 8 Stunden um seine Reizbarkeit brachte, wenn der arterielle Strom erst dann zum ersten Male unterbrochen worden war, nachdem er seit dem Ausschneiden des Muskels nicht eine, sondern mehr als drei Stunden gedauert hatte. Nach diesem Ergebniss scheint uns die Annahme berechtigt, dass die Widerstandsfähigkeit nicht wesentlich beeinträchtigt wird durch die länger dauernde Entfernung des Muskels aus seiner natürlichen Lagerstätte. Die Analogie, welche sich zwischen der verminderten Arbeitsfähigkeit und dem Widerstand gegen die Blutleere zeigt, scheint uns demnach unverkennbar.

In dem ersten Stadium der Blutleere steigt die Reizbarkeit, die auch hier durch die Minimalzuckung bestimmt wurde, empor und zwar zuweilen sehr merklich über den Werth, den sie vor dem Beginn der Stromunterbrechung besessen hatte; alsbald aber sinkt sie, erst rasch und später allmählich auf Null herab. Längere Zeit, bevor sie auf Null sinkt, bieten die Zu-



sammenziehungen des blutleeren Muskels eine eigenthümliche Abweichung von dem des durchströmten. Beurtheilt man die Reizbarkeit nach dem Rollenabstand, der für die Erzeugung der minimalen Zuckung nothwendig ist, so erscheint öfter dieselbe noch nicht abgesunken zu sein und trotzdem zeigt sie sich als eine verminderte, wenn man die Wirkung eines stärkeren Reizes auf den blutleeren Muskel mit derjenigen vergleicht, die derselbe Reiz in dem bluthaltigen hervorbringt. Nähert man die Rolle aus dem Abstand, welcher die minimale Zuckung hervorbrachte, nur um wenige Millimeter gegen die primäre, so wird, vorausgesetzt dass ein bluthaltiger Muskel zwischen den Elektroden liegt, die Zuckung sogleich eine allgemeine und kräftige. Wenn dagegen der Muskel eingeschaltet ist, der schon das Stadium der gesteigerten Reizbarkeit überschritten hat, aber noch die minimale Zuckung zeigt, bei einem Rollenabstand, der nahezu eben so gross ist wie der, welchen auch der bluthaltige Muskel, um minimal zu zucken, nöthig hat, so findet man jetzt, dass durch eine Näherung der beiden Rollen keine Verstärkung der Zuckung mehr eintritt. Die Zuckung verbreitet sich zwar über alle Fasern, aber es kommt keine irgendwie beträchtliche Verkürzung der Muskeln zu Stande, häufig selbst dann nicht, wenn auch die beiden Rollen ganz übereinander geschoben wurden; demnach wäre der blutleere Muskel nur noch zu unkräftigen Zuckungen zu bewegen, trotzdem dass er nach der Aussage der minimalen Zuckung noch den Anschein eines sehr reizbaren besitzt.

Der ausgeschnittene und längere Zeit von kühlem Blut durchsetzte Muskel verliert, wenn er nun blutleer gemacht wird, nicht alsbald seine Arbeitsfähigkeit. Wird der Muskel kurze Zeit nach dem Aufhören des Stroms mit einem Gewicht belastet und nun zu einer tetanischen Contraction gezwungen, so hebt er das Gewicht anfänglich auf eine beträchtliche Höhe und lässt es dann während der dauernden Erregung tiefer und tiefer absinken. Wird darauf der tetanisirte Reiz unterbrochen, nachdem der Muskel nahebei zu seiner natürlichen Länge zurückgekehrt ist, so erholt er sich in der darauffolgenden Zeit der Ruhe ebenfalls wieder beträchtlich; denn wenn nach der letztern der Reiz von Neuem eingeleitet wird, so geht das Gewicht weit über die Höhe empor, auf die es zu Ende des vorhergehenden Tetanus herabgesunken war. — Hieraus folgt,

dass der blutleere Muskel des Säugethiers ebenso wie der des Frosches die Reizungspause zu einer theilweisen Ausgleichung der Ermüdung benutzen kann, aber es würde fehlerhaft sein, aus dieser Thatsache schliessen zu wollen, dass die Arbeitskraft sich in den Ruhezeiten am blutleeren Muskel eben so vollständig herstellen könnte als am bluthaltigen. Für die Mithülfe des Blutes an der Wiederherstellung der Arbeitskraft spricht am unverfänglichsten die Erscheinungsreihe, unter welcher die Fähigkeit Gewichte zu heben zurückkehrt, wenn der Muskel durch eine anhaltende Blutleere erschöpft war. Eröffnet man, nachdem das letztere geschehen, den Blutstrom von Neuem und reizt man, nachdem die Erregbarkeit zurückgekehrt ist, den belasteten Muskel, so wird anfänglich das Gewicht kaum über die Abscisse gehoben. Wiederholt man, während der Blutstrom fortwährend fliesst, die elektrische Reizung und zwar in gleicher Weise und Dauer wie vorher von Neuem, so wird jetzt das Gewicht schon merklich höher emporgetrieben. Bei einer spätern Reizung, die nach einem Ruhezustand von mehreren Minuten eingeleitet wird, steigt das Gewicht abermals über den frühern Maximalwerth und erreicht jetzt oder in einer spätern Reizung die Höhe, über die es auch in allen folgenden Erregungen nicht mehr emporgebracht werden kann. Diese Thatsachen beweisen also, dass sich die Arbeitskraft des vollkommen erschöpften Muskels unter der Mitwirkung des Blutes ganz allmählich bis zu einem nicht überschreitbaren Maximum wiederherstellt. In unsern allerdings wenig zahlreichen Versuchen war jedoch die maximale Hubhöhe nach der Wiederholung des blutleeren Muskels nie so hoch, als die niedrigste der maximalen Hubhöhen, welche der Muskel vor dem Aufhören des Blutstromes geliefert hatte. Die Erscheinungen, die wir soeben beschrieben haben, werden durch Fig. 4 erläutert.

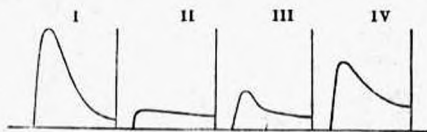


Fig. 4.

Tetanus I ist unmittelbar vor Beendigung des Blutstromes bei einer Belastung von 200 Gr. gezeichnet; darauf wurde während

115 Minuten der Blutstrom unterbrochen, bis sehr starke Reize keine Zuckung mehr hervorriefen. Nachdem der Blutstrom 10 Minuten durchgeleitet war, kam durch eine Stromstärke, wie sie bei I wirksam gewesen, der Tetanus II, nach weitem 15 Minuten der Tetanus III und nach noch weitem 15 Minuten, also 40 Minuten seit Wiederbeginn des Blutstroms, Tetanus IV zu Stande, welcher das Maximum für den wiedererhaltenen Muskel gab.

Ein anderer Versuch ist durch die nachstehende Tabelle dargestellt. In dieser wurde der Blutstrom einmal vorübergehend unterbrochen und dann wieder in Gang gesetzt, ehe noch die Fähigkeit das Gewicht zu heben erloschen war. Während der Stromunterbrechung wurde zweimal tetanische Reizung eingeleitet, darauf wurden, nachdem der Blutstrom einige Zeit in Gang gesetzt war, wiederum zwei tetanische Zuckungen erregt und nun abermals der Blutstrom unterbrochen, 28 Minuten nach Beginn der Unterbrechung wurde ein Tetanus erzeugt, der das Gewicht noch beträchtlich hob; 80 Minuten nach Beginn der Unterbrechung hob der Muskel das Gewicht nicht mehr. Als darauf der Strom 65 Minuten wieder hindurchgegangen war, hob eine eingeleitete tetanische Zuckung das Gewicht wieder um 2 mm., 5 Minuten nachher schon um 5,5 mm. und 32 Minuten später um 6,5 mm. Ueber diese Höhe hinaus konnte das Gewicht auch bei fortgesetzter Durchleitung des Stroms nicht gehoben werden; als dagegen inzwischen ein Tetanus, ohne Belastung eingeleitet wurde, verkürzte sich der Muskel um 28,5 Millimeter. — Im ersten Stab der folgenden Tabelle sind die Minuten eingetragen, welche seit dem Zeitpunkt verstrichen sind, bei dem der künstliche Blutstrom begann. Im zweiten Stab stehen die grössten Höhen, auf welche das Gewicht von der Abscisse aus emporgestiegen war; im dritten Stab steht diejenige Höhe, auf welche das Gewicht nach Beendigung der ungleich lange dauernden Reizung herabgesunken war. Im vierten Stabe ist die Höhe eingetragen, auf welche das Gewicht nach einer bei allen Hüben gleichlangen Dauer der Reizung herabkam. Nach diesen Mittheilungen dürfen die Zahlen ein genügendes Beispiel für die Ableitungen sein, welche oben gegeben wurden.

Zeit vom Beginn des künstl. Stroms.	Maximale Höhe in Millim.	Minimale Höhe in Millim.	Höhe in Millim. nach 30 Mm. Um-gang der Trommel.	Blutstrom.	Bemerkungen.
12 Min.	38,7	5,2	34,0	im Gang	Musc. semiten-dinosus. Läng-ste Faser = 146 mm. Ange-hängtes Ge-wicht = 200 Gr. Die hier ver-zeichnet. Höhen sind d. wirklich vom Muskel durchlaufenen.
31	30,0	12,0	23,0		
39	22,7	6,7	13,0	unter-brochen	
44	16,0	4,0	10,5		
51	13,0	4,0	8,7	im Gang	
56	11,5	2,7	7,2		
94	8,5	3,7	6,2	unter-brochen	
136	0,0	—	—		
191	Spuren	—	—	im Gang	
206	2,7	1	1,2		
238	3,2	1	1,2		
252	3,0	1,5	1,5		
253	14,2	5,5	9,5		
278	3,2	1	1,5		

Bei der Durchleitung von O-armem Blut, gleichgültig ob der O vom erstickenden Thier oder durch Schütteln mit Eisen weggenommen war, verhielt sich der Muskel wie während der Blutleere. Die vorhandene Reizbarkeit starb allmählich ab und die einmal, sei es durch Reiz- oder Blutleere verloren gegangene kehrte nicht wieder. Auch darin glich die Wirkung des O-armen Blutes derjenigen der Anämie, dass die Zeiten, welche der Muskel bedurfte, um während der Anwesenheit des O-armen Blutes seine Reizbarkeit einzubüßen, jedes folgende Mal kürzer wurden, wenn alternierend O-reiches und O-armes Blut bis zur Austilgung, beziehungsweise bis zur Wiederherstellung der Reizbarkeit durch ihn geleitet wurde. Wie es hiernach gewiss ist, dass das O-arme Blut die Wiederherstellung der Reizbarkeit nicht bewirken kann und dass in dieser Beziehung kein Unterschied zwischen Erstickungs- und reducirtem Blut besteht, so ist es uns auch mindestens unwahrscheinlich geworden, dass die Anwesenheit des Erstickungsblutes die Reizbarkeit rascher zerstöre als die des reducirten. Statt des kühlen Blutes haben wir auch einige Mal Blut von 35 bis 40 Gr. angewendet. Wir sahen aus dieser Complication des Versuchs keinen Vortheil erwachsen rücksichtlich der Befähigung dieser höher temperirten Flüssigkeit für die Erhaltung und Stärkung der Lebenseigenschaften. Umgekehrt fanden wir, dass der

Muskel dem schädlichen Einfluss während der Blutleere weniger gut als bei der Anwendung des kalten Blutes widerstand. Wir haben desshalb die Durchleitung eines warmen Blutes nicht weiter fortgesetzt.

Betrachtet man den Muskel von dem Gesichtspunkte der Thatsachen, welche die Durchleitung des Blutes ergeben haben, so scheint es, als ob sich die im Innern des Muskels vorhandenen, seine vollen Lebenseigenschaften bedingenden Ursachen in zwei Gruppen spalten liessen. Die eine derselben, welche die Reizbarkeit zur Folge hat, wird durch das strömende Blut lange Zeit auf ihrem normalen Bestand erhalten, und wenn sie verloren war, auch wieder vollkommen hergestellt. Die andere Gruppe wird dagegen, wenn sie einmal ihre Wirksamkeit verloren, durch den Blutstrom wieder wirksam, aber in viel minderem Grade als sie es ursprünglich gewesen. Dem entsprechend ist auch der künstliche Blutstrom nicht im Stande diese Gruppe auf dem ursprünglichen Grad ihrer Leistungsfähigkeit zu erhalten; sie geht allmählich, trotz des dauernden Blutstromes, zu Grunde, was jedoch weitaus langsamer geschieht als wenn der Muskel blutleer gelassen wird.

Das kühle arterielle faserstofffreie, den Einwirkungen anderer thierischen Organe entzogene Blut wirkt also anders als das lebendige. Aber immerhin ist das erstgenannte Blut befähigt, den Muskel lange Zeit auf einem hohen Grade von Reizbarkeit und auf einem niedrigen der Leistungsfähigkeit zu erhalten, so dass der Gasaustausch, dessen Studium wir uns vorgesetzt hatten, auch am ausgeschnittenen Muskel unter ähnlichen Bedingungen wie im Leben geschehen durfte. Unser Muskel scheint dem ermüdeten lebendigen am nächsten zu stehen.

5. Die Gewinnung der Blutgase. — Die Methoden, mit welchen die Gase gewonnen und analysirt wurden, waren die bekannten. Bevor wir die mit ihnen erhaltenen Resultate aufzählen, müssen wir noch ein Bedenken besprechen, das sich rücksichtlich der Diffusion erhebt, welche den Gasen des Blutes ermöglicht war auf dem kurzen Wege des letztern von dem Muskel bis in die Glasröhren. In den Versuchen, die wir zum Gewinnen des Blutes für die Gasanalyse benutzten, lag der Muskel, wie in Fig. 4 zu sehen ist, in einem zugedeckten Glasgefäss, so dass diejenige seiner Fläche, durch welche die Blutgefässe ein- und austraten, von Luft umspült wurde. Diese

Luft musste nothwendigerweise in einen Tauschverkehr zu den Gasen des Blutes treten. Wir haben uns in der That davon überzeugt, dass die Luft innerhalb des Tellers einen geringern O- und einen grössern  $\text{CO}_2$ -Gehalt als die atmosphärische besass, nachdem der Muskel einige Stunden in diesem hermetisch geschlossenen Raume gelegen hatte. Diesem Uebelstand und den daraus fliessenden Befürchtungen wäre leicht abzuhelfen gewesen, wenn der Muskel in eine anschliessende Hülle von feingewalzter Gutta-Percha eingeschlossen worden wäre. Zu dieser Massregel konnten wir uns jedoch nicht entschliessen, weil durch sie eine sorgfältige Ueberwachung der Muskelfläche unmöglich gemacht worden wäre, wie sie doch wegen des drohenden Eintritts einer Blutung und zur Prüfung der Reizbarkeit nothwendig war. Zudem schien uns auch der voraussichtliche Fehler nicht allzu bedenklich. Das Blut, welches durch die Arterien einfloss, war schon beim Defibriniren und den übrigen Vorbereitungen so anhaltend mit Luft geschüttelt worden, dass es entweder nahezu oder vollständig mit O gesättigt wurde, und ebenso war ihm bei jenen Vorbereitungen so viel  $\text{CO}_2$  entzogen worden, dass der noch verbleibende Rückstand ein zu fest gebundener sein musste um durch die dichten Arterienwänden auf der kurzen Wegstrecke von der Canüle bis in das Innere des Muskels merklich zu diffundiren. — In ungünstigen Verhältnissen befand sich das Blut, welches aus dem Muskel durch die dünnwandigern Venen arm an O und reich an  $\text{CO}_2$  zurückkam. Obwohl uns die Ueberlegung nicht fern stand, dass das von seiner vollen Sättigung mit Sauerstoff weiter abstehende Venenblut zur Aufnahme von atmosphärischem O sehr geeignet sei, so haben wir doch rücksichtlich dieses Gases alle Bedenken schwinden lassen, nachdem wir gefunden, dass das in langsamem Strome durch den Muskel fliessende O-freie Blut auch in unserm Sammelgefäss O-frei anlangte. Wenn also das mit den grössten Absorptionskräften begabte Blut während eines längern Aufenthaltes in den Venen keinen Sauerstoff aufnimmt, so wird dieses noch viel weniger von andern theilweise mit O gesättigten und rascher abfliessenden Blutarten angenommen werden dürfen. — Bedenklicher gestaltet sich die Sache für die  $\text{CO}_2$ , vorzugsweise darum, weil dieses Gas bekanntlich viel leichter als der O die mit Wasser getränkten Häute durchsetzt. Darum kann die Möglichkeit nicht bestritten werden, dass

ein Theil der Blut-CO<sub>2</sub> ausgetreten sei. Weil wir vom Gegentheil keine Gewissheit besitzen, so legen wir auf sonst bemerkenswerthe Versuche kein besonderes Gewicht. So findet sich u. A. unter den Beobachtungen mit Erstickungsblut eine, in welcher das aus dem Muskel zurückkehrende Blut ärmer an CO<sub>2</sub> war als das in ihn eingeführte. Da das zugeführte Blut ungewöhnlich reich an CO<sub>2</sub> war, so liesse sich ein Verlust an diesem Gase auch durch eine Absorption desselben von Seiten der Muskelflüssigkeiten erklären. Ebenso wenig wie auf diesen Versuch legen wir jetzt schon einen Werth auf die absoluten Quantitäten von CO<sub>2</sub>, welche wir in dem aus dem Muskel zurückkehrenden Blute auffanden. Auch die relativen Werthe der aus dem Muskel stammenden CO<sub>2</sub> berücksichtigen wir nur dann, wenn sie mit einem der zu vergleichenden Venenblutarten einen annähernd gleichen Gehalt an CO<sub>2</sub> darboten und wenn sie mit sehr annähernd gleicher Geschwindigkeit durch die Vene geflossen waren. Unter diesen Umständen durften wohl die aus dem Venenblut bestimmten CO<sub>2</sub>-Mengen zu einer Vergleichung der vom Muskel gelieferten benutzt werden, da alsdann ein von der Diffusion herrührender Fehler in beiden Fällen von sehr annähernd gleicher Grösse sein musste.

Die Richtungen, nach welchen die Durchströmungsversuche zu variiren waren, sind gegeben durch die Eigenschaften des Stroms, den Gasgehalt des Blutes und die Zustände des Muskels. Von der grossen Zahl von Versuchen, die hierdurch vorgeschrieben sind, haben wir nur einen kleinen Theil ausgeführt; unter den angestellten befinden sich jedoch solche nach einer jeden der bezeichneten Richtungen hin.

Wir beginnen unsere Mittheilungen mit den Erfahrungen, die wir über den O-Verbrauch gewonnen haben.

6. Verbrauch von Sauerstoff mit der Aenderung der Stromgeschwindigkeit. — Um den Einfluss der Stromgeschwindigkeit des Blutes auf den O-Verbrauch festzustellen, müssen der Muskel und das arterielle Blut, mit welchem die Versuche ausgeführt werden, genau dieselben sein. Dieser Forderung ist für das Blut ohne Schwierigkeit Genüge zu leisten, fraglicher erscheint diese Möglichkeit für den Muskel, da er sich mit der Zeit ändert. Um den Einfluss, welchen die Aenderung der Muskelstoffe mit sich führt, zu eliminiren, haben wir durch denselben Muskel mehrmals hintereinander das Blut mit ver-

schiedener Geschwindigkeit strömen lassen. Der Versuch selbst wurde so geleitet, dass der Blutstrom, bevor noch die zur Analyse bestimmte Portion aufgefangen wurde, jedesmal längere Zeit etwa 10 Minuten mit der Geschwindigkeit floss, die ihm während der Zeit zugeteilt werden sollte, in der die zur Analyse dienende Probe aufzufangen war. War diese letztere gesammelt, so wurde alsbald die Geschwindigkeit des Stromes so weit geändert, wie wir sie beim Auffangen der zweiten Probe zu haben wünschten. Bevor das Blut bei der neuen Geschwindigkeit über Hg aufgesammelt wurde, ward das aus den Venen kommende so lange weggelassen, bis wir erwarten konnten, dass das mit der neuen Geschwindigkeit einströmende Blut aus dem Muskel und den Zuleitungsröhren die Portionen verdrängt hatte, welche von der frühern Durchleitung her darin angehäuft waren. — Der Muskel selbst blieb während der ganzen Versuchsdauer in Ruhe. Vor Beginn und nach Beendigung des Versuchs wurde die Reizbarkeit durch die Minimalzuckung geprüft. Wir bemerken ein- und für allemal, dass sie sich unverändert erhalten hatte.

Nr. d. V.	Muskelgewicht.	Zeit in Min. v. Beginn d. 1. Sammlens.	Durchgeg. Blutvolum. in 1 Minute.	O-Verbr. in 1 Minute.	O-Gehalt d. Venenbluts.	O-Gehalt des Arterienbluts.
I.	211 Gr.	0—12	2,25 CbC.	0,19 CbC.	5,58	43,20
		36—66	1,03	0,09	4,02	
		79—90	2,91	0,21	5,85	
		108—137	1,08	0,08	5,43	
II.	200 Gr.	0—12	2,41	0,17	6,40	42,91
		38—74	0,86	0,07	4,45	
		80—91	2,90	0,21	5,83	
		105—138	0,94	0,07	5,48	
		150—164	2,21	0,14	6,42	
		186—223	0,85	0,06	6,44	
III.	135 Gr.	0—21	1,52	0,08	12,05	47,54
		31—78	0,69	0,04	11,17	
		168—195	1,30	0,14	5,87	
		267—319	0,58	0,05	9,35	
		379—401	1,37	0,09	10,75	
IV.		0—29	1,03	0,06	9,28	44,70
		54—112	0,51	0,05	5,90	
		292—323	0,93	0,08	6,98	
		354—412	0,57	0,04	6,98	
V.	152 Gr.	0—8,5	3,53	0,21	13,59	49,52
		20—47	1,11	0,10	10,60	
		55—64	3,39	0,19	13,44	
		72—99	1,11	0,07	12,81	



Da die Bedeutung der Zahlen aus den Ueberschriften der Stäbe zur Genüge klar sein durfte, so können wir sogleich zur Betrachtung ihres Inhaltes übergehen. Die vorstehende Reihe zeigt nun ganz unzweifelhaft, dass der Muskel in der Zeiteinheit dem Blute um so mehr O entzieht, je rascher das letztere durch ihn fliesst. Das spezifische, mit der Zeit veränderliche O-Bedürfniss, das jeder der fünf angewendeten Muskeln dargeboten haben mag, tritt, wie erkennbar, gegen den Einfluss der veränderlichen Stromgeschwindigkeit vollkommen in den Hintergrund, wenn die Unterschiede dieser letztern nur einigermassen bedeutend sind. Das ungleiche O-Bedürfniss leuchtet dagegen noch hervor, wenn die Unterschiede der Geschwindigkeit nur geringe sind; Beispiele hierfür finden sich im III. und IV. Versuch.

Bei der Klarheit, mit welcher in den vorstehenden Versuchen der Einfluss der Stromgeschwindigkeit auf den O-Verbrauch im Muskel hervortritt, hielten wir es für überflüssig, die Zahl unserer Versuche nach dieser Richtung hin noch weiter zu vermehren. Dieser Entschluss wurde uns um so leichter, weil wir auch noch wiederholt bei Versuchen, die ein anderes Ziel im Auge hatten, auf dieselbe Regel stiessen.

Der Einfluss, den die Stromgeschwindigkeit auf den O-Verbrauch übt, dürfte sich am einfachsten dadurch erklären lassen, dass es von ihr abhängt, wie weit sich der procentische O-Gehalt des venösen Blutes von dem des arteriellen entfernen kann, beziehungsweise wie gross der mittlere Procentgehalt des im Muskel anwesenden Blutes an O ist. — Denn da der Muskel dem Blute allen O bis zum Verschwinden desselben entziehen kann, so lässt sich erwarten, dass das rascher durchfliessende sich einen grösseren Sauerstoffgehalt gerettet hat als das langsamere bewegte. Dieses bestätigt sich, wenn wir den in der vierten Zahlenreihe eingeschriebenen O-Gehalt des venösen Blutes betrachten; wir finden dort, dass von zwei unmittelbar hinter einander folgenden Zahlen, d. h. von solchen, die sich auf zwei durch geringe Zeiträume von einander getrennte Versuche beziehen, diejenige jedesmal die grössere ist, welche dem raschern Strom entspricht.

Hiervon findet sich nur ein Mal eine Ausnahme in III. Hiernach dürfte der Schluss berechtigt sein, dass der Muskel den

Sauerstoff aus dem Blut um so rascher entfernt, je reichlicher er in dem letzteren vertreten ist.

Eine Vergleichung der Sauerstoffprocente des venösen Blutes mit dem O-Verbrauche in einer Minute führt aber noch einen kleinen Schritt weiter. Die obigen Mittheilungen ergeben nämlich, dass die beiden Zahlen für das Verhältniss, in welchem bei zwei mit einander verglichenen Beobachtungen einerseits die Stromgeschwindigkeiten, andererseits die O-Verbrauche zu einander stehen, annähernd dieselben sind; dieses ist mindestens in gewissen Grenzen der Fall. So stehen u. A., um ein Beispiel herauszugreifen, in Beobachtung I, Durchleitung 3 und 4, die Geschwindigkeiten des Stroms im Verhältniss von 1:2,6 und die O-Verbrauche in der Minute wie 1:2,7. Ganz anders gestaltet sich die Sache bei einer Vergleichung der O-Procente in den zugehörigen venösen Blutarten; sie sind nur wenig von einander verschieden, denn sie verhalten sich wie 1:0,93. — Diese sich stetig wiederholende Erscheinung scheint zu ergeben, dass sich der Muskel der verschiedenen O-Antheile, welche die Scheiben tragen, mit ungleicher Leichtigkeit bemächtigt, entweder weil die in den tiefern Schichten des Scheibchens gelegenen O-Massen schwerer zugänglich sind, oder weil der an dem Hämoglobin noch haftende O-Rest mit grösserer Festigkeit gebunden wird; jedenfalls nimmt die Fähigkeit des Muskels dem Blute O zu entziehen weit rascher ab als der Gehalt desselben an diesem Bestandtheile.

Die in dem Vorstehenden aufgedeckte Beziehung zwischen dem Gehalt des Blutes an O und dem Verbrauch desselben innerhalb des Muskels könnte man zunächst in Parallele setzen wollen mit der von *L. Hermann* betonten Sauerstoffzehrung, welche der ausgeschnittene, blutleere Froschmuskel erleidet, wenn er im sauerstoffhaltigen Raume hängt. — Der ausgeschnittene blutleere Froschmuskel stirbt im O-freien und O-haltigen Raume ab; also liegt dem Absterben ein Vorgang zu Grunde, dessen schliesslicher Ablauf durch den anwesenden Sauerstoff weder bedingt, noch aufgehoben wird. Da aber dünnere Muskeln rascher, dickere langsamer in O-haltiger Luft absterben als in O-freier, so schliesst *L. Hermann*, dass der O auf den Ablauf des Absterbens von Einfluss sei und zwar so, dass eine der Verbindungen, die er eingehe, erhaltend, eine andre aber zerstörend

wirke. Die letztere erhalte das Uebergewicht, wo der Sauerstoff ungehindert zutreten könne.

Vergleichen wir hiemit die Wirkungen des arteriellen Blutstroms, so sehen wir allerdings auch hier, dass der Muskel mit und ohne Blut abstirbt. Aber unter dem Zutritt des sauerstoffhaltigen Blutes erhält sich der Muskel 17 bis 20 Stunden länger reizbar, als wenn er blutleer bleibt oder wenn ihm nur O-freies Blut geboten wird. Das muss man doch eine erhaltende Wirkung des O's nennen. Besteht daneben eine zerstörende, so muss diese in einem ganz andern Verhältniss zur erhaltenden stehen, als sie der in der Luft hängende Froschmuskel gewahren lässt, denn sonst müsste der Blutstrom, welcher den Muskel bis zu mikroskopischen Dimensionen herab mit O mischt, rasch absterben. Besteht dennoch eine Analogie zwischen den von *Hermann* und uns beobachteten Vorgängen, so dürfte es schwer fallen sie darzulegen, solange man auf die Wirkungen des Sauerstoffs nur durch die Reactionen der erregbaren Substanzen schliessen kann.

Wie dem auch sei, jedenfalls lehren die von uns beobachteten Thatsachen, dass das durch den Muskel strömende Blut ausgedehntere Oxydationen einleitet, als sie zur Erhaltung der Reizbarkeit beziehungsweise zur Verlangsamung ihres Absterbens nöthig sind. Dieses ergibt sich daraus, weil der Muskel auf vollkommen gleicher Stufe der Erregbarkeit verharrete, mochte der Blutstrom rascher oder langsamer fließen: ja er behauptet dieselbe sogar, selbst wenn der Blutstrom längere Zeit unterbrochen war. Ebensowenig aber, wie die Reizbarkeit durch die lebhaftere Oxydation anstieg, ebensowenig wurde sie auch durch dieselbe beeinträchtigt, wie dieses aus Versuch III und IV (pag. 43) hervorgeht, bei denen wir während mehrerer Stunden den Strom fortwährend mit der grössern Geschwindigkeit fließen liessen.

Demnach besteht im Gegensatz zu den bisherigen Annahmen innerhalb des Muskels eine eigenthümliche Respiration, die unabhängig von den sog. Lebensvorgängen der contractilen Stoffe abläuft.

Betrachtet man die Bedingungen, unter denen sie vor sich geht, so kann man sich kaum der Vermuthung erwehren, dass ein Theil des Sauerstoffverbrauchs innerhalb der Blutgefässe selbst stattfindet, wobei es natürlich zunächst unentschieden

bleiben muss, ob, wie *Hoppe-Seyler* will, die Blutgefässwandungen oder ob irgend welche andre Umstände die Oxydation einleiten. Vergewenwärtigt man sich namentlich die Zeit, in welcher der O verschwindet, so erscheint sie kaum ausreichend, um auf dem Wege der Diffusion den reichlichen Austritt von O aus den Scheiben durch die Gefässwand hindurch zu ermöglichen.

Sollten künftige Untersuchungen lehren, dass auch in andern Capillarbezirken als in denen des Muskels der O-Verbrauch mit der Stromgeschwindigkeit des Blutes beziehungsweise mit dem O-Gehalt des letztern wachse, so würde die veränderliche Geschwindigkeit des Blutstroms eine bis dahin unerwartete Bedeutung gewinnen. Manche unbewiesene Behauptung würde in das Bereich der Thatsachen treten, wie z. B. die von *Cl. Bernard* befürwortete Wärmebildung nach Durchschneidung des n. sympathicus: und manche sichere Erfahrung würde anders zu deuten sein, wie z. B. die grössere Wärme des Blutes, das aus der thätigen Speicheldrüse oder aus einem entzündeten Glied zurückströmt.

Wir kehren zu unsern Versuchen zurück. Der Annahme, dass die Stromgeschwindigkeit desshalb maassgebend für den O-Verbrauch sei, weil sie den procentischen O-Gehalt des Muskelblutes regelt, erwächst eine Bestätigung durch die folgenden Versuche, in welchen das mit ungleichem O-Gehalt begabte, im Uebrigen aber gleichartige Blut mit derselben Geschwindigkeit durch den Muskel floss.

Nr. V.	Muskelgewicht.	Zeit.	Blutvolum für 4 Min.	O-Verbrauch in 4 Minute.	O-Gehalt d. venösen Bluts.	O-Gehalt des art. Bluts.
I	?	0—104	0,28	0,001	0,00	0,47
		104—199	0,30	0,046	3,45	16,30
	194 Gr.	85—154	0,42	0,004	0,48	0,62 15,04
		198—260	0,43	0,038	7,11	
		270—315	0,58	0,036	9,08	

Diese beiden Versuche halten wir ausser dem schon angeführten Grunde noch darum für der Erwähnung werth, weil sie, sich gegenseitig beleuchtend, zeigen, dass der ausgeschnittene Muskel dem Blute zwar die letzten Spuren von O entziehen

kann (I), dass aber dieses ganz ungemein langsam geschieht, da in II das venöse Blut trotz seiner geringen Stromgeschwindigkeit noch einen merklichen Antheil von O enthielt.

7. Sauerstoffverbrauch in verschiedenen Muskelzuständen. Den Einfluss - welchen die veränderlichen Zustände des Muskels auf den O-Verbrauch üben, haben wir namentlich untersucht: für die gleichnamigen Muskeln verschiedener Thiere im Maximum ihrer Reizbarkeit; für die Zustände der Ruhe, der Zuckung, der Ermüdung, der Erholung, der Starre und endlich für verschiedene Zeitabstände vom Beginn des Versuchs.

a. Um klar darzustellen, ob von der Gewichtseinheit gleichnamiger Muskeln, die verschiedenen Thieren entnommen sind, ungleiche Mengen von O verzehrt werden, müsste man selbstverständlich durch die aus den verschiedenen Thieren entnommenen Muskeln dasselbe Blut leiten. Ausserdem müssten die verschiedenen Muskeln sich in gleichen Zuständen, z. B. dem Maximum ihrer Reizbarkeit befinden, oder es müssten statt dessen mindestens die bestehenden Verschiedenheiten in den Lebenseigenschaften nach einem gemeinsamen Maassstab auszudrücken sein, und endlich es müsste die Geschwindigkeit des Stromes in allen Fällen die gleiche sein. Diesen Forderungen ist wiederum selbstverständlich keineswegs genügt in den Versuchen, welchen die folgenden Zahlen entnommen sind.

Sämmtliche Durchleitungen, die zu der folgenden Zusammenstellung benutzt sind, waren die ersten definitiven, welche an dem ausgeschnittenen Muskel vorgenommen wurden, sie sind demnach an Muskeln ausgeführt, die sich im Maximum der Reizbarkeit und Leistungsfähigkeit fanden, welche während der Versuchsdauer jedem der angewendeten Muskel zukam. Aus den bekannten Angaben ist die Stromgeschwindigkeit und der O-Verbrauch für 100 Gr. Muskelsubstanz berechnet, die Zahlen sind dann in absteigender Reihe nach der Grösse des Blutvolums geordnet, welche in einer Minute durch 100 Gr. Muskel geflossen war.

	Blut durch- gegangen in 4 Minute.	O-Verbrauch in 1 Minute.	O-Gehalt in 100 art. Blut.
1	5,68	0,151	13,97
2	2,32	0,138	19,52
3	1,32	0,079	15,94
4	1,30	0,100	16,52
5	1,21	0,090	13,20
6	1,12	0,059	17,54
7	1,11	0,110	14,90
8	0,80	0,052	15,04
9	0,46	0,033	15,47

In diesen Zahlen spricht sich abermals das Gesetz aus, dass mit der Geschwindigkeit des Stroms auch der O-Verbrauch wächst. Zugleich aber leuchtet die spezifische Wirkung der an dem Versuch beteiligten Stoffe (Muskel und Blut) hervor. So haben z. B. zwei Paare von Versuchen, nämlich 3 und 4 und andererseits 6 und 7 untereinander sehr annähernd gleiche Geschwindigkeit und doch ist ihr O-Verbrauch auffällig verschieden. Bemerkenswerther Weise strömte durch den Muskel 6, der etwa nur die Hälfte des O's band, wie Muskel 7, auch noch ein viel O-reicheres Blut, so dass die im sechsten Falle verminderte Zehrung an O keinesfalls abgeleitet werden kann von einem geringern Gehalt des Blutes an dieser Substanz. Da es jedoch nicht ausgemacht ist, ob das Blut nur durch seinen O-Gehalt für unsern Vorgang von Bedeutung ist, so müssen wir es unentschieden lassen, ob den Besonderheiten des Muskels der ungleiche O-Verbrauch bei gleicher Stromgeschwindigkeit zu verdanken ist.

b. Wir schreiten jetzt zu einem Vergleich des O-Verbrauchs während der Ruhe, der Zuckung und der durch letztere herbeigeführten Ermüdung. Bei diesen Versuchen wurde in den verschiedenen Zuständen je eines Muskels immer dasselbe Blut durchgeführt, auch wurde die Stromgeschwindigkeit möglichst gleich erhalten. Um dieses letztere zu erreichen bedarf es grosser Sorgfalt, da, wie schon früher erwähnt, der Muskel während der Ruhe, der Zuckung und der Ermüdung dem Strome verschiedenartige Hindernisse entgegensetzt. Dieser Umstand mag es erklären, dass in den folgenden Versuchen eine nicht noch vollkommene Gleichheit der Geschwindigkeit erzielt wurde. — Die Zuckungen wurden bei

den mitzutheilenden Versuchen dadurch erzeugt, dass durch den ganzen Muskel elektrische Schläge geschickt wurden, die ihn durchweg in heftige Zuckungen versetzten. Der Reiz wurde verstärkt, wenn die Energie der Zuckungen nachliess. Um den Muskel während der Beobachtungszeit möglichst auszunutzen, wurden die Zuckungen nicht ununterbrochen erregt, sondern er wurde nur je während einer Secunde oder etwas länger tetanisirt und dann die Reizung eben so lange unterbrochen, so dass der Muskel etwa während der Hälfte der Beobachtungszeit in Contraction verharrete. Zum Schluss des Versuchs sahen wir, trotz der auf eine grosse Stärke gebrachten Reize, den Muskel viel schwächer zucken als Anfangs. — Beim Aufsammeln des zu untersuchenden Blutes wendeten wir die Vorsicht an, dass wir vom zweiten der mitgetheilten Versuche an die Reizung früher als das Auffangen des Zuckungsblutes beginnen liessen, damit während dieser vorgängigen Zuckung das Blut aus dem Muskel entfernt wurde, welches er noch von der frühern beim Rubezustand erfolgten Zuleitung zurückgehalten. Eben so verdrängten wir durch den Blutstrom den blutigen Inhalt des Muskels, bevor wir nach beendeter Reizung das Ermüdungsblut auffingen. — Die Zeit der folgenden Tabelle ist vom Beginn des ersten Auffangens gerechnet.

Nr. d. V.	Zeit.	Durchgeg. Blutvolum in 4 Min.	O-Verbr. in 4 Min. in CbC. bei 0° u. 4 Mt. Hg.	Zustand d. Muskels.	O-Gehalt des venös. Blutes in 100 Thln.	Muskelgewicht.
I.	0—20	2,18CbC.	0,074CbC.	ruhend	10,74	
	20—40	2,32	0,170	zuckend	6,70	
	40—61	2,16	0,124	ermüdet	8,25	
II.	0—42 *)	0,74	0,050	ruhend	8,58	153 Gr.
	75—116	0,75	0,051	zuckend	8,75	
	124—172	0,68	0,035	ermüdet	10,04	
	178—214	0,85	0,038	ruhend	11,02	
III.	0—10	3,00	0,188	ruhend	9,89	227 Gr.
	30—46	1,95	0,216	zuckend	4,15	
	50—60	3,01	0,264	zuckend	7,20	
	90—100	2,98	0,272	ermüdet	6,82	
	104—119	2,68	0,182	ruhend	9,17	

\*) Durch vorausgegangene 1/4stünd. Blutleere vielleicht etwas ermüdet.

Nr. d. V.	Zeit.	Durchgeg. Blutvolum in 1 Min.	O-Verbr. in 1 Min. in CbC. bei 0° in 1 Mt. Hg.	Zustand d. Muskels.	O-Gehalt des venös. Blutes in 100 Thln.	Muskelgewicht.
IV.	0—12,5	2,40CbC.	0,19CbC.	ruhend	6,83	172 Gr.
	16—28	2,50	0,22	zuckend	6,40	
	34—47	2,34	0,20	ermüdet	6,49	
	85—97	2,60	0,13	ruhend	9,92	
	105,5—118	2,40	0,11	zuckend	10,42	
	133,5—146	2,40	0,14	ermüdet	9,06	

Um den für diessmal wichtigen Inhalt der vorstehenden Tabelle noch deutlicher übersehen zu lassen, wird es nützlich sein, aus ihr abzuleiten den Unterschied, und ebenso das Verhältniss zwischen dem O-Verbrauch während der Zuckung oder Ermüdung einerseits und der Ruhe andererseits. Ein + in dem mit »Unterschied« überschriebenen Stabe bedeutet ein Uebergewicht des zuckenden oder ermüdeten Muskels über den ruhenden; die Proportionalzahlen sind durch Division des O-Verbrauchs während der Ruhe in den während der Zuckung oder Ermüdung gewonnen.

#### Vergleichung des Verbrauchs bei Ruhe und Zuckung.

Unterschied.	Verhältniss.
I. + 0,099	2,39
II. + 0,004	1,02
III <sup>a</sup> . + 0,033	1,18
III <sup>b</sup> . + 0,084	1,44
IV <sup>a</sup> . + 0,030	1,16
IV <sup>b</sup> . — 0,020	0,84

#### Vergleichung des O-Verbrauchs bei Ruhe und Ermüdung.

Unterschied.	Verhältniss.
I. + 0,053	1,74
II. — 0,016	0,70
III <sup>a</sup> . + 0,089	1,49
III <sup>b</sup> . + 0,090	1,50
IV <sup>a</sup> . + 0,01	1,05
IV <sup>b</sup> . + 0,01	1,09

Durch die Zuckung wird demnach in der Regel dem O-Verbrauch ein deutlicher Zuwachs zugeführt. Dieses Anwachsen ist jedoch nicht immer sichtbar, vielleicht darum, weil es



nicht gross genug ist um den Ausfall auszugleichen, der in dem zweiten, von der Muskelthätigkeit unabhängigen Zehrungsvorgang eintritt. Durch die Compensation der beiden verschiedenen, innerhalb des Muskels auftretenden Prozesse erklärt sich am einfachsten die zweite Beobachtung im vierten Versuch, in welcher während der Zuckung keine Vermehrung, sondern eine Verminderung des O-Verbrauchs eintrat.

Statt dieser Erklärung könnte man auch noch eine andere versuchen wollen. Da durch den Eintritt O-haltiger Körperchen in den Muskel ein Oxydationsprocess veranlasst wird, so könnte man meinen, dass der O des Hämoglobins während der Zuckung besser ausgenutzt werde als während der Ruhe. Diese Erklärung ist, wie man sieht, analog derjenigen, welche *L. Hermann* für den Froschmuskel versucht hat, der im lufthaltigen Raume zuckt. Für den unter unsern Verhältnissen zuckenden Muskel dürfte sie jedoch unanwendbar sein oder mindestens die That-sachen nicht vollständig decken, weil der grössere O-Verbrauch sich auch noch in den Zeitraum der Ermüdung hinein erstreckt, in welchem der ruhige Muskel an der Blutbewegung nichts ändert.

Obwohl nun hiermit ein O-Verbrauch während der Zuckung dargethan ist, so ist damit doch keineswegs die Hoffnung erwachsen, dass wir aus der Grösse dieses letztern ein Maass für die vom Muskel ausgeführte Arbeit gewinnen könnten. Einstweilen erhebt sich gegen dieses Vorhaben der vorliegende Befund, wonach der Mehrverbrauch des O während der Contraction so beträchtliche Schwankungen darbietet. Hier kann man freilich mit Recht einwenden, dass möglicher Weise die Zuckung der verschiedenen Muskeln ebenfalls von sehr ungleichem Umfang gewesen sei. Gesetzt aber, wir liessen diesen Einwand gelten, so würde die Behauptung, dass der O-Verbrauch kein Maass für die Muskelarbeit sei, noch nicht fallen, weil man diesen, gleiche chemische Verwendung vorausgesetzt, doch nur dann dazu benutzen könnte, wenn man den Antheil an Sauerstoff, welchen die Contraction verbraucht, von demjenigen sondern könnte, welcher in dem nebenhergehenden Oxydationsprocess gebunden wird.

Die Triftigkeit dieses Grundes leuchtet vielleicht noch besser als es bisher schon geschehen ist ein, wenn wir eine Beobachtung hersetzen, bei der es uns nicht gelungen war, die Gleich-

heit der Stromgeschwindigkeit während Ruhe, Zuckung und Ermüdung zu erhalten.

Blutvolum in 1 Minute.	O-Verbrauch in 1 Minute.	O-Gehalt in 100 Th. des venös Blutes.	Zustand des Muskels.
4,15	0,110	11,32	ruhend
2,12	0,077	10,83	zuckend
0,75	0,032	9,56	ermüdet

Der während der Zuckung und der Ermüdung vorhandene O-Verbrauch ist also hier sehr viel geringer als der während der Ruhe; dem Fröhern gemäss offenbar darum, weil während der ersteren Zustände die Stromgeschwindigkeit geringer war.

Bevor wir in der Darstellung unserer Versuche weiter schreiten, wollen wir noch darauf aufmerksam machen, wie wenig geeignet die Bestimmung der gesammten Athemgase eines lebenden Wesens während der Ruhe und der Arbeit ist, um zu einer Kenntniss der O-Mengen zu gelangen, welche der arbeitende Muskel im Gegensatz zum ruhenden verbraucht. Die zum Theil beträchtlichen Unterschiede, welche man für die O-Aufnahme des ruhenden und arbeitenden Wesens gefunden, wurden bisher ohne Widerspruch auf die in der contractilen Substanz selbst stattfindenden Vorgänge bezogen. Nach unsern Versuchen ist dieses nicht mehr statthaft. Denn da im zuckenden Muskel das Blut in der Regel rascher als im ruhenden fliesst, so ist, ganz abgesehen von dem durch den Act der Zuckung selbst verbrauchten O, noch eine andre Ursache des Mehrverbrauchs durch den rascheren Strom gegeben. Also ist das Mehr des durch die Lunge einwandernden Sauerstoffs keineswegs allein durch die Vorgänge in der contractilen Substanz gefordert worden. — Aber man kann vielleicht noch weitergehend behaupten, dass der lebhaftere O-Verbrauch während der Muskelbewegung sogar nicht einmal allein vom Blutstrom und der Arbeit innerhalb des Muskels selbst abhängt, möglicherweise ist er mit bedingt durch die raschere Blutbewegung, welche auch in andern Körpertheilen, namentlich während einer ausgiebigen Muskelbewegung, darum einzutreten pflegt, weil durch die letztere der Inhalt vieler Venen in das Herz entleert wird, so dass nun dieses Blut dem Gesamtstrom zu Gute kommt. Die Gültigkeit dieser

Betrachtung dürfte auch durch die jetzt folgende Reihe von Bemerkungen nicht beeinträchtigt werden.

Da der ausgeschnittene vom künstlichen Strom gespeiste Muskel die charakteristischen Eigenschaften seines erregbaren Stoffes in geringerer Mächtigkeit bewahrt als der in der natürlichen Lage sitzende, so ist zu vermuthen, dass während der Zuckung des erstern weniger O verbraucht wird als während der des normal gelagerten und gespeisten Muskels. Die Richtigkeit dieser Vermuthung zu prüfen würde es sehr complicirter, wenn überhaupt ausführbarer Versuche bedürfen. — In Ermangelung derselben kann man jedoch einen Wahrscheinlichkeitsbeweis für die obige Annahme antreten, indem man den procentischen Gehalt an O vergleicht, welchen das Venenblut besitzt, je nachdem es aus Muskeln des lebenden Thiers oder aus dem ausgeschnittenen Muskel geflossen ist. Indem wir eine solche Vergleichung ausführen, werden wir die von uns gefundenen Zahlen neben die Mittel- und Grenzwerte des O-Gehaltes in dem Venenblut stellen, welches *Sczelkow* am lebenden Hund aufgefangen.

### I. Versuche von *Sczelkow* am lebenden Thier.

	O-Gehalt im Arterienblut	O-Gehalt im Venenblut	
		ruhender Muskel	zuckender Muskel
Mittel	15,23	6,70	2,40
Grenzen	—	8,22—4,39	4,68—1,27.

### II. Ausgeschnittener Muskel.

	O-Gehalt im Arterienblut, ruhend, zuckend, ermüdet,			O-Gehalt im Venenblut zuckend 2. ermüdet, ruhend			
I.	14,04	10,74	6,70	8,25	—	—	—
II.	15,47	8,58	8,75	10,04	—	—	11,02
III.	15,94	9,89	4,75	—	7,20	6,82	9,17
IV.	14,90	6,83	6,10	6,49	10,42	9,06	—
Mittel	15,08	9,01	6,52	8,26	8,81	7,94	10,14

### III. Herzblut nach *Schöffner*.

	O-Gehalt des Arterienbluts	O-Gehalt des venös. Bluts
Mittel	14,61	9,05

Wir sehen, dass das Venenblut, welches aus dem zuckenden Muskel des lebenden Thieres zurückkommt, um ein sehr Beträchtliches ärmer an Sauerstoff ist als dasjenige, welches

den ausgeschnittenen Muskel verlässt. Allerdings übt auf den Procentgehalt die Dauer der Anwesenheit des Blutes innerhalb des Muskels einen bedeutenden Einfluss, und man könnte demnach geneigt sein, den Grund der Verschiedenheit in der ungleichen Stromgeschwindigkeit der verglichenen Blutarten zu finden; hiergegen liesse sich einwenden, dass aus dem zuckenden Muskel des lebenden Thieres das Blut mit ungleich grösserer Geschwindigkeit hervorstürze als aus dem ruhenden, und soweit der Augenschein lehrte, nicht minder rasch als aus dem ausgeschnittenen von uns zur Vergleichung herbeigezogenen. Diese Aussagen haben allerdings keine grosse Bedeutung, weil der Bezirk, aus welchem im lebenden Thier der Strom hervorging, gänzlich unbekannt ist. Aber selbst zugegeben, es sei der Strom im Muskel des lebenden Thiers ein viel langsamerer gewesen, so würde sich hieraus immer noch nicht erklären lassen der geringe Gehalt an O desjenigen Blutes, welches aus dem zuckenden Muskel des lebenden Thieres kam. In ihm ist die untere Grenze, bis zu welcher der O-Gehalt sank, 4,7 Procent, ein Werth, zu dem wir niemals am ausgeschnittenen Muskel gelangten, wenn der Strom des arteriellen Blutes auch noch so langsam durch ihn floss. Wir glauben daraus schliessen zu müssen, dass der lebendige Muskel energischer auf den O wirkt, als der ausgeschnittene.

Auf einen ähnlichen Unterschied deuten diejenigen unsrer Zahlen hin, die wir an demselben Muskel fanden, welcher zweimal hinter einander in Zuckungen versetzt wurde. Das Blut, welches während der ersten Zuckungsperiode ausfloss, war ärmer an O als das während der zweiten Zuckungsperiode gewonnene. Da diessmal die Ursache des ungleichen O-Gehaltes nicht auf eine verschiedene Stromgeschwindigkeit bezogen werden kann, so bleibt nur die Berufung an eine ungleiche Befähigung zum O-Verbrauch offen.

Nicht überflüssig dürfte die Bemerkung sein, dass das Mittel des O-Gehaltes, welches die verschiedenen Blutproben darboten, die aus dem ruhenden ausgeschnittenen Muskel hervorgegangen waren, innerhalb der Fehlergrenzen mit dem O-Gehalt des venösen Blutes übereinkommen, welches *Schüffer* aus dem rechten Herzen von mehreren lebenden Thieren gewonnen hat; demnach entfernt sich die Wirkung, welche der ausgeschnittene Muskel auf den O des arteriellen Blutes übt,

nicht allzu sehr von derjenigen des lebenden Gesamttieres.

c. An die Beobachtung, dass bei einer zweiten Zuckungsperiode weniger O verbraucht wird als bei der ersten, schliesst sich die Frage an, ob auch der ruhende Muskel in dem Maasse weniger O verzehre, in welchem die Dauer seiner Abwesenheit aus seiner natürlichen Lagerstätte wächst. Um hierüber Aufklärung zu schaffen, liessen wir mehrmals durch einen ausgeschnittenen Muskel das Blut sehr lange Zeit hindurchgehen und fingen in Zeitabschnitten, die um mehrere Stunden von einander entfernt waren, einen Antheil desselben auf. Der Strom, welcher durch den immer ruhenden Muskel hindurchfloss, wurde bald mehr, bald weniger beschleunigt, so dass wir je zwei Blutproben aus einer raschern und einer langsamern Strömung erhielten, von denen je eine gewonnen war, als der Muskel erst seit Kurzem, die andere aber nachdem er schon seit drei bis nahezu sechs Stunden ausgeschnitten gewesen. Die folgende Tabelle giebt das gewonnene Resultat wieder. In zweien der mitgetheilten Versuche haben wir den Strom auch noch durch den in Starre übergegangenen Muskel geleitet. In dem einen derselben (II) trat die Starre wider unsern Willen ein, nachdem der Strom während zwanzig Stunden ununterbrochen durch den ruhenden Muskel angedauert hatte. In dem andern (III) führten wir dagegen die Starre absichtlich durch Blutleere herbei, nachdem der Muskel etwa zwei Stunden (die Vorbereitung mit einbegriffen) vom künstlichen Strom durchsetzt war. Dieser letztere Muskel war ausgezeichnet durch die Hartnäckigkeit, mit welcher er in der Blutleere seine Reizbarkeit festhielt. Erst sieben Stunden nachher, als der Blutstrom unterbrochen war, verschwanden die letzten Spuren seiner Erregbarkeit.

Zeit in Minuten.	Blutvolum in 1 Min.	O-Verbr. in 1 Min.	O in 100 Th. Venenblut.	O in 100 Th. Arterienblut.	Muskelzustand.
I. 0—21	1,52Ccm.	0,08Ccm.	12,05		
168—193	1,30	0,14	5,87		
379—404	1,37	0,09	10,75	17,54	
31—78	0,69	0,04	11,17		
267—319	0,58	0,05	9,35		

Zeit in Minuten.	Blutvolumen in 1 Min.	O-Verbr. in 1 Min.	O in 100 Th. Venenblut.	O in 100 Th. Arterienblut.	Muskelzustand.
II. 0—29	1,03Ccm.	0,06Ccm.	9,28		} todtenstarr
292—323	0,93	0,08	6,98		
54—112	0,51	0,05	5,90	44,70	
354—412	0,57	0,04	6,98		
1200—1212	2,56	0,40	10,48		
III. 0—8,5	3,53	0,21	13,59		} todtenstarr
55—64	3,39	0,19	13,41		
20—47	1,11	0,10	10,60		
72—99	1,11	0,07	12,81	19,52	
673—790	1,88	0,15	11,42		
801—844	0,69	0,07	10,27		

Aus der Vergleichung je zweier, durch gleiche Geschwindigkeit erlangten Blutproben, die sich dadurch von einander unterschieden, dass die eine früher und die andere erst um mehrere Stunden später aufgefangen wurde, ergibt sich, dass der O-Verbrauch im ruhenden Muskel mit der wachsenden Zeit nicht wesentlich abnimmt. Allerdings ist er nicht zu allen Zeiten genau derselbe, aber es fällt keineswegs die grössere O-Zehrung immer auf den Beginn der Beobachtungszeit, daraus wäre also die vielleicht nicht unwichtige Folgerung zu ziehen, dass der O-Verbrauch im ruhenden Muskel eine andere Abhängigkeit von der Zeit darbietet, als in dem zuckenden. Die Beobachtungen an todtenstarrten Muskeln sind ihrer geringen Zahl wegen und auch darum, weil in ihnen der Blutstrom mit andern Geschwindigkeiten floss, als dieses an dem noch lebenden Muskel geschehen war, zu quantitativen Urtheilen nicht geeignet, immerhin dienen sie jedoch zum Beweis dafür, dass auch der todtenstarre Säugethiermuskel dem Blute Sauerstoff entzieht, ähnlich wie wir dieses von einem todtenstarrten Froschmuskel wissen, welcher in O-haltiger Luft frei aufgehängt ist. Die Geschwindigkeit, mit welcher hier der O in dem Blut verbraucht wird, ist dem Anschein nach kaum geringer als unter ähnlichen Bedingungen im lebenden Muskel. Der O-Verbrauch in todtenstarrten Muskeln unter den hier bestehenden Umständen dürfte noch eine weitere Untersuchung verdienen, um zu entscheiden, ob zu seiner Einleitung die Anwesenheit gewisser Lebenserscheinungen in der Wand der Blutgefässe nothwendig ist.

d. Wir wenden uns jetzt zu der Beziehung, welche zwischen dem O-Verbrauch und der Wiederbelebung des vollkommen ermatteten Muskels besteht. Wir haben oben schon darauf hingewiesen, dass ein Muskel, der in Folge einer andauernden Blutleere seine Reizbarkeit vollständig eingebüsst hat, diese nur dann wieder zu gewinnen vermag, wenn er von O-haltigem Blut durchflossen wurde, während ein O-freies durch Eisen reducirtes Blut dieses nicht zu erreichen vermag. Somit lag es nahe, den O-Mengen genauer nachzugehen, welche für die Herstellung der Reizbarkeit nothwendig sind. Dass diese Versuche eine ganz besondere Sorgfalt erfordern, war uns schon früher klar geworden, als wir das Verhalten der Reizbarkeit gegen verschiedene Blutarten prüften. Damals war schon zu bemerken, wie rasch der O-haltige Blutstrom die verlorne Erregbarkeit wieder hervorrief; beispielsweise seien die folgenden Fälle erwähnt.

1. Blutleere während 128 Minuten; vollkommener Verlust der Erregbarkeit; die letztere kehrt nicht wieder während einer 38 Minuten anhaltenden Durchleitung von reducirtem Blut; als darauf in folgenden drei Minuten 13,5 Ccm. arterielles Blut durchgeflossen waren, war die Reizbarkeit nahezu wieder auf den Punkt gehoben, den sie vor der Blutleere eingenommen.

2. Durch den Muskel wird Erstickungsblut geleitet; nachdem der Strom 92 Minuten gedauert, ist der Muskel vollkommen ermüdet. Hierauf beginnt die Einführung desselben Erstickungsblutes, welches jedoch durch einen Zusatz von O hellroth gemacht worden war. 7 Ccm. dieses besauerstofften Erstickungsblutes waren genügend, um dem Muskel seine frühere Reizbarkeit nahezu wieder zurückzugeben.

Durch diese und ähnliche Versuche belehrt, gaben wir der einzigen quantitativen Beobachtungsreihe, die wir anstellten, folgende Anordnung. Der Muskel ward auf das Sorgfältigste vorbereitet, so dass kein Tröpfchen durch Blutung verloren ging, darauf ward er in den Raum des bedeckten Glastellers gelegt und mit den Elektroden in Verbindung gebracht; war dies geschehen, so begann der definitive Blutstrom. Kurze Zeit nachher ward der Rollenabstand ermittelt, bei dem die minimale Zuckung eintrat. Nachdem hierauf der Blutstrom noch etwa 10 Minuten gedauert hatte, unterbrachen wir denselben. Trotzdem dass jetzt die Zufuhr von Blut unterbrochen war, tropfte doch

noch von Zeit zu Zeit aus dem Glasröhrchen, welches in die Vene eingebunden war, etwas Blut ab, das offenbar durch Veränderungen, die innerhalb des Muskels stattfanden, beziehungsweise durch die Schwere desselben ausgepresst worden war. Danach konnte man voraussehen, dass auch mit dem Wiederbeginn des Stroms die Blutmasse, welche aus der Vene hervorlief, geringer als die zugeflossene sein würde, da die unter dem Stromdruck ausgedehnten Gefässe einen Theil des zugeflossenen zurückbehalten würden. Um diesen Antheil zu messen, setzten wir vor die Arterie ein kalibriertes Zuflussrohr, so dass wir beim Wiederbeginn des Stromes gleichzeitig die zu- und die abgeflossenen Volumina ablesen konnten. Aus dem Unterschied beider Werthe ergab sich die Menge des im Muskel zurückbehaltenen Blutes. Bevor der Strom in der beschriebenen Weise seinen Anfang nahm, wurde die Blutleere so lange fortgesetzt, bis der Muskel die heftigsten Reize nicht mehr mit sichtbaren Zuckungen beantwortete. War dieser Zeitpunkt eingetreten, so wurde nun das Blut aus den graduirten Zuflussgefässen zugelassen und von Minute zu Minute die Menge des aus ihm zum Muskel geflossenen abgelesen. Zugleich wurde der Muskel auf seine Reizbarkeit von Minute zu Minute geprüft, wobei der wachsenden Reizbarkeit entsprechend die Drähte aus dem Hohlraum der primären Rolle hervorgezogen und die Abstände beider Rollen vergrössert wurden. Wie in früheren Fällen, so kehrte auch hier die Reizbarkeit viel eher wieder zurück, als bis aus der Vene 30 Ccm. abgeflossen waren, d. h. so viel, als zur sichern Bestimmung des Sauerstoffgehaltes im Blute nothwendig war. Wir sahen uns deshalb gezwungen, auch nach vollkommener Herstellung der Reizbarkeit den Strom so lange fort dauern zu lassen, bis wir die nöthige Blutmenge aufgefangen hatten. Um nun zu schätzen, wie viel O zur Wiederherstellung der Reizbarkeit nothwendig gewesen, machten wir die Voraussetzung, dass der zu allen Zeiten gleich geschwinde Strom in jedem Zeittheil vom Anfang bis zu Ende gleichviel O eingeblüht habe. Die Annahme, dass der mittlere O-Verlust in der That für alle Zeittheile zu gelten habe, ist jedoch nicht vollkommen zutreffend, da das Blut, welches nach Wiederbeginn des Stroms zuerst aus der Vene in das Glasröhrchen übertritt, um ein Merkliches dunkler als dasjenige ist, welches einige Minuten später hervorgeht, somit unterschätzen wir also den



anfänglichen O-Verbrauch und überschätzen den später eintretenden. Wir kennen kein Mittel, um diesen kleinen Fehler zu vermeiden.

Der auf diese Weise angestellte Versuch verlief folgendermassen

Gewicht des Muskel 209 Gr.

Erste Durchleitung durch den reizbaren Muskel.

Die folgenden Zeiten sind vom Beginn der ersten Sammlung des Blutes an gezählt.

Zeit in Minuten. von 0—11'	Blutvolum in 4 Min. 2,72 Ccm.	O-Verbrauch in 4 Min. 1,21 Ccm.
-------------------------------	----------------------------------	------------------------------------

Hierauf wurde der Strom bis zur 194. Minute unterbrochen; der Muskel zeigte trotz Anwendung der stärksten Ströme keine Zuckungen mehr. Als dieser Zeitpunkt eingetreten, beginnt der Strom des arteriellen Blutes von Neuem; von dem Blut, welches aus den gläsernen Venencanülen ausfloss, wurden zunächst 4 Ccm. fortgelassen und darauf das Blut zur Analyse gesammelt.

Zeit in Minuten. 197—221	Blutvolum in 4 Min. 4,96	O-Verbrauch in 4 Min. 0,19
-----------------------------	-----------------------------	-------------------------------

Bis zu 221 Minuten waren im Ganzen 52 Ccm. zugeflossen, dagegen aus der Vene hervorgekommen 41 Ccm., also verblieben im Muskel 11 Ccm. In dem Zeitraum von 197—221 Minuten wurde die Reizbarkeit geprüft und gefunden:

Erste Spuren von Zuckungen durch sehr starke Reize, nachdem 40 Ccm. Blut in den Muskel geflossen und 0,95 Ccm. O (bei 4 Mt. Hgdruck und 0°C.) verbraucht waren. — Die Reizbarkeit war dagegen der ursprünglichen nahezu gleich als 40 Ccm. Blut zugeflossen, beziehungsweise 3,79 Ccm. O verbraucht waren. — Die Reizbarkeit ist wieder auf dieselbe Stufe angelangt, wie sie vor der Blutleere gewesen, als 52 Ccm. Blut eingeflossen beziehungsweise 4,93 Ccm. O verbraucht waren.

Zweite Durchleitung. Nachdem dies geschehen, wurde der Strom alsbald wieder unterbrochen, so dass der Muskel von der 223sten bis zu der 349ten Minute blutleer blieb. In diesem Zeitraum tropfte die von der frühern Leitung zurückgehaltene Blutmenge aus dem Muskel wieder ab, am Ende dieser Zeit zuckte der Muskel trotz der Anwendung sehr starker Ströme nicht mehr.

Mit der 319. Minute beginnt der Strom. Nachdem 4 Ccm. nach Aussen abgelassen waren, wurde zur Analyse aufgefangen.

Zeit in Minuten.	Blutvolum in 4 Min.	O-Verbrauch in 4 Min.
323—338.	2,44	0,23

Zugeflossen waren im Ganzen 43,5 Ccm., abgeflossen waren 34,0, also waren im Muskel zurückgeblieben 9,5 Ccm.

Die Reizbarkeit der erregbaren Stellen in der Umgebung des Nerveneintritts hatte sich schon sehr merklich gehoben als 15 Ccm. Blut eingeflossen, beziehungsweise 1,24 Ccm. O verbraucht waren. — Die Reizbarkeit hat sich auf die ursprüngliche Stufe erhoben, als 43 Ccm. Blut eingeflossen und 3,54 Ccm. O verbraucht waren.

Der Blutstrom ward darauf mit immer gleicher Geschwindigkeit fortgesetzt, wobei der Muskel sich auf gleicher Reizbarkeit erhielt, darauf wurde aufgefangen.

Zeit in Minuten.	Blutvolum in 4 Min.	O-Verbrauch in 4 Min.
380—391	2,72	0,15

Von der 406. Minute an wurde der Strom unterbrochen bis zur 449. Minute, worauf die Reizbarkeit vollständig erloschen war. Der Strom begann jetzt von Neuem und als 44 Ccm. Blut zugeflossen waren, hatte sich schon ein mässiger Grad von Reizbarkeit wieder eingefunden.

Dieser genau durchgeführte Versuch bestätigt also vollkommen das, was die früheren qualitativen Beobachtungen gelehrt hatten. Die in Folge der Blutleere erloschene Reizbarkeit kehrt nach einem äusserst geringen Verbrauch von O wieder zurück.

Ein Ccm. O bei 4 Mt. Hgdruck und 0° wiegt 1,907 Milligramm, demnach waren in der ersten der beiden vorstehenden Beobachtungen 1,8 Mgr. O genügend, um einen Muskel von 209 Gramm Gewicht wieder merklich reizbar zu machen und 7,4 Mgr. O, beziehungsweise 6,7 Mgr. O genügten, um in ihm die Reizbarkeit wiederum so vollständig herzustellen, wie sie im Beginn des Versuchs gewesen war. Diese in Anbetracht des grossen Muskelgewichts schon an und für sich äusserst geringfügigen Zahlen sind aber offenbar noch viel zu hoch gegriffen. Wir haben früher gesehen, dass in dem Muskel noch ein zweiter sauerstoffverbrauchender Vorgang abläuft,

der mit der Erhaltung der Reizbarkeit nichts zu schaffen hat. Dieser letztere wird also auch hier neben demjenigen hergegangen sein, welcher, indem er O verbrauchte, die Reizbarkeit wieder hergestellt hat. Ueber den Betrag an O, welcher jedem einzelnen der beiden genannten Vorgänge zu Gute gekommen ist, sagt unsre Beobachtung nichts aus, da in dem einen Fall vor der Ermüdung in der Zeiteinheit mehr O verbraucht wird, als während der Wiederherstellung der Erregbarkeit. — Im zweiten Fall fand dagegen das Umgekehrte statt. Daraus scheint hervorzugehen, dass der O-Verbrauch, welcher zur Wiederherstellung der Reizbarkeit nothwendig ist, durch die Variation der andern Zehrungsprocesse verdeckt werden kann. Wäre also nicht durch sorgfältige Versuche mit O-freiem Blut der Nachweis geliefert, dass ohne die Anwesenheit des O die Erregbarkeit nicht zurückkehrt, so würde es selbst den genauesten Methoden schwer fallen, auf quantitativem Wege die Nothwendigkeit des O darzuthun. — Hiemit findet, wie es scheint, die Streitfrage zwischen *G. v. Liebig* und *L. Hermann* ihre Erledigung; die Folgerung *Liebig's* bezüglich der Nothwendigkeit des Sauerstoffs zur Erhaltung der Reizbarkeit bleibt bestehen, wenn auch *Hermann* nach seinen Untersuchungen mit Recht behaupten darf, es lasse sich aus dem messbaren O-Verbrauch kein Beweis für den obigen Satz erbringen.

Eine genauere Verfolgung der Erscheinungen, welche die Wiederherstellung der Reizbarkeit unter dem Einfluss des O begleiten, wird unzweifelhaft noch zahlreiche Thatsachen zu Tage fördern und unsre Vorstellungen klären über das Verhältniss der Reizbarkeit zur Leistungsfähigkeit, ferner über den Ort, an welchem die Bindung des O vor sich geht u. A. Bei dem gegenwärtigen Stand unsrer Erfahrungen liegt es nahe anzunehmen, dass der Sauerstoff zunächst nur auf die Reizbarkeit, keineswegs aber auf die Gruppe von Einrichtungen wirke, deren Resultirende die Leistungsfähigkeit ist. Offenbar hat es einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit für sich, dass an der Ausführung einer Arbeit beziehungsweise der sie begleitenden Verschiebung der Muskeltheilchen diese letzteren insgesamt theilhaftig seien. Ist dieses der Fall, sind also, damit eine Leistung ausgeführt werden könne, dem weitaus grössten Theil der Muskelmasse gewisse Eigenschaften nothwendig, so ist nicht einzusehen, wie dieselben, wenn sie einmal verloren gegangen sind,

durch eine so geringe Menge von O wieder hergestellt werden können. Stellen wir uns dagegen vor, dass innerhalb des Muskels neben der Gruppe von Stoffen und Einrichtungen für die Leistungsfähigkeit eine andere bestehe, unter deren Mitwirkung die Reizbarkeit zu Stande kommt, so liegt nichts im Wege, anzunehmen, dass dieser letztere nur einen sehr kleinen Antheil der Muskelmasse ausmache, obwohl sie durch die ganze Substanz des Muskels hindurch verbreitet sei. Diese Masse würde als diejenige anzusehen sein, welche durch den Reiz zunächst in Bewegung gesetzt würde und welche, wenn dieses geschehen, dann erst die Gruppe der leistungsfähigen Bestandtheile zu Contractionen veranlasste. Zu dieser oder einer ähnlichen Vorstellung ist man, wie wir glauben, nicht allein durch die geringe Menge des zur Erholung nöthigen Sauerstoffs gedrängt, sondern auch durch die von uns früher betonte Thatsache, dass der künstliche Blutstrom die verlorne Leistungsfähigkeit, wenn überhaupt, so jedenfalls nur in beschränktem Maasse, wieder herstellen kann.

Ein eigenthümliches Licht auf die Stellung des Sauerstoffs zu den Einrichtungen, von welchen die Reizbarkeit abhängt, wirft die von uns beobachtete und schon früher erwähnte Thatsache, dass in dem ersten Stadium in der Blutleere die Reizbarkeit über ihr früheres Maass anwächst. Wir wollen aus ihr keine weiteren Hypothesen ableiten, wir erwähnen sie hier nur noch einmal, um die Aufmerksamkeit der künftigen Beobachter auf sie zu lenken.

8. Die  $\text{CO}_2$ -Bildung im Muskel. — Unsere Methode zum Auffangen des Blutes lässt, wie wir schon erwähnt haben, den Verdacht berechtigt erscheinen, dass eine, wenn auch geringe Menge von  $\text{CO}_2$  durch Diffusion aus dem Venenblut entwichen sei, bevor dasselbe in unsere Sammelröhrchen gelangte. Dieser Umstand lässt es uns gerathen erscheinen, von einer so umfänglichen Benutzung unsrer über jenes Gas gesammelten Thatsachen abzustehen, wie wir sie den auf das Sauerstoffgas bezüglichen angedeihen liessen. Wir halten uns dagegen für berechtigt, aus unsern Versuchen die Folgerungen abzuleiten, welche durch die eingetretene Diffusion nicht beeinträchtigt waren. Hierzu zählen wir zunächst solche Beobachtungen, bei welchen an demselben Muskel der Strom mit gleicher Geschwindigkeit durch die Vene floss. Da in diesen Fällen die

verschiedenen Blutmassen während sehr annähernd gleicher Zeiten der Diffusion ausgesetzt und in der Regel rücksichtlich ihres Gehaltes an  $\text{CO}_2$  nicht sehr verschieden waren, so darf man annehmen, dass der vorhandene Verlust für jede derselben ein gleicher gewesen sei.

a. Die erste unserer Betrachtungen bezieht sich auf den Unterschied in der  $\text{CO}_2$ -Bildung, während der Muskel ruht, zuckt oder ermüdet ist. Die Zusammenstellung der Zahlen aus den zu unserm Zweck brauchbaren und schon früher erwähnten Versuchen (p. 50) an 4 verschiedenen Muskeln führt zu der folgenden Tabelle. — Unter dem ersten Stabe derselben steht die Zeit von der Sammlung der ersten zur Analyse dienenden Blutmenge an gerechnet, unter der zweiten steht der Zustand des Muskels während der Sammlungszeit des Blutes, in der dritten Reihe steht die Blutmenge in Ccm., welche in je einer Minute während der Sammlungszeit aus der Vene floss. Die vierte Zahlenreihe giebt an, wie viel  $\text{CO}_2$  (in Ccm. bei 4 Mt. Hgdruck und  $0^\circ \text{C.}$ ) in je einer Minute während der Zeit der Durchleitung gebildet wurde. Bei den unter dem fünften Stabe stehenden Verhältnisszahlen der gebildeten  $\text{CO}_2$ -Mengen ist die während der Ruhe gebildete  $\text{CO}_2$  als die Einheit angenommen. Bei der Erwerbung dieser Zahlen wurden im Uebrigen selbstverständlich alle die Vorsichtsmassregeln in Anwendung gebracht, deren wir uns, wie Seite 49 erwähnt, bedienen.

Zeit des Aufsam- melns in Minuten.	Muskel- zustand.	Blut in der Minute.	$\text{CO}_2$ in der Minute.	Verhält- niss ruhend = 1.	$\text{CO}_2$ in 100 Th. art. Blut.	Muskel- gew
0—20	ruhend	2,18Ccm.	0,036Ccm.			
20—40	zuckend	2,36	0,137	3,80	17,09	—
40—64	ermüdet	2,46	0,146	3,22		
75—116	zuckend	0,75	0,055	1,22	19,29	153
124—172	ermüdet	0,68	0,038	0,84		
178—214	ruhend	0,85	0,045			
0—10	ruhend	3,00	0,229			227
50—60	zuckend	3,01	0,308	1,34	24,12	
90—100	ermüdet	2,98	0,277	1,21		

Zeit des Aufsam- melns in Minuten.	Muskel- zustand.	Blut in der Minute.	CO <sub>2</sub> in der Minute.	Verhält- niss. ruhend = 1.	CO <sub>2</sub> in 100 Th. art. Blut.	Muskel- gew.
0—12,5	ruhend	2,40 Ccm.	0,26 Ccm.		24,02	172
16—28	zuckend	2,50	0,49	0,73		
34—47	ermüdet	2,34	0,26	1,00		
85—97	ruhend	2,60	0,22		24,02	172
105—118	zuckend	2,40	0,49	0,86		
133—146	ermüdet	2,40	0,20	0,91		

Nur in der Mehrzahl der Einzelbeobachtungen, keineswegs jedoch in allen zeigt sich die Menge der CO<sub>2</sub> innerhalb des Venenblutes vermehrt, wenn dieses aus dem zuckenden oder dem ermüdeten Muskel hervorströmt. Trotz des unbeständigen Erfolgs scheint es dennoch als ob die Steigerung der CO<sub>2</sub>-Bildung, in den Fällen wo sie stattfand, von der Zuckung bedingt worden sei. Auf eine Zusammengehörigkeit beider Vorgänge deutet mindestens der Umstand, dass die CO<sub>2</sub> sich mit dem Eintritt der Zuckung plötzlich mehrt und mit ihr bis in die Periode der Ermüdung hinein andauert. Unsere Annahme wird ferner unterstützt durch die Beobachtungen, welche *Sczelkow* am lebendigen Muskelblut und *L. Hermann* am ausgeschnittenen Froschmuskeln anstellten. Beide Beobachter fanden, dass durch die Zuckung der CO<sub>2</sub>-Bildung Vorschub geleistet werde. Zugleich fehlt es nicht an Auswegen, um mit der vorstehenden Auslegung unserer Versuche das Vorkommen in Uebereinstimmung zu bringen, bei welchem das Venenblut des zuckenden oder ermüdeten Muskels weniger CO<sub>2</sub> ausführt als das des ruhenden. Will man sich nicht zu der an und für sich zulässigen Meinung bekennen, dass es auch Zuckungen geben könne, die ohne eine gesteigerte Neubildung der genannten Säure ablaufen können, so kann man annehmen, dass die während der Zuckung im vermehrten Maasse entstandene CO<sub>2</sub> den Gehalt des Blutes an derselben darum nicht auf oder über den des ruhenden Venenblutes gebracht habe, weil die andere von den Muskelzuständen unabhängige CO<sub>2</sub>-Bildung in den angegebenen Fällen aus unbekanntem Gründen verringert war. Diese letztere Unterstellung erscheint um so weniger als eine gesuchte, weil es den Anschein hat, als ob der ausgeschnittene Muskel auch während der Ruhe in einem besondern Verhältniss zur CO<sub>2</sub>-Bildung stehe.

b. Ueber das Verhältniss des verbrauchten O's zur neugebildeten CO<sub>2</sub>. — Die Beobachtungen von *Sczelkow* über das Verhältniss  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$  im ruhenden und zuckenden Muskel, haben zu der Meinung geführt, dass im Gegensatz zur Ruhe während der Zuckung CO<sub>2</sub> gebildet würde, ohne Zuthun des Sauerstoffs, welchen das arterielle Blut in den Muskel einführt. Diese Annahme schien ihre Bestätigung zu finden durch Athmungsversuche am Kaninchen und nicht minder durch die rasch berühmt gewordenen von *Pettenkofer-Voit* am Menschen ausgeführten Beobachtungen. Die Erfahrungen am ausgeschnittenen Muskel gewähren jedoch den ebenerwähnten Thatsachen keine Unterstützung. — Da die Beobachtungen über den Sauerstoffverbrauch (p. 50) und die über CO<sub>2</sub>-Bildung (p. 64) an denselben Muskeln und aus demselben Blut gewonnen sind, so lässt sich das Verhältniss  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$  aus ihnen ableiten.

Zustand des Muskels.	O-Verbrauch in 1 Minute.	CO <sub>2</sub> -Gewinn in 1 Minute.	$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$
I. ruhend	0,074	0,036	0,51
zuckend	0,170	0,137	0,81
ermüdet	0,124	0,116	0,94
II. schwachermüdet	0,050	0,067	1,33
zuckend	0,054	0,055	1,08
ermüdet	0,035	0,038	1,08
ruhend	0,038	0,045	1,18
III. ruhend	0,183	0,129	1,25
zuckend	0,264	0,308	1,17
ermüdet	0,272	0,177	1,02
IV. ruhend	0,19	0,26	1,34
zuckend	0,22	0,19	0,87
ermüdet	0,20	0,26	1,31
ruhend	0,13	0,22	1,73
zuckend	0,11	0,19	1,74
ermüdet	0,14	0,20	1,41

Rücksichtlich der Frage über die Erhöhung der Verhältnisszahl  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$  geht also aus der vorstehenden Zusammenstellung hervor, dass der betreffende Werth, während die Zuckung ein-

mal ein grosserer, dreimal ein kleinerer und einmal gleich derjenigen während der Ruhe war. Ganz dasselbe Verhalten bietet sich, wenn man den beregten Quotienten während der Ermüdung und der Ruhe mit einander vergleicht. — Somit giebt, wie schon erwähnt, die angestellte Vergleichung keine Veranlassung zu der Meinung, dass der zuckende ausgeschnittene Muskel vorzugsweise zu einer Zerspaltung seiner Molecüle und einer hieraus folgenden  $\text{CO}_2$ -Bildung geneigt sei.

Die vorstehenden Zahlen liefern dagegen das andre auffallende Ergebniss, dass innerhalb des ausgeschnittenen Muskels in der Regel und zwar in allen seinen Zuständen während der Ruhe, Zuckung und Ermüdung mehr  $\text{CO}_2$  entsteht, als aus den locker gebundenen O-Massen des Oxyhämoglobins hervorgehen kann.

Zur weitem Sicherstellung dieser Erscheinung wollen wir auch noch unsere andern  $\text{CO}_2$ -Bestimmungen herbeiziehen, in welchen die Folgen des Verlustes an  $\text{CO}_2$  nicht eliminirt sind. Vorausgesetzt, dass ihre Aussagen zu Gunsten der eben gegebenen ausfallen, sind sie zur Führung eines Beweises geeignet. Denn wenn sie, obwohl sie mit dem Verdacht des  $\text{CO}_2$ -Verlustes behaftet sind, dennoch einen Quotienten  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$  liefern, der die Einheit übersteigt, so ist sicher erwiesen, dass der O des Oxyhämoglobins zur Säurebildung nicht genügt habe.

Ausser den auf der vorstehenden Seite besprochenen Muskeln haben wir noch durch 8 andere arterielles Blut geleitet und den O und die  $\text{CO}_2$  des Blutes untersucht. Die Dauer der Strömung, aus welcher das zu analysirende Blut hervorging, beträgt bei jedem dieser Muskeln lange Zeit. Wenn wir demnach die O-Menge nehmen, welche während dieser ganzen Zeit verbraucht und sie in die  $\text{CO}_2$  dividiren, welche während dess gebildet wurde, so erhalten wir eine Auskunft, die sich über einen beträchtlichen Bruchtheil der Lebensdauer erstreckt, die dem Muskel noch vergönnt war. In der folgenden Zusammenstellung finden sich die hier einschlagenden Zahlen.



	Zustand des Muskels.	Gesamnte Zeit der Durchleitung.	Gesamnt. Blutmeng.	Gesamnter O-Verlust.	Gesamnter CO <sub>2</sub> -Gewinn.	CO O
I	17 Min. zuck.	83 Min.	118 Ccm.	4,18	4,31	1,03
II		209	147	7,44	10,13	1,36
III <sup>a</sup>		82	124	9,61	7,67	0,80
III <sup>b</sup>		23	63	4,59	4,13	0,90
IV <sup>a</sup>		76	188	12,23	12,21	1,00
IV <sup>b</sup>	ruhend	37	94	7,40	8,40	1,10
V		61	146	11,12	11,55	1,04
V <sup>a</sup>		169	153	11,91	12,68	1,05
V <sup>b</sup>		69	92	6,80	8,17	1,20
VII		176	120	9,40	5,34	0,57
VIII <sup>a</sup>		71	121	8,09	7,33	0,91
VIII <sup>b</sup>		17,5	60	3,50	4,19	1,20

Bevor wir aus den mitgetheilten Zahlen ein Resultat ziehen, werden wir erst den Grund angeben müssen, warum in der Tabelle die Muskeln III, IV, VI, VIII je zweimal erscheinen. An diesen Muskeln wurden die Versuche über die Aenderungen der Blutgase durch den ungleich raschen Blutstrom angestellt. Wir erhalten somit an ihnen Zeitabschnitte der langsamen und der raschen Strömung. Nun ist es offenbar, dass, wenn ein CO<sub>2</sub>-Verlust eintrat, dieser während der raschen Strömung geringer als während der langsamen sein musste. Während der langsamen Strömung konnte möglicherweise der Verlust so weit angewachsen sein, dass hierdurch der wahre Werth von  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$  wesentlich beeinträchtigt worden wäre, während dieser Schaden zur Zeit der raschen Strömung weniger zu befürchten war. Aus diesem Grund haben wir nicht nur die Resultate der Gasbewegung während der gesammten Dauer des Stroms eingeschrieben, sondern auch diejenigen, welche während der Zeit des rascheren Stroms gefunden wurden. Bei einer Vergleichung des Bruches  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$  von III<sup>a</sup> mit III<sup>b</sup> u. s. f. wird man in der That gewahren, dass derselbe für die Zeiten der rascheren Strömung jedesmal einen höheren Werth erhält als für die Zeiten der gesammten. Hieraus scheint sich also unsere Befürchtung eines CO<sub>2</sub>-Verlustes während der letztern zu bestätigen.

Die Verhältnisszahl  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$  erreicht und übersteigt, wie die Tabelle sehen lässt, in 5 Muskeln die Einheit wenn man die

Mittel aus der gesammten Stromzeit in Betracht zieht; wenn man dagegen die Zeiten der raschern Strömung zur Bildung der genannten Verhältnisszahl benutzt, so geben 6 Muskel einen die Einheit übersteigenden Werth des Quotienten; der 7. erreicht sie nahezu, so dass unter den 8 Muskeln nur einer übrig bleibt, welcher stark aus der Reihe fällt. Unter diesen Umständen wird man sich nicht dem Vorwurf der Uebertreibung aussetzen, wenn man diese Beobachtungen als einen Beweis dafür ansieht, dass in der Regel der ausgeschnittene Muskel zur  $\text{CO}_2$ -Bildung mehr O verbraucht als er aus dem lose gebundenen der Blutscheiben beziehen kann.

Einen nicht minder entscheidenden Beweis erhält man aus den Durchleitungen des Blutes, das wenig oder gar kein O enthält. Der Versuch mit entsauerstofftem Blute führt jedoch nur dann zu einem deutlichen Resultat, wenn man in die Arterie ein Blut mit nicht allzu grossem Gehalt an  $\text{CO}_2$  einleitet. Zuerst übersahen wir die Bedeutung des letztorn Umstandes und führten durch einen Muskel Erstickungsblut mit 38,7 bez. 40,87 Proc.  $\text{CO}_2$ . In zwei auf einander folgenden Leitungen kehrte das Blut mit 35,40 und beziehungsweise mit 43,77-Proc. beladen zurück. In dem einen Fall hatte es also  $\text{CO}_2$  eingebüsst, in dem andern daran gewonnen. Ob der Verlust innerhalb des sehr langsamen Stromes im Muskel oder durch die Venenwand in die Luft geschah, wissen wir nicht.

Durch diesen Versuch belehrt, wendeten wir später Blut an, das zuerst durch Schütteln mit Luft eines grossen Theils seiner  $\text{CO}_2$  beraubt und welchem dann durch Eisen der O entzogen war. Einen Fall, in welchem dieses letztere nahezu gelungen, theilen wir ausführlich mit, der Muskel wog 194 Gramm, er wurde nur, soweit dies zur Prüfung der Reizbarkeit nothwendig, gereizt.

Zeit v. Beginn d. Auffangens.	In der Minute.			In 100 Theil. des zu- geflossenen Blutes.	
	Blutvolum.	O.	$\text{CO}_2$ .	O.	$\text{CO}_2$ .
1. 0—19	1,56	0,099	0,136	15,04	21,95
2. 30—63	0,90	0,009	0,101		
3. 85—154	0,42	0,004	0,018	0,62	19,41
4. 198—260	0,43	0,038	0,022		
5. 270—315	0,58	0,036	0,036	15,04	21,95

In der Zeit, die zwischen die 1. und 2. Aufsammlung fiel, wurden 11 Ccm. reducirten Blutes durch den Muskel geschickt. In der Zeit, welche zwischen die 3. und 4. Aufsammlung fiel, wurden 24 Ccm. arteriellen Blutes durch den Muskel geführt. Nach Beendigung der 3. Aufsammlung, nachdem also der Muskel während 135 Minuten von reducirtem Blut durchströmt worden war, hatte er seine Fähigkeit, auf sehr starke Reize zu zucken, eingehüsst. Nachdem alsdann 30 Ccm. arteriellen Blutes durch ihn gegangen, fanden sich jetzt, mit schwächeren Schlägen gereizt, lebhaftere Zuckungen ein. Aus dem O-Gehalt des Blutes in Durchleitung 4 würde sich bis zu dieser Zeit ein O-Verbrauch von 3,44 Ccm. berechnen.

Mit Rücksicht auf die Frage, ob ein Muskel, der von O-freiem Blut durchströmt wird, CO<sub>2</sub> zu liefern im Stande ist, würde aus der vorstehenden Reihe nur das Resultat der dritten Durchleitung herbeizuziehen sein. Man sieht, dass die Antwort bejahend ausfällt. Vergleicht man 3 und 4, in welchen das Blut mit gleicher Geschwindigkeit strömte, so stellt sich heraus, dass der durch den vorgängigen O-Mangel fast vollständig ermüdete und noch immer von nahezu sauerstofffreiem Blut durchströmte Muskel, wie er bei der Aufsammlung 3 gewesen, nahezu ebensoviel CO<sub>2</sub> geliefert hat, wie während des Aufsammeleins 4, bei welcher der wieder reizbar gewordene Muskel von arteriellem Blut durchflossen war. Obwohl also in 3 dem Muskel fast gar kein Sauerstoff durch das Blut zugeführt wurde, war dennoch die CO<sub>2</sub>-Bildung nahezu so mächtig gewesen wie in 4, wobei das den Muskel durchsetzende Blut eine merkliche Menge von O eingehüsst hatte.

In einem zweiten Versuch, der dasselbe Ziel, wie der vorstehende anstrebte, war die Entfernung des O's nicht so vollständig gelungen; immerhin ist auch diese Beobachtung erwähnenswerth.

Zeit.	Zustand d. Muskels.	In der Minute.			Gehalt in 100 Theilen Blut der Arterien.   der Venen.			
		Blutstrom.	O	CO <sub>2</sub>	O	CO <sub>2</sub>	O	CO <sub>2</sub>
1. 0—65	ruhend	0,47	0,019	0,068	5,29	16,44	1,32	30,84
2. 65—87	zuckend	1,48	0,129	0,198	16,27	17,34	7,57	30,72
3. 87—154	ruhend	0,50	0,054	0,045	—	—	6,07	26,35

Auch hier ist das Volum der gebildeten  $\text{CO}_2$  viel beträchtlicher als das des verlorenen  $\text{O}'\text{s}$ . Durch alle diese Thatsachen scheint es uns nun unzweifelhaft erwiesen, dass der ausgeschnittene Muskel mehr  $\text{CO}_2$  bildet, als er es vermöge des mit dem Blute zugeführten  $\text{O}'\text{s}$  thun konnte. Da dieses geschieht in der Ruhe und Zuckung und während der Durchleitung eines Blutes, das reich oder arm an Sauerstoff ist, so glauben wir nicht fehl zu gehn, wenn wir diesen Vorgang als einen dem ausgeschnittenen Muskel unter allen Umständen eigenthümlichen ansehen. Hiezu glauben wir um so mehr berechtigt zu sein, weil diejenigen Angaben nichts Aehnliches gewahren lassen, die wir über die  $\text{CO}_2$ -Bildung des Muskels besitzen, der noch seinen natürlichen Standort einnimmt. Aus den Mittheilungen von *Sczelkow* über das Verhältniss zwischen  $\text{O}$ -Verbrauch und  $\text{CO}_2$ -Bildung innerhalb eines dem lebenden Thiere angehörigen Muskels, geht mit Entschiedenheit hervor, dass der ruhende Muskel des lebendigen Thiers noch lange nicht so viele Volumina  $\text{CO}_2$  bildet als er dieses vermöge des vom Blute abgegebenen  $\text{O}'\text{s}$  zu thun vermöchte. Diese Erfahrungen knüpfen an eine von *L. Hermann* gewonnene an. Nach dieser letztern vollendet sich das Absterben des nicht ernährten Froschmuskels jedesmal unter Bildung einer bestimmten von der Art des Absterbens unabhängigen  $\text{CO}_2$ -Menge, woraus zu schliessen, dass die Erregbarkeit erlösche, so wie ein bestimmter Antheil eines nicht näher zu bezeichnenden Molecöls der Muskelsubstanz zerstört sei. — Zu dieser Anschauung passt es, dass auch der ausgeschnittene und ernährte Säugethiermuskel während seines Absterbens eine  $\text{CO}_2$ -Bildung sehen lässt, die unabhängig von der durch das Oxyhämoglobin eingeleiteten vor sich geht. Ob aber die Uebereinstimmung zwischen den Thatsachen von *Hermann* und den unsern noch weiter zu treiben, scheint uns zweifelhaft. Denn wir sehen schon die Möglichkeit nicht ein, wie man am ausgeschnittenen von Blut durchströmten Säugethiermuskel das hier in Frage kommende  $\text{CO}_2$ -Volum bestimmen wollte, weil es durchaus kein Kennzeichen für die auf den Process des Absterbens sich beziehende  $\text{CO}_2$  giebt. — Ausserdem ist augenscheinlich die vom Sauerstoff des Oxyhämoglobins unabhängig gebildete  $\text{CO}_2$ -Menge geringer, wenn der Muskel blutleer, und grösser, wenn er trotz des fortdauernden Blutstroms absterbt. — Zudem setzt sich die Bildung der  $\text{CO}_2$ , die aus dem

Zerfall O-haltiger Molecüle hervorgeht, auch noch während der Todtenstarre fort. So fanden wir den Quotienten  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$  in drei Leitungen von zwei verschiedenen todtenstarren Muskeln zu 3,3; 2,0 und 1,1. An eine zeitliche Abgrenzung der Prozesse im absterbenden und abgestorbenen Muskel ist also ebenfalls nicht zu denken.

---