

**Ueber die Abhängigkeit der Contractionsart der Muskeln von den
Mengenverhältnissen einiger ihrer Bestandtheile.**

Beitrag für eine zukünftige Theorie der Contraction.

Von

Dr. Alex. Danilevsky.

(Der Redaktion zugegangen am 23. November 1882).

Im Laufe meiner Studien über die chemische Natur des Myosins, zumal bei seiner Darstellung war es mir mehrmals aufgefallen, dass verschiedene Fleischsorten bei ein und derselben Behandlung ungleiche Mengen Myosin und unlöslichen Rückstandes, auf dieselben Quantitäten Fleisch bezogen lieferten. Zahlreiche Wiederholungen dieser Beobachtung liessen die Richtigkeit derselben unzweifelhaft erscheinen. Sie gewann an Interesse, als ich bemerkte, dass diese Verschiedenheit in der Zusammensetzung mit dem Bewegungscharakter der Thiere im Zusammenhange zu stehen schien. Dieser Bewegungscharakter wird durch den zeitlichen Verlauf der Contraction bedingt. Von diesem Gesichtspunkte aus sind sehr scharfe Unterschiede zwischen verschiedenen Thieren und sogar zwischen verschiedenen Muskelgruppen eines und desselben Thieres der einfachsten Beobachtung zugänglich und auch in der That allgemein bekannt.

Man braucht sich nur vergleichsweise die raschen tonerzeugenden Bewegungen der Insektenflügel, die immer noch schnell aufeinanderfolgenden aber nur Geräusch hervorrufenden Bewegungen der Flügel des Sperlings, die immer noch lebhaften Verkürzungen, welche der Mensch mit den Händen oder

Fingern ausführen kann und die langsamen Bewegungen der Glieder eines Ochsen in's Gedächtniss zu rufen, um eine Vorstellung über die ungemein grossen Unterschiede, welche sich in dem Verlauf der Verkürzungen und der Erschlaffungen verschiedener Muskeln kund geben, zu verschaffen. Diese einfachen und in die Augen springenden Thatsachen des gewöhnlichen Lebens haben die Aufmerksamkeit der Naturforscher auf sich gezogen und man hat sich bemüht, sie wissenschaftlich zu präcisiren und aufzuklären. Leider aber ist bis jetzt nicht Vieles daran gethan worden. So hat Marey ¹⁾ festgestellt, dass der Verlauf der Zuckung der Insektenmuskeln viel kürzer als der der Frostmuskeln ist, und die letzteren verkürzen sich wiederum schneller als die der Schildkröte. Marey hält es sogar für möglich, eine Scala für die Schnelligkeit der Bewegungen in der Thierreihe aufzustellen, welche mit den äusserst rapiden Zuckungen der quergestreiften Insektenmuskeln beginnend, in der Folge die Skelettmuskeln der Vögel, Fische, Säugethiere, Frösche, Schildkröten, des winterschlafenden Murrethieres, die Herzmuskulatur und endlich die glatten Muskeln aufzählt. Ob diese Reihenfolge der Wirklichkeit richtig entspricht, muss noch untersucht werden. In der Folge werde ich Thatsachen anführen, welche nicht nur eine theilweise Correction und Vervollständigung für diese Reihe beibringen, sondern ein Prinzip feststellen werden, mit Hülfe dessen man dergleiche Fragen richtiger auffassen kann.

Unterschiede im Zuckungsverlauf sind nicht nur für Muskeln verschiedener Thierklassen oder einzelner Thiere, sondern sogar für einzelne Muskelgruppen eines und desselben Thieres beobachtet und genauer untersucht worden. So haben zuerst Ranvier ²⁾, sodann auch Kronecker und Stirling ³⁾ gezeigt, dass die rothen Kaninchenmuskeln eine gedehntere Zuckungcurve liefern als die blassen Muskeln

¹⁾ Hermann's Handbuch der Physiologie, Bd. I, Th. I, S. 38.

²⁾ Archiv de physiologie normale et pathologique 1874, S. 5.

³⁾ Hermann's Handbuch der Physiologie, Bd. I, Th. I, S. 38.

desselben Thieres. Weiterhin haben die letztgenannten Forscher gefunden, dass bei einer gewissen Reizfrequenz die rothen Kaninchenmuskeln sich in einer continuirlichen Contraction (Tetanus) befinden, während die blassen unter gleichen Umständen noch Zuckungen und Erschlaffungen geben. Aehnliche Thatsachen werden auch von Marey angeführt. So fand er, dass, um eine tetanische Verschmelzung der Zuckungen zu erzeugen, eine Reizfrequenz pro Secunde

Für die Muskeln der Schildkröte gleich	2
« Hyoglossus des Frosches	10
« Gastrocnemius des Frosches	27

nothwendig ist.

Nach Kronecker und Stirling¹⁾ ist zur Erreichung desselben Erfolges für die rothen Kaninchenmuskeln eine Reizfrequenz pro Secunde gleich 4 bis 10, für die blassen Muskeln desselben Thieres von 20 bis 30 erforderlich.

Nach Landois²⁾ und Marey³⁾ muss man eine Reizfrequenz über 330 bis 440 gebrauchen, um die Flügelmuskeln von Insekten in Tetanus zu versetzen.

Nach allem Angeführten bleibt es keinem Zweifel unterworfen, dass verschiedene Muskeln auf Grund ihrer immanenten Eigenschaften sehr grosse Unterschiede in der Ausbildung ihrer Verkürzungen und nachherigen Erschlaffungen aufweisen. Aber über die dieses Phänomen bestimmenden Eigenschaften der Muskelsubstanz liegen bis jetzt gar keine Aufklärungen vor. Man kennt noch gar keine Thatsachen, welche uns diejenigen inneren organischen Eigenthümlichkeiten des Baues und der Zusammensetzung der Muskelsubstanz anzeigen könnten, von welchen die erwähnten Unterschiede der Funktion abhängig sind. Die Muskelbewegung ist aber ein mit dem thierischen Leben so eng verwebtes, ein so wichtiges und in mancher Hinsicht bestimmendes Phänomen, dass ein richtiges causales Verständniss einer wichtigen zugehörigen Theilerscheinung — der Bewegungsschnelligkeit — sehr wünschenswerth erscheint.

¹⁾ A. a. O.

²⁾ A. a. O.

³⁾ A. a. O.

Ja sogar vom praktischen Standpunkt aus kann dieses Wissen von Nutzen sein; ich brauche hier nur an die für mannigfaltige Zwecke des menschlichen Lebens nothwendige künstliche Entwicklung der Bewegungsschnelligkeit der Finger, der Hände, der Füße zu erinnern. Was geschieht aber bei dieser durch stetiges Ueben allmählich sich entwickelnden Eigenthümlichkeit in den Muskeln selbst? Dass sie allmählich eine Veränderung erfahren müssen, liegt auf der Hand. Worin besteht diese Veränderung? Aber diese Frage ist nicht die einzige, die jene merkwürdigen physiologischen Erscheinungen in uns wachrufen. Wie oft sehen wir, dass ein Muskel oder eine Muskelgruppe durch krankhafte Einflüsse ihren normalen Bewegungskarakter einbüßen. Ich erinnere nur an das erkrankte Herz. Kennen wir denn wirklich die Veränderungen der Herzmuskulatur, welche sich allmählich einstellen, wenn es einer abnormen Erregung durch seine Nerven oder einer übertriebenen Arbeitsleistung dauernd ausgesetzt ist? Ist es wirklich richtig, wenn man sagt, dass ein hypertrophirtes Herz nur mehr Muskelbündel besitzt und dabei die Zusammensetzung der Bündel stillschweigend als normal annimmt?

Alles dieses hat mich bewogen, nachdem ich einige Fingerzeige auf diesem Gebiete gefunden habe, eine Reihe von Versuchen zu unternehmen, um der Lösung der Grundfragen durch Ermittlung wenigstens einiger der wichtigsten Thatsachen einen Anstoss zu geben.

Wie oben erwähnt wurde, habe ich bei meinen Studien über das Myosin die Beobachtung gemacht, dass Muskeln von Thieren, welche mit einem auffallend verschiedenen Character ihre Bewegungen ausführen, stets auch verschiedene Mengen Myosin lieferten. Dieses bewog mich die Frage nach dem Zusammenhang des Bewegungscharacters mit der Zusammensetzung der Muskeln einem eingehenden Studium zu unterwerfen. Einige Vorversuche hatten den Zweck, festzustellen auf welche Muskelbestandtheile in diesen Fällen die

Aufmerksamkeit zu richten sei. Es hat sich herausgestellt, dass der Bewegungscharacter des Muskels in chemischer Hinsicht von dem Verhältniss zwischen Myosin- und der Bündelgerüstmenge¹⁾ abhängig ist. Es war also die Aufgabe gegeben, in verschiedenen Muskeln die Quantität dieser Bestandtheile möglichst genau zu bestimmen. Vor Allem aber musste man sich Bestimmungsmethoden auswählen oder schaffen.

Was das Myosin betrifft, so hat L. Hermann²⁾ sich vergebens bemüht, eine solche ausfindig zu machen. Als er Kochsalzlösung zur Extraction des Myosins aus den Muskeln anwandte, fand er, dass man damit das sämmtliche Myosin nicht ausziehen kann. Wenn Plósz³⁾ aber auch das Gegentheil behauptet, so ist bis jetzt doch noch keine Methode für die quantitative Bestimmung des Myosins vorgeschlagen worden. Ich musste mir also eine solche schaffen und durch Kontrolle ihre Richtigkeit feststellen.

Es gibt für Myosin zwei ausgezeichnete Lösungsmittel — sehr verdünnte Salzsäure und Salmiaklösung. Beide Mittel können zum Extrahiren des Myosins aus den Muskeln dienen: da aber beide Lösungsmittel zu gleicher Zeit auch andere Bestandtheile, eventuell auch andere Eiweisskörper aufnehmen können, so liegt der Schwerpunkt der Methode weniger in der vollständigen Extraction des Myosins als in seiner Trennung von anderen mitgenommenen Bestandtheilen. In dieser letzteren Hinsicht aber haben beide Lösungsmittel einen sehr ungleichen Werth und müssen daher näher und gesondert examinirt werden.

Zuerst ist hervorzuheben, dass man durch verdünnte Salzsäure die Muskeln vom sämmtlichen Myosin befreien kann. Dieses wird durch folgenden Versuch bewiesen: Man zerkleinere fett- und nervenfreie Muskeln recht fein, zertheile den Brei in nicht zu wenig Wasser, füge unter Umrühren

¹⁾ Die Definition des Bündelgerüstes wird weiter unten gegeben werden.

²⁾ Hermann's Handbuch der Physiologie, Bd. I, Th. 1, S. 270.

³⁾ Ebendasselbst.

verdünnte Salzsäure hinzu bis die Mischung nur eben Tropæolin 00 schwach zu bräunen anfängt, verdünne mit noch mehr Wasser, rühre von Zeit zu Zeit während wenigstens zwei Stunden um und lasse die Mischung in einem hohen Glascylinder ruhig stehen. Nach einigen Stunden giesst man die überstehende opalescirende Lösung ab und wäscht den Rest mit Wasser durch Decantiren oftmals aus. Wenn das abfiltrirte Wasser Lakmus fast nicht mehr röthet und bei vorsichtigem Zusatz von sehr verdünnter Sodalösung keine Trübung mehr erzeugt, übergiesse man den ungelösten Muskelrest mit 12—13% Salmiaklösung, rühre um und filtrire nach 5—10 stündigem Stehen ab. Ist Myosin in die Salmiaklösung übergegangen, so muss es sich beim Erhitzen auf 60—65° ausscheiden. Myosin ist in Salzlösungen gegen hohe Temperaturen so überaus empfindlich, dass ein Paar Milligramme Myosin bei viertelstündigem Erhitzen auf 60—65°, 200 bis 300 cbem. Salmiaklösung trüben. Im gegebenen Falle aber bleibt die Lösung ganz klar und enthält demnach keine nachweisbaren Spuren von Myosin. War die Salzsäure nicht im Ueberschusse angewendet und die Mischung nicht erhitzt worden, so war auch keine Ueberführung des Myosins in Syntonin möglich gewesen.

Wäre aber auch letzteres der Fall, so müsste das durch Salzsäure gebildete Syntonin ebenso leicht wie Myosin in der sauren Flüssigkeit sich auflösen. Die Extraction des Myosins mit Salzsäure ist also vollständig. Sie geschieht ziemlich schnell, wenn auch das Auswaschen mit Wasser längere Zeit erfordert, da die letzten Spuren des salzsauren Myosins aus den zerkleinerten Muskelbündeln nur durch Diffusion herausgefördert werden können. Diese Extractionsmethode beruht darauf, dass die Salzsäure mit Myosin eine leicht lösliche Verbindung eingeht. Da aber freie Salzsäure selbst in starker Verdünnung (1,0—05%) nachweislich modificirend auf andere Eiweisskörper einwirken und sie in syntoninartige Producte umwandeln kann, so darf bei Anwendung dieser Methode keine freie Salzsäure in der Mischung vorhanden sein. Dieses wird vermittelt des Tropæolins, wie oben gezeigt ist, leicht

erreicht. Von anderen Albuminarten, welche neben Myosin in den Muskeln vorhanden sind, ist keine im Stande Salzsäure bei 15—20° zu binden, dieses wird nur von Myosin oder von myosinartigen Körpern bewirkt. Hat man zu dem Muskelbrei nur so viel Salzsäure zugesetzt, dass Tropæolin keine freie Salzsäure anzeigt, so kann die letztere auch keinen Eiweisskörper irgendwie umwandeln. Man kann diese Gefahr aber noch weiterhin beseitigen.

Eine Lösung von salzsaurem Myosin, welche keine freie Salzsäure enthält, besitzt die Eigenschaft, eine fast gleiche Menge freien, frischgefällten Myosins gut aufzulösen. Starker Wasserzusatz bewirkt keine Ausscheidung. Es ist aus diesem Grunde zur vollständigen Extraction des Myosins nur die Hälfte bis zwei Drittel derjenigen Salzsäuremenge nöthig, welche zur Sättigung des Myosins erforderlich wäre. Eine Umwandlung anderer Eiweisskörper ist in diesem Fall nicht mehr zu befürchten, aber ihre blosser Auflösung in der sauren Flüssigkeit ist nicht zu verhindern. Dieser letzte Umstand beeinträchtigt aber die Genauigkeit der Methode. Hat man nämlich die saure Extractionsflüssigkeit, die sämtliches Myosin enthält, bereitet, so muss man jetzt zu seiner Ausscheidung schreiten. Dieses kann nur durch genaue und vorsichtig ausgeführte Neutralisation geschehen. Dabei aber müssen auch andere mit Myosin gleichzeitig aufgenommene Eiweisskörper niedergeschlagen werden. Es muss also in diesem Neutralisationspräcipitat mit Hülfe eines anderen Lösungsmittels noch eine Trennung vorgenommen werden.

Für eine solche Trennung eignet sich der Salmiak.

Bei Anwendung dieses Mittels aber läuft die Salzsäuremethode auf die zweite mögliche — die Salmiakmethode — hinaus; letztere habe ich in allen meinen Versuchen gebraucht und sehr befriedigend gefunden.

Ich habe mir erlaubt, die von mir nicht gebrauchte Salzsäuremethode deswegen eingehender zu beschreiben, weil es Fälle geben kann, in welchen der Gebrauch einer Salzlösung von vorn herein nicht möglich ist. Die Salmiakmethode ist folgende:

Muskelbrei quillt in 10—15% Salmiaklösung¹⁾ bei gewöhnlicher Temperatur ziemlich schnell auf und wird durchscheinend. Die Quellung wird aber selbst nach längerer Zeit und nach Erneuerung des Lösungsmittels nicht so stark als in verdünnter Salzsäure, was in technischer Hinsicht einen Vortheil hat. Auch kann man von vornherein ohne Nachtheil beliebig viel Salmiaklösung zusetzen, was in Folge der Verdünnung der Myosinlösung die Trennung der letzteren vom ungelösten Rest bedeutend erleichtert. Nach mehrstündigem ruhigen Stehen des mit viel Salmiaklösung angerührten Muskelbreies setzen sich die ungelösten Bündelpartien zu Boden, die vorsichtig decantirte überstehende Flüssigkeit lässt sich mehr oder weniger leicht filtriren. Der gebliebene Bodensatz muss noch mehrere Male auf dieselbe Weise mit neuen Portionen Salmiaklösung erschöpft werden. Die vereinigten Filtrate scheiden bei viertelstündiger Erhitzung auf 60—65° ihr sämmtliches Myosin in Flocken ab. Man erhitzt die Lösungen auf dem Wasserbade bis die Flüssigkeit zwischen den Flocken vollkommen klar erscheint. Man filtrirt durch ein gewogenes Filter und wäscht den Niederschlag mit warmem Wasser, Alkohol und Aether gut aus. Wenn die vierte oder fünfte Portion Salmiaklösung nach ihrer Trennung vom Muskelbrei beim Erhitzen kein oder nur Spuren von Myosin anzeigt, so ist es rathsam, den Brei mit noch einer Portion Salmiaklösung anzurühren, und 24 Stunden ruhig stehen lassen. Enthält auch diese Portion nur Spuren von Myosin, so muss man die Extraction als vollendet betrachten. Dieses letztere wird dadurch bewiesen, dass sehr verdünnte Salzsäure (0,02%) nach vorläufigem Auswaschen des Muskelrestes mit Wasser (oder ohne dieses) keine Spur Myosin mehr auszieht. Es ist dabei ja keine stärkere Säure anzuwenden, denn eine solche wirkt allmählich lösend auf den Rest und die Lösung enthält nicht Myosin, sondern einen anderen eiweissartigen Körper.

Verschiedene Fleischarten, ja sogar verschiedene Muskelgruppen eines und desselben Thieres verhalten sich ungleich,

¹⁾ Wenn in Folgendem nichts besonderes angegeben wird, so ist immer eine solche Concentration gemeint.

wenn sie fein zerkleinert mit grosser Menge Salmiaklösung angerührt und einige Zeit in Berührung geblieben sind. Einige liefern eine ganz klare, mehr oder weniger durch den Blutfarbstoff gefärbte, über dem Bodensatz stehende Lösung, in anderen Fällen ist die noch nicht filtrirte, aber bloss abgesetzte Lösung nur etwas, in weiteren Fällen bedeutend oder sogar stark getrübt. In allen Fällen aber erhält man fast gleich klare Filtrate. Die stark trüben ursprünglichen Lösungen sind sofort nach ihrer Bereitung nicht klar filtrirbar, aber schon nach einigen Stunden liefern auch sie ein fast klares Filtrat. Diese mehr oder weniger starken Trübungen der ursprünglichen Extractionsflüssigkeiten hängen von der Gegenwart eines eigenthümlichen complicirten eiweissartigen Körpers ab, dessen Menge in den Muskeln verschiedener Thiere sehr grossen Schwankungen unterworfen ist.

Dieser Körper, dessen näheres Studium fast beendet ist, und dessen Eigenschaften nächstens von mir in einer speciellen Publikation beschrieben werden sollen, ist kein Myosin, ist auch in Salmiaklösungen nicht eigentlich löslich; aber 13--15% Salmiakflüssigkeit, besonders wenn sie schon Myosin enthält, hat die Eigenschaft, wenn sie in grosser Mengen vorhanden ist, diesen Körper im Anfang so fein zu vertheilen, dass er sogleich sogar durch das Filter geht. Aber schon nach einer halben Stunde verwandelt sich die starke Trübung im Filtrate, sowohl als auch auf dem Filter in feine, zarte Flocken. Will man die Extraction dieses Körpers vollkommen vermeiden, so sind von vorne herein schwächere Salmiaklösungen anzuwenden. Zahlreiche makrochemische und mikrochemische Versuche mit den verschiedensten Muskelarten haben mir gezeigt, dass Salmiaklösungen von 5% anfangend die Fähigkeit besitzen, Myosin ganz befriedigend zu extrahiren, aber erst 10 - 12% Salmiaklösung ist im Stande, den vom Myosin verschiedenen Körper in sichtbaren Mengen aus dem Muskelbrei auszuziehen. Darnach ist es rathsam für Muskelarten, welche in einem vorläufigen Probeversuch mit 15% Salmiaklösung eine trübe Lösung liefern, behufs quantitativer Myosinbestimmung nur eine 8-9% Salmiak-

flüssigkeit anzuwenden. Da es Muskeln gibt, welche sogar mit 15% Salmiaklösung eine sofort klare Lösung geben und da alle Muskeln ausser dem die erwähnte Trübungen erzeugenden Körper auch noch vollkommen unlösliche Partien enthalten, so kann man sagen, dass es zwei von vornherein erkennbare Substanzen in den Muskeln gibt, von welchen einer ausserordentlich grossen Schwankungen ausgesetzt ist. In chemischer Hinsicht genügt es für die Lösung unserer jetzigen Aufgabe, zu wissen, dass diese beiden Substanzen vom Myosin durch gewisse Manipulationen auf Grund ihrer verschiedenen Eigenschaften befriedigend getrennt werden können. Viel näher mit unseren jetzigen Aufgaben verflochten ist die Frage nach der morphologischen Bedeutung dieser Substanzen, nach ihrem normalen Sitz im Muskelbündel.

Kennt man von vorn herein das Verhalten dieser beiden Substanzen und des Myosins zu Salmiaklösungen verschiedener Concentration, wie oben erwähnt wurde, so wird die Lösung der letztgestellten Frage im Grossen und Ganzen ungemein erleichtert. Ich habe in ausgedehnter Weise die Muskeln der verschiedensten Thiere in ihrem Verhalten gegenüber Salmiaklösungen aller Concentrationsgrade mikroskopisch studirt und lege hier die für unseren Zweck nöthigen Beobachtungen nieder. Behandelt man unter dem Mikroskop irgend ein Muskelbündel mit einem continuirlichen Strom von 5% Salmiaklösung, so hinterbleibt nach der Entfernung des Myosins von den Quellungs- oder Schrumpfungszuständen des Bündels vor der Hand abgesehen, ein Gebilde, welches alle morphologischen Haupteigenthümlichkeiten der normalen Muskelbündel behalten hat, wie z. B. die Querstreifung. Man ist gezwungen anzunehmen, dass die Salmiaklösung nur Myosin und andere gelöst gewesene Bestandtheile herausgezogen hat ohne die sichtbare Structur des Bündels irgendwie angegriffen zu haben. In dieser Beziehung verhalten sich die quergestreiften Muskeln aller Thiere fast gleich.

Die zu beobachtenden Unterschiede beziehen sich bloss

auf die Quellungs- oder Schrumpfungszustände. Die 6—7% Salmiaklösungen üben den gleichen Effekt wie die 5%. Salmiaklösungen von 9—11% wirken auf verschiedene Muskelsorten schon nicht mehr ähnlich. Es gibt einzelne Muskelarten, z. B. die des Ochsen,¹ welche unter diesen Verhältnissen noch immer das obige Resultat zeigen, andere aber wie z. B. die des jungen Kalbes, die weissen Muskeln des Huhns, die Brustmuskeln der wilden Taube, des Sperlings, quellen sofort stark auf. Das Sarkolemma wird gesprengt und der ganze Bündelinhalt wird in der Form einer feinkörnigen ausserordentlich stark gequollenen und bald nach allen Richtungen zerfliessenden Masse herausbefördert. Die diesem Prozess unterliegenden Bündel oder Bündelpartien werden zerstört. Behandelt man dieselben Muskelsorten mit 9—11% Salmiaklösung, nachdem sie mit einer Lösung von 5% vollständig erschöpft gewesen sind, so sieht man zwar eine stärkere, ja manchmal eine sehr starke Aufquellung, aber niemals die oben beschriebene Zerstörung der ganzen Structur. Gerade diese Muskeln, welche ihre Structur unter dem Einfluss von 10—11% und noch schneller 15% Salmiaklösung verlieren, oder welche nach der Abgabe des Myosins an 5% Lösung, unter dem Einfluss von 10—15% Salmiak stark aufquellen, sind es, welche mit 12—15% Salmiaklösung über dem Bodensatz die stärkste Trübung zeigen. Ihre leichte Zerstörung mit 10—15% Salmiaklösung ist die Folge einer übermässigen und sehr schnellen Aufquellung des Myosins und des anderen erwähnten Körpers. Ist Myosin vorher durch 5% Lösung entfernt worden, so quillt der andere Körper zwar stark auf, aber dies genügt nicht mehr zur Zerstörung der Structur, denn durch Wasserzusatz kann der normale Zustand wieder hergestellt werden.

Ochsenmuskeln, wie schon erwähnt, widerstehen besser der 10% Salmiaklösung, aber sie zeigen dieselben Phänomene wie Kalbs- oder Huhnmuskeln, wenn man statt 9—11% eine 15% Salmiaklösung von vorn herein oder nach vorheriger Behandlung mit 5—8% Salmiaklösung gebraucht. Die Ochsenmuskeln enthalten also viel weniger von dem in Salmiak-

lösungen nur aufquellenden, vom Myosin verschiedenen Körper; und Ochsenmuskeln liefern auch fast ganz klare Salmiaklösung über ihren Bodensatz.

Man sieht also daraus, dass ein Muskelbündel, den man vorsichtig nur sein Myosin, abgesehen von anderen gelösten Substanzen, entzieht, seine Structur noch behält. Diese letztere muss also durch die in gewissen Salmiaklösungen unlöslichen Substanzen bedingt sein. Diese Substanzen befinden sich im Bündel in einem festweichen, aber durchaus nicht in einem gelösten Zustande. Dieses myosinfreie, unlösliche, aber noch geformte Bündel kann, wie auch seine feinere Structur gedeutet werden möge, nur ein schwammartiger Körper sein, in dessen Maschen Myosin und andere Bestandtheile eingebettet sind. Für dieses schwammartige Gebilde schlage ich den Namen Bündelgerüst vor. Sollten weitere Untersuchungen auch zeigen, dass dieses Bündelgerüst in verschiedenen Muskelsorten aus einer ungleichen Menge chemischer Substanzen aufgebaut ist, so bleibt dies für unseren jetzigen Zweck gleichgültig, denn wir haben uns die Aufgabe gestellt, die Mengenverhältnisse des Myosins und des Bündelgerüsts als Ganzes in verschiedenen Muskeln zu bestimmen. Für unseren Zweck war es aber von grosser Wichtigkeit festzustellen, dass die von gewissen Salmiaklösungen ungelöst gelassenen Muskelbestandtheile die wichtigsten und zwar seine Structur, sein Gerüst, sein Stroma bildenden Substanzen sind.

Kehren wir wieder zur Prüfung der Bestimmungsmethode des Myosins zurück.

Ausser den unlöslichen Gerüstbestandtheilen enthält der in Salmiak unlösliche Rest Bindegewebe, Gefässe und Nerven der Muskelbündel. Von der gesonderten Bestimmung dieser Theile müsste man aus bekannten Gründen Abstand nehmen. Von Lecithin, Fett und Salzen ist der ungelöste Rest, sowie auch das ausgeschiedene Myosin mit Wasser, warmem Alkohol und Aether leicht zu befreien. Mit dem eigentlichen Bündelgerüst werden demnach auch die in Wasser, Alkohol und

Aether unlöslichen Bestandtheile des Bindegewebes, der Gefässe und der Nerven mit bestimmt. Dieser Fehler, welcher für verschiedene Muskeln gewiss keinen grossen Schwankungen unterliegt, ist unvermeidlich. Die ausgewaschenen Präparate werden mit sammt dem vorher gewogenen Filter bei 100—105° bis zum constanten Gewicht getrocknet.

Um dieser Methode die möglichste Sicherheit zu verleihen, habe ich folgende zwei Fragen einer speciellen Prüfung unterzogen:

1. Ob ausser Myosin auch noch andere Eiweisskörper aus dem Muskelbrei von Salmiaklösung aufgenommen werden?
2. Ob im positiven Fall nur Myosin allein bei Erhitzung auf 60—65° ausgeschieden wird?

Was die erste Frage betrifft, so handelt es sich hier nicht um die möglicherweise in den Muskeln sich befindenden myosinähnlichen Körper (Globuline), welche mit ihm die Löslichkeit in Salzlösungen gemein haben, sondern um Eiweissstoffe anderer Art. In dieser Hinsicht muss ich aber sogleich die Thatsache hervorheben, dass frisch gefälltes Albumin, Casein, sodann ihre nächsten Hydratationsproducte, wie die sauren Protalbstoffe, die basischen Syntoprotalbstoffe, Syntonin und noch andere nur spurweise von 10—15% Salmiaklösung aufgenommen werden. In Gegenwart unbedeutender Mengen alkalisch reagirender Salze oder freier Alkalien werden sie leichter gelöst. Die Gegenwart von freien Säuren wirkt dagegen hindernd auf ihre Löslichkeit in Salmiak. Diese letztere ist gerade bei der Anwendung unserer Methode immer der Fall, denn während der Präparation, Isolirung und Zerkleinerung der Muskelbündel entwickelt sich eine stark saure Reaction.

Erhitzt man die klar filtrirten Salmiaklösungen der genannten Eiweisskörper längere Zeit auf 60—65°, so bleiben sie unverändert und scheiden nichts ab: Dem entsprechend findet man im Salmiakextracte eines Muskelbreies, nachdem Myosin vollständig durch Erwärmen bei 60—65° ausgefällt und abfiltrirt wurde stets kleine Mengen von Eiweissstoffen. Erhitzt man aber eine Salmiaklösung von reinem Myosin, so enthält das klare, heisse Filtrat meistens gar keine Spur von

Eiweissstoff. Dieses Verhalten beweist uns also, dass aus einem Salmiakextracte der Muskeln eine Temperatur von 60—65° nur Myosin und dieses vollständig niederschlägt, wenn auch in der Flüssigkeit Eiweisskörper anderer Art gegenwärtig sind. Wahrscheinlich gehören diese nicht myosinartigen Eiweisskörper dem Blute und dem Serum der Muskelbündel selbst an. Ihr Uebergang in die Salmiaklösung kam also nach allen angeführten Thatsachen die Myosinbestimmung nicht beeinträchtigen. Doch gibt es eine Substanz, welche nicht nur mit Myosin in Lösung geht, sondern auch mit ihm zusammen durch Erwärmen niedergeschlagen wird. Das ist der Blutfarbstoff. Das ist der zweite bemerkbare, aber unvermeidliche Fehler. Er ist nur so zu verringern, dass man den gewählten Muskel in dünne, der Bündelaxe quer gerichtete Streifen zerschneidet und jeden Streifen durch sanftes Anlegen von Fliesspapier möglichst gut von flüssigem Blut befreit. Bei blutreichen Muskeln ist nach einer solchen Behandlung das ausgeschiedene Myosin nur schwach gefärbt. Dieser Fehler ist aber nicht so gross, wie es von vornherein scheinen kann, denn mit dem Myosin wird höchst wahrscheinlich nicht Hämoglobin, sondern nur ein Bruchtheil desselben, sein Hämatintheil, niedergeschlagen.

Da die Erschöpfung des Muskelbreies mit Salmiaklösung eine dauernde Einwirkung beider auf einander fordert und die nachherige Filtration in manchen Fällen (bei stark trüben Lösungen) sehr zeitraubend ist, so war es nothwendig zu ermitteln, wie lange solche Mischungen und Myosinlösungen ohne Veränderung haltbar sind. Ich habe darauf bezügliche Beobachtungen in verschiedenen Jahreszeiten gemacht und gefunden, dass selbst im Sommer bei 20—22° Zimmer-temperatur Myosinlösungen in Salmiak bis fünf Tage ohne jegliche Gefahr verbleiben können. Im Winter ist die Periode bedeutend länger. Nach dieser Zeit kommt es allerdings öfters vor, dass in den Lösungen hie und da eine locale Pilzbildung anfängt. Verbreitet man aber auf die Oberfläche der Mischungen und Lösungen von Zeit zu Zeit ein Paar Tropfen reinen Aethers, so kann man die Extractionszeit

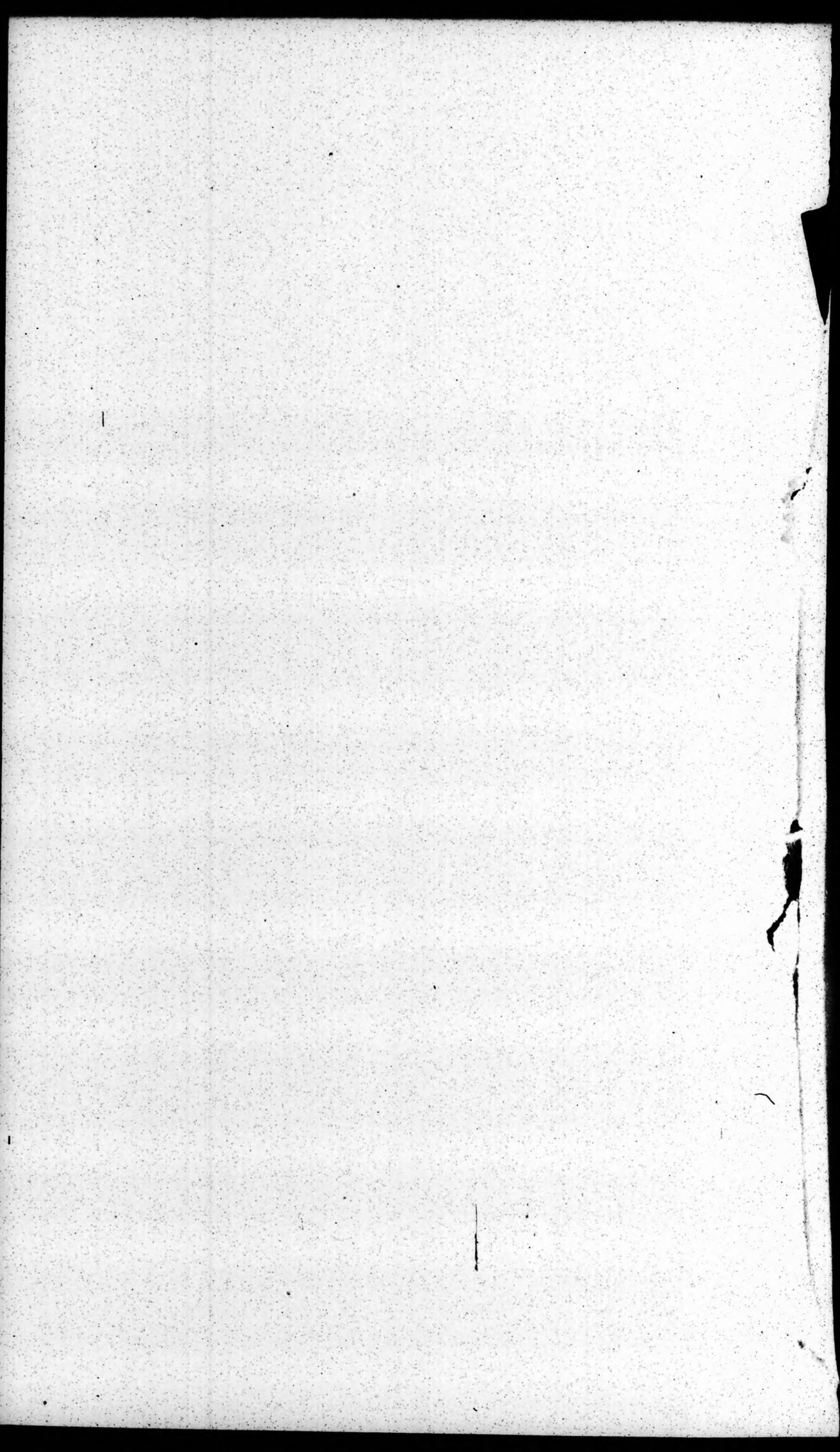
ohne Gefahr verdoppeln. Eigentlich ist aber eine solche lange Zeitperiode nicht nothwendig; durch folgende einfache Manipulationen kann man in 3—5 Tagen die ganze Analyse zu Ende bringen. Erstens darf man nicht mehr als 6 bis 7 gr. Muskelsubstanz für die Untersuchung nehmen. Zweitens muss sie möglichst fein zerkleinert werden. Drittens ist jedesmal der Brei mit viel Salmiaklösung anzurühren. Endlich muss man zum Abfiltriren der Myosinlösung mehrere abgewogene nicht zu kleine Filter anwenden. Man giesst die abgesetzte noch mehr oder weniger trübe Lösung bis zum Bodensatz auf ein oder zwei vorher mit Salmiaklösung befeuchtete Filter ab. Den Bodensatz vermischt man sogleich mit viel frischer Salmiakflüssigkeit und lässt wieder absitzen. Haben sich die ersten zwei Filter verstopft, so nimmt man ein oder zwei frische und so fort. Die ersten concentrirteren Myosinlösungen können sogleich coagulirt werden. Sämmtliche Myosineoagula werden auf einem einzigen Filter gesammelt. Die Bündelgerüstsubstanzen werden je nach ihren Quellungsgrade auf 2—4 und sogar 5 Filtern erhalten.

Es ist selbstverständlich, dass für die Bestimmungen möglichst reines Muskelgewebe auspräparirt wird. Die Zerkleinerung der Muskelmasse habe ich in meinen Versuchen in zweierlei Art ausgeführt. Zuerst habe ich die abgewogenen Muskeln mit einer gewogenen Menge reinen Sandes zerrieben und alsdann mit Salmiaklösung vermischt, später aber habe ich die Muskeln zuerst auf einer starken Glas- oder Hartgummiplatte mittelst schnell aufeinander folgender Bewegungen eines Tischmessers fein zerhackt und erst dann gewogen. In beiden Fällen wird die Substanz vor dem Abwägen in zwei ungleiche Theile getheilt; der kleinere bis zu 1,5—2,0 gr. dient zur Bestimmung des bei 100—105° entweichenden Wassers, der grössere bis 5—7 gr. ist für die eigentliche Untersuchung bestimmt.

Um die Genauigkeit der Methode zu prüfen, habe ich grössere Mengen von Kalb- und Hühnerfleisch fein zerkleinert, jedes in vier Portionen getheilt und in jeder Portion Myosin und Gerüstsubstanzen nach der beschriebenen Methode be-

Tabelle I.

Thierspecies und Muskelgruppe.	Muskeln feucht.	Trocken- substanz bei 105°.	in Procenten.			Summa.	Verhältniss des Myosins zur Gerüstsubstanz. Myosin = 1.	Aussehen der Myosinlösung.
			Myosin.	Gerüst.				
1. Mensch. Oberschenkelmuskeln. Un- gefähr 40 Stunden nach dem Tode .	7,1984	21,48	3,68	11,90	15,58	1 : 3,22	Trüb.	
2. Hund , gross. Oberschenkelmuskeln	7,8792	23,19	7,95	9,54	17,49	1 : 1,20	Leicht getrübt.	
3. Hund , mittelgross. Oberschenkel- muskeln	7,5331	26,09	10,62	13,11	23,73	1 : 1,23	Trüb	
4. Hund , klein, erwachsen. Oberschen- kelmuskeln	6,0766	22,20	7,08	9,17	16,25	1 : 1,30	Fast klar.	
5. Hund . id.	5,3630	22,22	8,92	9,23	18,15	1 : 1,04	id.	
6. Pferd . Oberschenkelmuskeln	9,3931	24,48	5,38	12,72	18,10	1 : 2,37	Trüb.	
7. Pferd . id.	8,3233	21,21	5,17	12,60	17,77	1 : 2,43	id.	
8. Ochs . Oberschenkelmuskeln	8,9426	25,42	7,51	9,74	17,25	1 : 1,29	Klar.	
9. Ochs . id.	6,8926	26,27	7,99	12,11	20,10	1 : 1,50	id.	
10. Ochs . id.	7,9981	25,82	7,73	11,10	18,83	1 : 1,43	id.	
11. Kalb . Oberschenkelmuskeln. Mittel aus vier oben angeführten Bestim- mungen	—	—	3,50	15,66	—	1 : 4,47	Sehr trüb.	
12. Kalb . Oberschenkelmuskeln	5,8373	24,79	3,56	15,67	19,23	1 : 4,40	id.	
13. Kalb . id.	9,8712	25,43	3,91	16,10	20,01	1 : 4,11	id.	
14. Maus , weisse. Oberschenkelmuskeln	4,3758	23,72	9,00	10,02	19,02	1 : 1,11	Leicht getrübt.	
15. Kaninchen . Mittel aus fünf Ana- lysen junger Thiere von Cath. Schi- piloff	—	—	7,86	9,68	—	1 : 1,23	id.	
16. Kaninchen . Oberschenkelmuskeln. Altes Thier	5,7626	23,63	10,61	8,84	19,45	1 : 0,83	Klar.	
17. Meerschweinchen . Mittel aus 6 Bestimmungen von Cath. Schipiloff	—	—	9,16	7,78	—	1 : 0,85	—	
18. Taube , wilde a) Brustmuskeln	6,1706	28,62	2,98	16,80	19,88	1 : 5,66	Sehr trüb.	
b) Schenkelmuskeln	4,8941	24,77	8,69	9,98	18,67	1 : 1,15	Fast klar.	
19. Taube , wilde. a) Brustmuskeln	9,9024	28,00	3,20	16,10	19,30	1 : 5,03	Sehr trüb.	
b) Magenmuskeln	3,0940	23,38	5,91	11,47	17,38	1 : 1,94	Leicht getrübt.	
20. Taube , wilde. a) Brustmuskeln	8,3421	29,20	4,53	18,38	22,91	1 : 4,05	Sehr trüb.	
b) Schenkelmuskeln	4,9221	26,86	9,53	12,35	21,88	1 : 1,29	Klar.	
21. Huhn . Brustmuskeln. Mittel aus 4 oben citirten Bestimmungen	—	—	5,06	15,62	—	1 : 3,08	Sehr trüb.	
22. Huhn . a) Brustmuskeln	8,1855	25,20	4,93	15,60	20,53	1 : 3,16	id.	
b) Schenkelmuskeln	3,5226	25,05	10,87	9,26	20,13	1 : 0,86	Klar.	
23. Huhn . a) Brustmuskeln	6,3332	25,55	5,12	14,99	20,11	1 : 2,92	Sehr trüb.	
b) Schenkelmuskeln	3,3210	24,90	11,10	9,40	19,50	1 : 0,84	Fast klar.	
24. Sperling . 4 Stück zusammen	—	—	—	—	—	—	—	
a) Brustmuskeln	2,1386	26,97	3,37	15,24	18,61	1 : 4,52	Sehr trüb.	
b) Schenkelmuskeln	1,2306	26,55	9,32	8,80	18,12	1 : 0,94	Klar.	
25. Fisch (Barsch).	6,3036	21,48	8,56	9,84	18,50	1 : 1,15	Fast klar.	
26. Schildkröte .	5,1192	20,20	5,68	8,75	14,43	1 : 1,53	Klar.	
27. Eidechse . (Mehrere kleine)	2,0550	22,77	7,62	8,94	16,56	1 : 1,17	id.	
28. Eidechse (fast 1 Fuss lang)	1,7710	21,06	7,04	8,32	15,36	1 : 1,18	id.	
29. Frosch . Schenkelmuskeln	6,7000	21,22	8,60	7,10	15,70	1 : 0,83	id.	
30. Frosch . Bestimmung von Cath. Schipiloff	—	—	8,73	7,00	—	1 : 0,80	—	
31. Salamander . Mehrere kleine Exem- plare zusammen. Die Muskelmasse konnte nicht frei von Sehnen aus- präparirt werden	0,6606	21,62	2,97	12,06	15,03	1 : 4,10	Leicht getrübt	
32. Krebs (Flusskrebse)	2,2996	21,84	6,58	9,55	16,13	1 : 1,44	Klar, stark opa- lisirend.	



stimmt. Folgende Zahlen beweisen hinreichend ihre Zuverlässigkeit:

I. Kalbfleisch.	Frucht in gr.	Myosin in ‰.	Gerüstsubstanzen in ‰.
1. Portion . . .	5,6030	3,42	15,77
2.	7,1017	3,50	15,60
3.	6,2346	3,53	15,64
4. «	9,1352	3,57	15,63

II. Hühnerfleisch.	Muskeln feucht.	Myosin in ‰.	Gerüstsubstanzen in ‰.
1. Portion . . .	4,2530	5,20	15,58
2. «	6,1308	4,95	15,63
3. »	7,3670	4,88	15,66
4. «	8,1855	5,15	15,60

Nach Erörterung derjenigen Thatsachen, welche die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Methode garantiren, gehe ich zu den von mir ausgeführten Bestimmungen über. Um dem Material, abgesehen von der späteren Betrachtung desselben aus anderweitigen Gesichtspunkten irgend eine Anordnung zu geben, wähle ich zuerst die zoologische Classification.

(Tabelle I. beiliegend.)

Eine genaue Betrachtung dieser Zahlen lehrt uns:

- 1) Dass wie die Menge der Trockensubstanz, so auch die des Myosins und des Bündelgerüsts in der Thierreihe sehr grossen Schwankungen unterliegt.
- 2) Dass diese Schwankungen in keinem constanten Verhältnisse zur System-Stellung der Thiere, zu ihrer Grösse, sowie auch zur Energie der Oxydationsprozesse ihres Organismus stehen.
- 3) Dass diese Schwankungen auch in keiner beständigen Relation zu der Farbe der Muskeln stehen.
- 4) Dass die Menge der Trockensubstanzen der Muskeln durchaus nicht massgebend ist, für die Menge des Myosins.

und des Bündelgerüsts, denn bei ein und demselben Gehalte an ersteren findet man grosse Verschiedenheiten in der Quantität der letzteren.

Wenn also weder zoologische Stellung noch Körpergrösse, noch Energie der Oxydationsprozesse und äusserer Character der Muskeln diese Schwankungen erklären können, so bleibt nur übrig, die Bewegungsart der Muskeln, wie sie sich unter den **gewöhnlichen Lebensverhältnissen der Thiere** äussert, im Zusammenhang mit den durch Analysen erhaltenen Thatsachen zu untersuchen. Ist ein solcher Zusammenhang in der That vorhanden, so muss man zwischen dem sich allmählich ändernden Verhältniss der Bestandtheile und der schrittweisen Veränderung des Bewegungscharacters eine regelmässige Relation auffinden können.

Stellen wir also zuerst unser Material aus der Tab. I. so zusammen, dass das Verhältniss des Myosins zum Bündelgerüst allmählig wachsen soll und betrachten wir diese Tabelle unter gleichzeitiger Berücksichtigung des Bewegungscharacters, d. h. der Lebhaftigkeit der in gewöhnlichen Lebensverhältnissen von den betreffenden Thieren ausgeführten Bewegungen.

(Tabelle II. folgt auf nächster Seite.)

Vergleicht man nach erfahrungsgemässen Schätzungen die Lebhaftigkeit der Bewegungen der in Tabelle II angeführten Thierspecies oder der angegebenen Muskelgruppen unter sich, so wird man nicht leugnen können, dass im Allgemeinen ein Zusammenhang zwischen Bewegungsschnelligkeit und Zusammensetzung der Muskeln in dem Sinne besteht, dass je schneller die Contractionen und Erschlaffungen der Muskeln ausgeführt werden, desto reicher die letzteren an Gerüstsubstanzen im Verhältniss zu Myosin sind.

Besonders scharf tritt dieses hervor, wenn man etwas weiter von einander stehende Glieder unter sich vergleicht, oder wenn man die ganze Reihe in einige Gruppen zertheilt, z. B. von Nr. 1—6, von 7—14, von 15—20 und dann diese

Gruppen unter einander in Betreff der ihren Angehörigen zu zuerkennenden Bewegungsschnelligkeiten vergleicht.

Tabelle II.

Thierspecies und Muskelgruppen.	Myosin in %.	Gerüst in %.	Myosin : Gerüst Myosin = 1.	Bemerkungen.
1. Frosch	8,66	7,05	1 : 0,81	—
2. Kaninchen, altes Thier	10,61	8,84	1 : 0,83	—
3. Huhn, Schenkel- muskeln	10,98	9,33	1 : 0,85	Mittel aus Nr. 22, 23 b) Tab. I.
4. Meerschweinchen .	9,16	7,78	1 : 0,85	—
5. Sperling, Schenkel- muskeln	10,52	9,88	1 : 0,94	—
6. Weisse Maus	9,00	10,02	1 : 1,11	—
7. Fisch	8,56	9,84	1 : 1,15	—
8. Eidechse	7,33	8,63	1 : 1,17	Mittel aus Nr. 27, 28.
9. Hund	8,64	10,26	1 : 1,19	Mittel aus Nr. 2, 3, 4, 5.
10. Taube, Schenkel- muskeln	9,11	11,16	1 : 1,22	Mittel aus Nr. 18, 20 b).
11. Kaninchen, jung . .	7,86	9,68	1 : 1,23	—
12. Ochs	7,74	10,98	1 : 1,40	Mittel aus Nr. 8, 9, 10.
13. Krebs	6,58	9,55	1 : 1,44	—
14. Schildkröte	5,68	8,75	1 : 1,53	—
15. Pferd	5,27	12,66	1 : 2,40	Mittel aus Nr. 6, 7.
16. Huhn, Brustmus- keln	5,02	15,30	1 : 3,05	Mittel aus Nr. 22, 23 a).
17. Mensch	3,68	11,90	1 : 3,22	—
18. Kalb	3,63	15,81	1 : 4,33	Mittel aus Nr. 12, 13, 14.
19. Sperling, Brust- muskeln	3,37	15,24	1 : 4,52	—
20. Taube, Brustmus- keln	3,57	17,13	1 : 4,91	Mittel aus Nr. 18, 19, 20 a).

Sollte es Jemanden zweifelhaft erscheinen, dass z. B. die Bewegungen des Pferdefusses im Lauf rascher von Statten gehen, als die des Meerschweinchens oder der Maus, was eigentlich der von uns aufgestellte Satz auf Grund der Tabelle II. behauptet, so will ich die Aufmerksamkeit darauf

lenken, dass dieser Zweifel nur scheinbar begründet ist, denn wenn uns auch bei im Lauf begriffenen Thieren die Bewegungen der Füße einer Maus rapider erscheinern, so ist dieses, wenigstens zum grössten Theil, dadurch bedingt, dass wir die Ortsveränderungen grosser Gegenstände ungemein viel leichter verfolgen können, als die sehr kleiner Objecte.

Noch schärfer und sicherer wird der obige Satz über die Abhängigkeit der Bewegungsart der Muskeln von den erwähnten Schwankungen ihrer Zusammensetzung bewiesen durch Vergleich zweier Muskelgruppen eines und desselben Thieres in Fällen, wo diese Muskelgruppen der Lebensweise des Thieres entsprechend, verschiedene Dienste in Betreff ihrer Contractionsschnelligkeit leisten müssen. Solche Verschiedenheiten kann man gewiss bei jedem Thiere auffinden. Am schönsten aber sind sie bei vielen Vögeln ausgesprochen. In der That sehen wir z. B. bei der wilden Taube, beim Sperling, dass ihre Flugmuskeln sich sehr rasch und kräftig verkürzen, dagegen ihre Beinmuskeln verhältnissmässig viel langsamere Bewegungen ausführen. Es ist ja allgemein bekannt, dass der Sperling mit seinen Flügeln ein Geräusch, ähnlich einem tiefen Ton hervorbringen kann, dass die Schnelligkeit, mit welcher die wilde Taube mit ihren Flügeln die Luft bewegt, hauptsächlich ihre sehr rapide Ortsveränderung bewirkt. Diese beiden Vögel sind aber, wenn ihre Beine den Erdboden berühren ganz und gar unfähig, schnelle Bewegungen auszuführen. Ferner beobachten wir, dass Kälber zu solchen raschen Ortsveränderungen geneigt sind, (Kälber laufen, springen ohne besondere Veranlassung) welche von erwachsenen Thieren (Ochsen, Kühen) selten und dann auch in sehr beschränkter und mühevoller Weise hervorgebracht werden.

Vergleichen wir nun aus der Tabelle II die Zusammensetzung der Muskeln der eben erwähnten Thiere, so finden wir eine wichtige Unterstützung für den obigen Satz. Es zeigen sich folgende Verhältnisszahlen:

1. Die Brustmuskeln der Taube enth. 1 Myosin auf 4.91 Bündelgerüst.
2. Die Schenkelmuskeln der Taube « 1 « « 1,22 «

3. Die Brustmuskeln des Sperlings enth.	1 Myosin auf 4,52 Bündelgerüst.
4. Die Schenkelmuskeln des Sperl.	1 0,94 «
5. Die Kalbsmuskeln	1 4,33 «
6. Die Ochsenmuskeln	1 1,40 «

Sogar bei dem Huhne, welches, wie allbekannt, viel raschere Flügelbewegungen als Fussbewegungen erzeugen kann, finden wir im Allgemeinen dieselben Verhältnisse. So enthalten seine Brustmuskeln 1 Myosin auf 3,05 Gerüstsubstanzen, während seine Fussmuskeln 1 Myosin auf nur 0,85 Gerüstsubstanzen aufweisen.

Demselben Verhältniss beider Muskelbestandtheile im Sinne des obigen Satzes begegnet man, wenn man verschiedene Thiere aus derselben zoologischen Familie und mit möglichst gleicher Körpermasse, aber mit verschiedener Bewegungsschnelligkeit begabt, unter einander vergleicht, z. B.:

Gruppe I.

Pferd	zeigte uns auf 1 Myosin	2,40	Gerüstsubstanzen.
Ochs	1 «	1,40	„

Gruppe II.

Kaninchen, jung	zeigte uns auf 1 Myosin	1,23	Gerüstsubstanzen.
Kaninchen, alt	1 «	0,83	„

Gruppe III.

Maus	zeigte uns auf 1 Myosin	1,11	Gerüstsubstanzen.
Meerschweinchen	1 «	0,85	„

Gruppe IV.

Salamander	zeigte uns auf 1 Myosin	4,10 ¹⁾	Gerüstsubstanzen,
Frosch	1 «	0,81	„

Jeder unparteiische Beobachter wird wohl bestätigen können, dass die erstgenannten Thiere jeder Gruppe zu lebhaften, schnellen Bewegungen bedeutend mehr fähig sind, als die nachfolgenden. Besonders scharf tritt dieses für die erste und vierte Gruppe hervor, wo auch das in Frage stehende Verhältniss der Muskelbestandtheile am prägnantesten ausgesprochen erscheint.

Bei allen bis jetzt angeführten Thatsachen habe ich zur Beurtheilung und zum Vergleich der Bewegungsart der Thiere

¹⁾ Diese Zahl ist wegen der unvermeidlichen Verunreinigung mit Sehnenresten vielleicht um 10 - 15% zu hoch.

die ungefähre Schätzung nach dem Augenmass auf Grund der täglichen Erfahrungen und Beobachtungen gelten lassen. Dem in Frage stehenden Bewegungsmodus liegt aber die Zuckungsdauer der Muskeln zu Grunde und für diese letztere besitzen wir sehr genaue Massmethoden. Leider aber ist bis jetzt die vergleichende Zuckungsdauer der Muskeln verschiedener Thiere ein noch so wenig bearbeitetes Feld, dass man kaum einige spärliche und für unseren Zweck fast unbrauchbare Beobachtungen auffinden kann¹⁾. Es giebt aber eine Reihe von ganz genau ausgeführten Versuchen dieser Art für verschiedene Muskelgruppen ein und desselben Thieres. Ich habe schon im Anfang dieses Aufsatzes der Beobachtungen von Ranvier und von Kronecker und Stirling Erwähnung gethan, nach deren einstimmigen Aussagen die weissen Kaninchenmuskeln unter gleichen Reizbedingungen eine kürzere Zuckungcurve liefern als die rothen Muskeln desselben Thieres. Bei einer Reizfrequenz von 4 per Secunde sahen Kronecker und Stirling²⁾ die blassen Muskeln noch einzelne Zuckungen, die rothen aber schon tetanische Zusammenziehung geben. Dieselben Autoren fanden, dass für eine tetanische Verschmelzung der Zuckungen eine Reizfrequenz per Secunde von 4 bis 10 für die rothen, und von 20 bis 30 für die blassen Muskeln genügt. Nehmen wir an, — was gewiss richtig sein wird, — dass die kürzere Zuckungcurve oder das schwierigere Zustandekommen der tetanischen Zusammenziehung ein feinerer Ausdruck der lebhafteren, der rascheren Contractionen des Muskeln im lebenden Thier ist, so müssen, falls der von uns oben aufgestellte Satz richtig ist, beide Muskelarten des Kaninchens auch Unterschiede in ihrer Zusammensetzung aufweisen. Indess dürfte man von vorn herein erwarten, dass eine solche Aufgabe in praxi keine leichte ist, dass die darauf gerichteten Versuche fehlschlagen würden. Erstens sind die Unterschiede, welche Kronecker und Stirling fanden, nicht besonders gross; zweitens darf

¹⁾ Siehe die Zusammenstellung solcher Beobachtungen in Hermann's Handbuch der Physiologie, Bd. I, Th. I, S. 38 und 42.

²⁾ Ebendasselbst.

nicht vergessen werden, dass die elektrische Prüfung der Muskelsubstanz bei Weitem empfindlicher ist, als die chemische. Es liegt nichts Unwahrscheinliches in der Voraussetzung, dass verschiedene Muskeln auf electricischem Wege Unterschiede aufweisen, für welche unsere groben analytischen Methoden keine materiellen Ursachen aufdecken können, wenn auch feine chemische Unterschiede in der That vorhanden sind. Die chemische Analyse soll in einem solchen Fall zum ersten Mal für ein feineres electricisches Verhalten des Muskels eine materielle Grundlage finden. Ungeachtet der zu erwartenden Resultatlosigkeit habe ich eine Reihe von Bestimmungen des Myosins und des Bündelgerüsts in den blassen und rothen¹⁾ Kaninchenmuskeln unternommen.

(Tabelle III. folgt auf nächster Seite.)

Im Allgemeinen beweisen die erhaltenen Zahlen, dass die rothen Muskeln auf dieselbe Menge von Myosin weniger Gerüstsubstanzen enthalten, als die blassen. Die chemische Analyse hat also unsere Erwartung gerechtfertigt und Resultate geliefert, die erstens im Einklang mit der empfindlichen electricischen Methode einen Unterschied zwischen beiden Muskelarten aufgedeckt haben, zweitens im vollkommenen Einklang stehen mit unserem oben aufgestellten Satz. Im zweiten Versuch habe ich absichtlich und zwar aus dem Grunde die Muskeln des Schulterblattes in die Untersuchung hineingezogen, weil die Kaninchen unter ganz gewöhnlichen Bedingungen ihre vorderen Extremitäten bedeutend lebhafter bewegen können als die hinteren. Man könnte also, von meinem oben angegebenen Satze ausgehend, erwarten, dass die blassen Muskeln des Schulterblattes beim Vergleich mit den rothen Muskeln schärfere Unterschiede im Sinne dieses Satzes an's Licht bringen werden, als die blassen Muskeln der hinteren Glieder. Und in der That lehrt uns dieses die Tabelle III. Demnach dürfen wir die Behauptung aussprechen, dass, wenigstens beim Kaninchen diejenigen Muskeln, welche

¹⁾ Ich habe die in ihrer ganzen Masse gleichmässig und tief-rothen Muskeln aller vier Extremitäten in solchen Fällen ausgesucht.

Tabelle III.

Muskelgruppe.	Muskeln feucht.	Trocken- substanz.			Myosin.	Gerüst.	Summa.	Verhältniss des Myosins zur Gerüstsubstanz. Myosin = 1.	Aussehen der Myosinlösung.
		in P r o c e n t e n .							
Blasse Oberschenkel- muskeln	Portion 1	24,13	11,35	8,30	19,65	1 : 0,73	Opalescirend und leicht getrübt.		
	2	24,03	11,44	8,37	19,81				
Rothe Muskeln aller vier Extremitäten.	Portion 1	23,46	9,60	6,56	16,16	1 : 0,69	Röthlich und klar.		
	2	23,35	9,62	6,59	16,21				
Weisse Muskeln des Schulter- blattes		24,35	9,40	10,70	20,10	1 : 1,13	Opalescirend und trüb.		
		23,63	10,61	8,84	19,45			id.	
Rothe Muskeln der vier Extre- mitäten		22,32	9,73	7,54	17,27	1 : 0,77	klar.		

1. Eingefähr 1,5 Jahre alt.

2. Eingefähr 6 Monate alt.

bei electrischer Prüfung eine kürzere Zuckungcurve liefern, auf ein Gewichtstheil Myosin mehr Gerüstsubstanzen enthielten als diejenigen Muskeln, welche eine gedehntere Zuckungcurve geben.

Wollte man auf Grund dieser Thatsachen den letzten Satz verallgemeinern, so müsste man, wegen Mangel an vergleichenden electrischen Prüfungen der Muskeln verschiedener Thiere nur provisorisch annehmen, dass je rapider die Verkürzungen und Erschlaffungen der Muskeln zu Stande kommen, desto mehr Bündelgerüst in ihnen im Verhältniss zum Myosin vorhanden sein muss.

Alle bis hierher angegebenen Thatsachen und besonders die letzteren, welche sich beiderseits auf genaue wissenschaftliche Methoden stützen, sprechen unzweifelhaft zu Gunsten des obigen Satzes und wir halten uns für berechtigt, ihn zu erweitern und in folgende drei Behauptungen umzuformen:

- 1) Myosin und Gerüstsubstanzen sind am Zusammenziehungs- und Erschlaffungsprocesse der quergestreiften Muskeln direct betheilig.
- 2) Ihre relativen Mengen üben auf den zeitlichen Ablauf dieser Processe einen bestimmenden Einfluss aus.
- 3) Der grössere relative Gehalt des Muskels an Gerüstsubstanzen geht mit der grösseren inneren Beweglichkeit der Muskelmasse Hand in Hand.

Zur Aufstellung und zum Beweise unserer Sätze haben wir bis jetzt die relativen Mengen des Myosins und der Gerüstsubstanzen in Betracht gezogen. Es ist aber interessant zu wissen, ob nicht die absolute Menge eines von diesen Bestandtheilen denselben Einfluss auf die Bewegungsart ausübt.

Ordnet man die Glieder der Tabelle II nach ihrem Myosingehalt vom reicheren Gehalt anfangend, so stellen sich die Nummern der Tabelle II in die folgende Reihe:

3, 2, 5, 4, 7, 6, 1, 10, 8, 11, 12, 9, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 19.

Man sieht daraus, dass diese Reihe nur in einigen Fällen und nicht sehr bedeutend von der Ordnung der Tabelle II abweicht. Man könnte demnach behaupten, dass die Schnelligkeit der Bewegung mit der Verminderung der absoluten Myosinmenge in den Muskeln wächst. Zieht man aber in die Betrachtung die Resultate der Tabelle III. für die am besten und vollständigsten erforschten Kaninchenmuskeln, so wird dieser Schluss sofort umgestossen, denn wir finden, dass die blassen mit rapiderem Verkürzungsstadium begabten Muskeln mehr oder (Schulterblattmuskeln) ebenso viel Myosin enthalten als die rothen langsamer ihre inneren Zustände verändernden Muskeln desselben Thieres.

Untersucht man auf dieselbe Weise den directen, absoluten Einfluss der Gerüstsubstanzen, so erhält man in grossen Zügen genommen, auch eine mit Tabelle II. ziemlich übereinstimmende Reihe, doch sind die Abweichungen zahlreicher. Die Nummern der Tabelle II. reihen sich folgendermassen: 1, 4, 9, 14, 2, 3, 13, 11, 8, 5, 6, 10, 12, 7, 17, 15, 19, 16, 18, 20.

Vielleicht könnte man in dieser Reihenfolge sogar einige Correctionen für die Tabelle II. finden, jedenfalls aber muss man aus beiden Versuchen schliessen, dass die absoluten Mengen beider hier untersuchten Bestandtheile bestimmende Einflüsse auf den Bewegungscharacter der Thiere ausüben. Da aber diese Einflüsse beider Bestandtheile umgekehrte sind, (denn das Anwachsen des Myosins ruft eine Verzögerung und das Anwachsen des Gerüsts eine grössere Schnelligkeit der Bewegungsphänomene der Muskeln hervor) so muss auf ihre relative Menge, als auf das Wichtigste die Aufmerksamkeit gerichtet bleiben.

Um aber dieses noch sicherer zu entscheiden, muss ich einen weiteren Punkt berühren. Studirt man die Tabellen I. und III. genauer, so findet man:

- 1) Dass Muskeln, welche zu schnelleren, inneren Bewegungsphänomenen fähig sind, oft mehr Trockensubstanzen enthalten;
- 2) Dass in allen Fällen in den erstgenannten Muskeln die Summe der in Rede stehenden Bestandtheile grösser ist.

Diese Schlüsse aber haben, scheint es, nur für verschiedenartige Muskeln eines und desselben Thieres Geltung. Dem vergleicht man ganze Thiere mit unzweifelhaft sehr verschiedener Bewegungsart, so sind diese Schlüsse nicht immer zutreffend. Wahrscheinlich existiren in verschiedenen zoologischen Ordnungen verschiedene Grenzen für die Mengenverhältnisse der Muskelbestandtheile, welche eine Vergleichung der Thiere innerhalb weiterer Gebiete nicht erlaubt.

Folgende Tabelle enthält einige Beispiele dieser Art, welche den Tabellen I. und III. entnommen sind.

Tabelle IV.

In den möglichen Fällen sind Mittelzahlen gezogen.		Trocken- substanzen.	Summa von Myosin und Gerüst- substanzen.
			in Procenten
1. Gruppe der Kaltblüter.	Schildkröte	20,20	14,43
	Frosch	21,22	15,70
	Eidechse (Mittel)	21,91	15,96
	Fisch	21,48	18,50
2. Huhn.	Schenkelmuskeln	24,97	19,81
	Brustmuskeln	25,37	20,32
3. Sperling.	Schenkelmuskeln	26,55	18,12
	Brustmuskeln	26,97	18,61
4. Taube.	Schenkelmuskeln	25,81	20,27
	Brustmuskeln	28,60	20,69
5. {	Ochs	25,83	18,73
	Kalb	25,11	19,62
6. Kaninchen	Rothe Muskeln	23,03	16,53
	Blasse Muskeln	24,03	19,75

Man sieht leicht aus diesen Zahlen, dass in manchen Fällen, wo die Verschiedenheit des Bewegungscharacters sehr scharf ausgesprochen ist, die Differenz in der Menge der Trockensubstanz höchst unbedeutend ist. Ganz anders gestaltet sich der Sachverhalt, wenn man den Wechsel der

Verhältnisse beider Hauptbestandtheile anstatt der Trockensubstanz in Betrachtung zieht. Wir finden immer, dass den grossen Differenzen im Bewegungskarakter auch ein grosser Wechsel in diesen Verhältnissen entspricht. In allen Fällen, wo die Gerüstsubstanzen sehr vermehrt erscheinen, ist die Myosinmenge sehr herabgesetzt, so dass die Summe beider Bestandtheile und die der Trockensubstanzen nur wenige Veränderungen aufweist. Es scheint, als ob beide Bestandtheile unter gewissen Bedingungen in einander umgewandelt werden können.

Auf Grund dieser und der früher erwähnten Thatsachen über die directe Betheiligung beider Bestandtheile an der Ausbildung des Bewegungskaracters der Muskeln, glaube ich, behaupten zu können, dass die innere Beweglichkeit der Muskelmasse nur durch den relativen Gehalt an beiden Bestandtheilen bedingt ist.

Obwohl der Satz, dass die grössere innere Beweglichkeit der Muskelmasse vom relativ grösseren Gehalt an Gerüstsubstanzen und relativ kleineren an Myosin abhängt, durch alle bis jetzt angeführten Thatsachen genug bewiesen ist, glaube ich doch im Folgenden noch einige einschlagende Beobachtungen beschreiben zu müssen, da sie zu gleicher Zeit auch in anderen Hinsichten interessant sind.

Das Herz stellt bei jedem Thier ein musculöses Organ dar, welches nicht nur stets in Arbeit begriffen ist, sondern was für unseren Zweck wichtiger ist, dessen Zusammenziehungen besonders im linken Ventrikel mit bedeutender Schnelligkeit ausgeführt werden. Es lag nahe, die Zusammensetzung der Herzmuskulatur mit der der peripherischen Muskeln zu vergleichen. In den Fällen wo die Thiere periphere Muskeln mit grosser innerer Beweglichkeit (also sich rasch verkürzende) besitzen, konnte man von vorn herein Unterschiede in der Zusammensetzung auf Grund unseres Satzes nicht erwarten. Bei den langsamer arbeitenden Muskeln müsste sich der Unterschied aber wohl kundgeben.

Die Muskelmasse war für die Analyse von Fett und Sehnen vollkommen befreit und in allen Fällen, ausser beim

Frosch, vom linken Ventrikel entnommen. Die Versuche ergeben folgende Zahlen:

Tabelle V.

Thierspecies.	Muskeln feucht.		Trocken-Substanz.		Myosin.	Gerüst.	Summa.	Verhältniss des Myosins zur Gerüstsubstanz. Myosin = 1.	Aussehen der Myosinlösung.
	in Procenten.								
Mensch normal ¹⁾	4,6633	20,85	2,21	11,44	13,65	1 : 5,17	—		
Ochs	8,1895	21,92	8,17	10,19	18,36	1 : 1,25	—		
Kaninchen	2,8663	20,60	1,91	10,83	12,74	1 : 5,40	—		
Taube	3,0052	23,67	3,82	12,27	16,09	1 : 3,21	—		
Huhn	3,5226	22,10	3,14	11,87	15,01	1 : 3,77	—		
Frosch	0,5501	17,92	1,76	9,40	11,16	1 : 5,39	—		

¹⁾ Das normale und die unten erwähnten erkrankten menschlichen Herzen habe ich der Güte des Herrn Prof. W. Zahn zu verdanken, welcher auch den anatomischen Befund in denselben nach seiner Untersuchung mir in liebenswürdiger Weise mitgetheilt hat.

Vergleichen wir jetzt die für die Herzmuskulatur erhaltene Zusammensetzung mit der der peripheren Muskeln desselben Thieres:

Tabelle VI.

Wenn möglich sind Mittelzahlen gezogen.	Muskeln feucht.	Trocken- substanz.	in Procenten.				Verhältniss des Myosins zur Gerüstsubstanz. Myosin = 1.	Aussehen der Myosinlösung.
			Myosin.	Gerüst.	Summa.			
1. Mensch.	Periphere Muskeln	21,48	3,68	11,90	15,58	1 : 3,22	—	
	Herzmuskeln	20,85	2,21	11,44	13,65	1 : 5,17	—	
2. Kaninchen	Rothe periph. Muskeln	23,03	9,65	6,89	16,53	1 : 0,72-	—	
	Herzmuskeln	20,60	1,91	10,83	12,74	1 : 5,40	—	
3. Taube	Schenkelmuskeln	25,81	9,11	11,16	20,27	1 : 1,22	—	
	Herzmuskeln	23,67	3,82	12,27	16,09	1 : 3,21	—	
4. Huhn.	Schenkelmuskeln	24,97	10,99	9,33	19,81	1 : 0,85	—	
	Herzmuskeln	22,10	3,14	11,87	15,01	1 : 3,77	—	
5. Frosch.	Periphere Muskeln	21,22	8,66	7,05	15,70	1 : 0,82	—	
	Herzmuskeln	17,92	1,76	9,40	11,16	1 : 5,39	—	

Was die relativen Verhältnisse der in Rede stehenden Bestandtheile anbetrifft, so sind die Zahlen dieser Tabelle im vollkommensten Einklang mit unseren Hauptsätzen (s. S. 147). Vergleicht man aber diese Zahlen näher mit den entsprechenden Zahlen rasch sich verkürzender Muskeln, sowohl in Bezug auf die Menge der Trockensubstanz als auf die Summe des Myosins + Gerüstsubstanzen, so findet man manche für die Herzmuskulatur höchst charakteristische Eigenthümlichkeiten. Erstens springt in die Augen die Thatsache, dass alle untersuchten Herzmuskeln trotz ihrer lebhafteren Bewegungen weniger Trockensubstanz enthalten, als die (selbst die trägen) peripheren Muskeln. Zweitens erhellt aus den Zahlen dieser Tabelle, dass die Summe der beiden bestimmten Bestandtheile im Herzmuskel stets kleiner ist, als in den peripheren Muskeln. Und dennoch sehen wir, dass der relative Gehalt an Gerüstsubstanzen im Herzmuskel ein viel grösserer, und der des Myosins ein viel kleinerer ist, als in den peripheren Muskeln. Da wohl Niemand leugnen wird, dass der Herzmuskel seine Zusammenziehung viel rascher zu Stande bringt als die trägen peripheren Muskeln, so beweisen die Zahlen noch einmal, dass nicht die absoluten Mengen des Myosins und des Gerüsts, sondern die relative Menge beider den Bewegungscharacter des Muskels bestimmt.

Für die Herzmuskulatur bleibt aber immer characteristisch, dass trotz ihres nur den lebhaftesten peripheren Muskeln zukommenden relativen Gehaltes an Myosin und Gerüstsubstanzen, die Summa dieser Bestandtheile und die der Trockensubstanz niedriger als in den trägen peripheren Muskeln ist. Man sieht daraus, dass der Herzmuskel in dem relativ grossen Gehalt an Gerüstsubstanzen die Bedingung für rapide, lebhafte Verkürzungsfähigkeit, in dem grösseren Wassergehalt aber, wahrscheinlich eine Art Compensationsvorrichtung gegen die grosse innere Beweglichkeit (resp. gegen zu rapider Erschlaffung?) zu gleicher Zeit enthält.

Anders gestaltet sich die Zusammensetzung des durch abnorme Bedingungen nicht nur morphologisch, sondern auch

physiologisch veränderten Herzens. Hypertrophische Herzen zeigen nicht nur eine Abänderung ihrer Structur, sondern müssen, wegen des gesteigerten Widerstandes im grossen Kreislauf ihre Zusammenziehungen bedeutend langsamer, aber mit mehr Kraft und Ausdauer ausführen als unter normalen Bedingungen. Es ist also zu erwarten, dass die hypertrophischen Herzen in ihrer Zusammensetzung sich der peripheren Muskeln nähern werden. Die Versuche haben Folgendes ergeben:

Tabelle VII.

Linker Ventrikel.	Muskeln feucht.	Trocken- substanz.	Myosin.	Gerüst.	Summa.	Verhältnis des Myosins zur Gerüstsubstanz. Myosin = 1.
Normales Menschenherz .	—	20,85	2,21	11,44	13,65	1 : 5,17
Schwache Hypertrophie .	8,1145	18,96	2,32	9,27	11,59	1 : 3,91
Stärke reine .	4,9060	21,50	3,40	10,45	13,85	1 : 3,07
Periphere Muskeln des Menschen	—	21,48	3,68	11,90	15,58	1 : 3,22

Man kann daraus schliessen, dass wenn ein Muskel durch äussere Hindernisse gezwungen ist seine Contractionen langsamer, aber immerhin vollständig auszuführen, er seine Zusammensetzung im Sinne unseres Satzes verändern muss, d. h. das Verhältniss zwischen Myosin und Gerüstsubstanzen allmählich zu Gunsten des ersteren abgeändert wird. Diese Thatsachen beweisen auch, dass man irrthümlicher Weise das hypertrophirte Herz als ausschliesslich in morphologischer Hinsicht verschieden vom normalen ansieht, dass vielmehr in ihm ausserdem auch chemische Veränderungen sich allmählich ausbilden.

Es ist denkbar, dass in einem umgekehrten Fall, d. h. wenn einige Muskelgruppen durch äussere Bedingungen, z. B. Uebung die Fähigkeit zu rapideren Contractionen allmählich erwerben, in ihnen auch im Sinne unseres Satzes Veränderungen der Zusammensetzung sich allmählich einstellen müssen. Es ist aber schwer, sich ein solches Object zu verschaffen, denn es kommt äusserst selten vor, dass man Muskeln zur Untersuchung erhält, welche durch dauernde Uebungen, wie z. B. bei Pianisten, Tänzern, Taschenspielern etc. zu schnelleren Bewegungen geeignet gemacht waren.

Dass überhaupt Veränderungen in dem relativen Verhältniss beider in Rede stehenden Muskelbestandtheile und zwar sowohl nach lange dauernden als auch unter plötzlich wirkenden Einflüssen sich ausbilden können, scheinen folgende zwei Beobachtungen zu demonstrieren.

- 1) Um den Einfluss einer verminderden Uebung der gewöhnlich sich sehr lebhaft verkürzenden Muskeln auf ihre Zusammensetzung aufzudecken, habe ich die Brustmuskeln derjenigen Tauben, welche für den Markt gezüchtet und gut genährt werden, gewählt. Die Thiere benutzen ihre Brustmuskeln von Jugend an sehr wenig, denn sie fliegen nur wenig herum und haben um die Nahrung keine Sorge. Vergleichungsweise gebe ich auch die in der Tabelle I. erwähnten Resultate für die wilden, frei lebenden Thiere in Mittelzahlen an.

Tabelle VIII.

Thierspecies und Muskelgruppe.	Muskeln feucht.	Trocken- substanz.	in P r o c e n t e n.			Summa.	Verhältnis des Myosins zur Gerüstsubstanz. Myosin = 1.	Aussehen der Myosinlösung.
			Myosin.	Gerüst				
Hauslaube. Brustmuskeln . . .	4,4323	22,66	7,41	11,73	19,14	1 : 1,58	Trüblich.	
Schenkelmuskeln .	2,9553	22,19	9,52	6,25	15,77	1 : 0,65	id.	
Wild lebende Tauben. Brustmuskeln . . .	—	28,60	3,57	17,13	20,69	1 : 4,91	—	
Schenkelmuskeln .	—	28,81	9,11	11,16	20,27	1 : 1,22	—	

Man sieht daraus, dass trotz der verhältnissmässig unbedeutenden Verminderung der Summe beider Bestandtheile ihr relativer Gehalt eine sehr grosse Veränderung bei der Haustaube erlitten hat. Wäre ein gleiches Resultat für die wild lebende Taube, welche man durch längere Zeit künstlich an Flugbewegungen verhindert hat, erhalten worden, so hätte man das Recht, sofort daraus zu schliessen, dass unter diesen Bedingungen ein Theil der Gerüstsubstanzen sich in Myosin umgewandelt, oder überhaupt Myosin auf ihre eigenen Kosten geliefert haben. Jetzt aber ist dieser Schluss nur indirect mit Zuhilfenahme anderer Thatsachen möglich.

- 2) Zwei eben gefangene Sperlinge wurden während der Nacht aus Unvorsichtigkeit unter einer Glasglocke erstickt. Ungefähr sechs Stunden nach dem Tode wurden sie wie gewöhnlich verarbeitet. Zum Vergleich führe ich hier selbst auch die Zusammensetzung der Muskeln normaler Thiere aus Tabelle I. an.

(Tabelle IX, folgt auf nächster Seite.)

Man sieht klar aus diesen Zahlen, dass während der Erstickungszeit in beiden Muskeln ein mehr oder weniger grosser Theil der Gerüstsubstanzen auf ihre Kosten den Myosingehalt vergrössert haben¹⁾. Dieses Resultat erlaubt auch den ersten Fall auf dieselbe Weise zu erklären.

Alle über die hypertrophirten Herzen, über die Haus- taube und über die erstickten Sperlinge angeführten Thatsachen erlauben den Schluss zu ziehen, dass der relative Gehalt der Muskelsubstanz an Myosin und Bündelgerüst ziemlich leicht Schwankungen unterliegen kann. Die allbekannte Thatsache, dass Lebhaftigkeit, Rapidität in den Muskelbewegungen durch regelmässige und dauernde Uebungen mit der Zeit erworben werden kann, der unzweifelhaft erhöhte relative Gehalt sich lebhaft bewegender Muskeln an Bündelgerüst und alsdann die zuletzt erwähnten Thatsachen beweisen zur Genüge, dass Schwankungen in der Zusammensetzung

¹⁾ In einer bald zu publicirenden Arbeit werde ich zeigen, dass die Gerüstsubstanzen unter anderen Zersetzungsprodukten wirklich Myosin (resp. Syntonin) liefern.

Tabellc IX.

Thierspecies und Muskelgruppe.	Muskeln feucht.	Trocken- substanz.	in Procenten.				Verhältniss des Myosins zur Gerüstsubstanz. Myosin = 1.	Aussehen der Myosinlösung.
			Myosin.	Gerüst.	Summa.			
Ersticte Sperlinge.	4,5458	28,93	12,90	12,11	25,01	1 : 0,94	Sehr roth, trübe.	
			15,22	9,08	24,30	1 : 0,59	roth, leicht ge- trübt.	
Normale Thiere.	—	26,97	3,37	15,24	18,61	1 : 4,52	Sehr trübe.	
			9,32	8,80	18,12	1 : 0,94	Fast klar.	

der Muskeln unter verschiedenen Lebensbedingungen nach zwei Richtungen sich vollziehen können. Erstens kann der Gehalt an Bündelgerüst vergrössert werden, was unbedingt den Myosingehalt herabsetzt, zweitens kann die Menge des Bündelgerüsts eine Verminderung erfahren, was stets eine Vergrösserung der Myosinmenge zur Folge hat. Diese zweite Veränderung in der Zusammensetzung scheint viel leichter und schneller eintreten zu können als die erste. Ich habe bis jetzt keine Gelegenheit gefunden, auf analytischem Wege eine Veränderung erster Art demonstrieren zu können, doch glaube ich eine solche Möglichkeit als logische Folgerung aus den meisten angeführten Beobachtungen ansehen zu dürfen. Noch sicherer kann man auf Grund dieser Beobachtungen behaupten, dass eine Zusammensetzung, welche den lebhaft, rapid sich verkürzenden Muskeln entspricht, sich nur dann *cæteris paribus* gleichbleibt, wenn die Muskeln durch äussere Lebensbedingungen ihre lebhaften Bewegungen fortzusetzen gezwungen sind.

Dieses Resultat steht im vollständigsten Einklange mit den allbekannten Thatsachen des gewöhnlichen Lebens, dass die einmal durch dauernde Uebungen allmählich erworbene Bewegungsvivacität in den Finger-, Hand- und Fussmuskeln nach dem Aufheben der täglichen Uebungen sich ziemlich bald, trotz des besten Ernährungszustandes des ganzen Körpers verliert.

Es bleiben mir noch ein Paar Worte über eine in allen angeführten Versuchen klar hervortretende Thatsache hinzuzufügen.

Alle Muskeln, welche reich an Gerüstsubstanzen sind, liefern trübe Myosinlösungen. Je grösser der Gehalt an diesen Substanzen ist, desto trüber sind die Salmiakaufgüsse. Umgekehrt, wenn der Reichthum der Muskeln an Gerüstsubstanzen eine, wahrscheinlich für verschiedene Thierklassen verschiedene Grenze nicht überschreitet, so sind die an Myosin viel reicheren Salmiakaufgüsse ziemlich oder fast ganz klar.

Die die Trübungen bedingende Substanz bleibt auf dem Filter. Sie quillt in Salmiaklösung stark auf, wird aber nicht gelöst. Die gefundenen Schwankungen an Gerüstgehalt kommen hauptsächlich, vielleicht sogar ausschliesslich auf Rechnung dieser Substanz. Es muss diese Substanz diejenige sein, welche so leicht auf ihre Kosten den Myosin-gehalt der Muskeln vergrössern kann, oder in anderen Fällen sich unter Mitwirkung des Myosins und zugleich mit seiner Verminderung in den Muskeln neu bildet.

Ich bin mir ganz gut bewusst, dass die Zahl der Versuche die meinen Schlüssen zu Grunde liegen, nicht allzu gross ist. Es ist sehr wünschenswerth sie zu vermehren, wozu viele von mir nicht untersuchte Thiere vorzügliche Objecte darstellen können; allein erstens sind schon die von mir angeführten Thatsachen zur Feststellung meiner Sätze genügend, zweitens sind solche Bestimmungen sehr zeitraubend, drittens bin ich nicht in der Lage mir das wünschenswerthe Material leicht verschaffen zu können. Ich bin auf Grund anderer hier nicht aufgenommenen Beobachtungen fest überzeugt, dass durch dergleichen Muskeluntersuchungen die mit Bezug auf Alter, Geschlecht, Nutrition, Arbeit und Ruhe, sowie auch auf pathogenetische Bedingungen ausgeführt werden, für die normale und pathologische Physiologie der Muskelsubstanz wichtige Aufklärungen gewonnen werden können.

Meine Versuchsreihe weist die oben erwähnte Scala von Marey nicht nur als in manchen Theilen falsch, in anderen als unvollständig nach, sondern überzeugt uns, dass zur Herstellung einer solchen wissenschaftlichen Scala über das ganze Thierreich bei Weitem viel mehr Beobachtungen und zwar in electrischer und chemischer Richtung zuvörderst zu sammeln sind.

Genf, im October 1882.