© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Zur
inneren Mechanik der Muskelzuckung

und

Beschreibung des Atwood'schen Myographion.

Von

Prof. Dr. E. Harless.

Mit einer Figuren- und einer Curven-Tafel.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Zur inneren Mechanik der Muskelzuckung.

Man darf behaupten, die Physiologie der Muskeln sei in jüngster Zeit damit in eine neue Phase eingetreten, dass sie es aufgegeben hat, diese Gebilde als Aggregate homogener Massenelemente zu betrachten. Es geschah diess bisher nicht aus Unkenntniss der differenten histologischen Bestandtheile, sondern einerseits mit bewusster Absicht die Grundlagen der hier zu lösenden Probleme theoretisch zu vereinfachen, andererseits wegen der Unklarheit, in welcher man sich über die primär wirksamen Elemente und über die Combination chemischer und physikalischer Vorgänge in dem Gesammtmuskel befand.

Man hat den Vorgang bei der Zuckung auf elektrische Anziehungen und Abstossungen zwischen Nerven und Muskeln oder Muskeltheilchen untereinander in den älteren Theorien von Prevost und Dumas oder Meissner bezogen, wobei man sich die Massenelemente des Muskels, unbekümmert um ihre weiteren und verschiedenen Eigenschaften, rein passiv wie Korkkügelchen oder isolirte Metallstreifen, freilich sehr unberechtigt, angezogen und abgestossen dachte. Man hat ferner die Muskeln in Bausch und Bogen als Massen betrachtet, welche in Folge der sie treffenden Reize und unter sonstigen Nebenumständen in bestimmtem Maass ihre Elasticität ändern können, und mit diesen auf inneren Molekularzuständen beruhenden Elasticitätsmaassen Ruhe, Ver-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

kürzung und Widerstandskraft in Zusammenhang gebracht. Endlich sind die unterschiedlichen Zustände dieser Gebilde entweder direkt abhängig, oder doch unveräusserlich begleitet gedacht worden von Lageveränderungen der elektromotorischen Moleküle, aus welchen man sich nach dem bekannten Du Bois'schen Schema den Muskel zusammengesetzt vorstellte. Alle neueren Theorien der Muskelzuckung, soweit sie nur die molekulären Beziehungen ins Auge fassen, vereinigen sich dahin, dass wir es bei diesem Vorgang mit der Auslösung im Muskel vorhandener Spannkräfte zu thun haben, wobei aber der schliessliche Effekt von eben diesen Spannkräften, der Intensität des Reizes und den Widerständen abhängt, welche den frei gewordenen Spannkräften entgegenwirken.

Die jüngst veröffentlichten Arbeiten Kühne's über den feineren Bau und die chemischen Verhältnisse der Muskeln, sowie meine eigenen Untersuchungen über den Muskelsaft und die Todtenstarre, und über mannigfache, weiter unten zu besprechende äussere Einflüsse auf die Muskelsubstanz und deren Thätigkeit drängen jetzt aber unabweisbar, die gegebene Verwicklung von Bedingungen im Muskel zu berücksichtigen und Schritt für Schritt die einzelnen Factoren zu analysiren.

Zunächst habe ich mir die Lösung einer Aufgabe als Ziel gesteckt, welche, wie mir scheinen will, zuerst gegeben seyn muss, ehe wir in der Erkenntniss des ganzen Vorganges weiterschreiten können. Der Natur der Sache nach muss diese Aufgabe mehr allgemein gehalten sein, um daran sicherer das weitere Detail anreihen zu können; es handelt sich zunächst also um äussere Verhältnisse, welche uns den Werth des einen oder anderen Muskelbestandtheiles an der Zuckung kennen lehren. Ich stellte mir demnach die Frage:

„was ist bei dem Vorgang der Zuckung das Primäre, welches sind die davon abhängigen und secundären Erscheinungen?“

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Dabei handelt es sich nicht um die Ermittlung der primären *Ursache* der Zuckung, sondern nur um das primäre Element an ihrer Erscheinung. Die strengere Formulirung der Frage verlangt einen kurzen Ueberblick über die bis jetzt bekannt gewordenen Eigenthümlichkeiten des verkürzten Muskels. Wir wissen, dass derselbe an Länge verloren hat, was er an Dicke gewonnen; dass also keine irgend nennenswerthe Verdichtung in seiner Substanz vor sich gegangen ist. An einem anderen Ort habe ich bereits die experimentellen Hilfsmittel beschrieben, durch welche man die Voraussetzung Schiff's bestätigen kann, dass die hie und da bemerkten Volumsveränderungen der Muskeln während ihrer Contraction nur scheinbar sind, und dass dieser Schein durch die partielle Deplacirung des Muskelblutes in die blutleeren Knochengefässe hervorgerufen wird, wenn man ganze Extremitäten von Fröschen untersucht.

Die Verkürzung des Muskels kommt nicht durch eine Kräuselung oder Faltenbildung zu Stande, wie man früher glaubte, und worauf gewisse elektrische Attractions-Theorien gegründet wurden, sondern die Muskelbündel erfahren, wie Weber zeigte, gerade so wie der Gesammtmuskel, eine lineare Verkürzung und quere Ausdehnung, wobei sich etwa vorhanden gewesene Zickzackbiegungen ausgleichen und gestreckt werden.

Verkürzte Muskeln zeigen eine verminderte Resistenz, d. h. sie sind dehnbarer; ihre Elasticität ist kleiner, als im nicht contrahirten Zustand, wie Weber auf mechanischem, ich selbst auf akustischem Weg nachgewiesen.

Die in Folge eines einmaligen momentanen Reizes auftretende Zuckung setzt sich aus einer Reihe auf- und abschwankender Gleichgewichtslagen zwischen der Energie des Muskels und der äusseren und inneren Widerstände zusammen, welche zeitlich nicht mit dem Reiz zusammenfallen, sondern demselben nach einem messbaren Zeitverlust fol-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

gen. Helmholtz hat diese Thatsache zuerst auf doppeltem Weg ans Licht gezogen und indem wir den einen, nämlich den der graphischen Methode, zu unserem Zweck weiter verfolgen, werden wir später hierauf ausführlich zurückkommen müssen.

Von dem Unterschied im elektromotorischen Verhalten zwischen ruhenden und verkürzten Muskeln können wir hier Umgang nehmen und haben nur noch der chemischen Thatsache zu gedenken, dass die Contraction zu einer Anhäufung der Säure führen kann, wenn nämlich die Contraction längere Zeit andauert oder in einer gewissen Zeit häufiger wiederkehrt, während sie für gewöhnlich neutralisirt, oder durch die Ernährungsflüssigkeit mehr als neutralisirt wird.

Fingirt man an der Stelle des wirklichen Muskels einen durchaus elastischen Körper und lässt die Contraction von Kraftpunkten in ihm ausgehen, welche den übrigen Massenelementen, indem sie sich anziehen, die gleiche Bewegung zu ertheilen streben, so verlangt man Dinge, welche sich schwer in der Vorstellung mit den wirklichen Erscheinungen bei der Zuckung vereinigen lassen. Denn denken wir uns im Moment der Contraction eine vergrösserte Attractionskraft der Moleküle und von der Stärke der Attraction, wie wir es thun müssen, die Leistung des Systems oder seine Widerstandskraft gegenüber den angehängten Lasten abhängig, so wird es unbegreiflich, wie der Muskel, wenn er sich contrahirt, keine Zunahme seiner ursprünglichen Dichte, und sogar eine gleichzeitige Abnahme seiner Cohäsion d. h. eine grössere Dehnbarkeit zeigen soll. Wir denken uns den ruhenden Muskel und an ihm ein Gewicht aufgehängt. Nachdem die elastische Nachwirkung vorüber ist, halten die elastischen Zugkräfte dem angehängten Gewicht genau die Waage. Nun veranlassen wir eine Zuckung und sehen, dass das Gewicht emporschnellt; wir setzen voraus, es geschieht diess durch eine vergrösserte Attraction der Moleküle: dann sind jetzt offenbar die gegen den fixen Aufhängepunkt gerichteten Zugkräfte so

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

gross, als das ursprüngliche Gewicht, plus dem, welches dasselbe mit der beschleunigten Geschwindigkeit der Zuckung auf das Niveau der Hubhöhe des Muskels geworfen hat; oder anders ausgedrückt, gleich einem Gewicht, welches im Moment der Reizung jede Veränderung der Länge, welche der Muskel durch das erste Gewicht erlangt hatte, zu verhindern im Stande ist. Begreiflich ist jenes Gewicht sehr vielmal grösser, als dieses. Das Bestreben der Theilchen sich zu nähern ist also im Moment der Contraction viel grösser als im Moment der Ruhe. Lässt man die Verkürzung wirklich zu Stande kommen, so sieht man nicht ein, warum die angestrebte Näherung nicht dabei erfolgen soll. Erfolgt sie aber, so wird das Volum des Muskels abnehmen müssen, er wird sich verdichten, und wenn er sich verdichtet, wird die Kraft, welche seine Theilchen in grössere gegenseitige Nähe bringt, die Cohäsion und Elasticität gegenüber dehnenden Gewichten vergrössern müssen.

Es könnte kaum anders sein, als bei einer Spiralfeder, an welcher ein Gewicht hängt, und welche wir sehr schnell und tief abkühlen. Das Gewicht würde gehoben, die Spiralfeder verkürzt und ihr Volum entsprechend der Temperatur-Differenz verkleinert, ihre Elasticität vergrössert gefunden werden.

Ohne die Annahme ganz eigenthümlicher Eigenschaften der materiellen Punkte in einem elastischen Muskelkörper lässt sich kaum jene allgemein gehaltene Molekulartheorie mit den Phänomenen am wirklichen Muskel vereinbaren. Die Eigenschaften jener Moleküle müssten zunächst aus ganz bestimmten Formen derselben entspringen. Denken wir uns den ganzen Körper zusammengesetzt aus parallelepipedischen Elementen, wobei deren Längsaxe parallel der natürlichen Oberfläche, ihre kürzeren Queraxen in den Ebenen der künstlichen Muskelquerschnitte stünden, so lange der Muskel in Ruhe ist: so würde die Formveränderung des Muskels während der Contraction ohne Volumsänderung möglich seyn,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

wenn sich jene Elemente so drehten, dass die Längsaxen in die Ebenen der Querschnitte zu liegen kämen, und der Reiz würde gleichsam als Stoss wirken, welcher die Drehung verursacht. Zugleich könnte die Elasticität abnehmen, trotzdem, dass die Verkürzung eintritt, wenn man z. B. annähme, dass die Attractionskraft in der Richtung der kürzeren Queraxen kleiner wäre, als in der der Längsaxen.

Ich glaube, dass es an der Zeit ist, bevor man derartige Vorstellungen, welche auf mehr homogene Körper ihre Anwendung finden dürften, weiter verfolgt, den Muskel als das zu betrachten, was er ist, nämlich als eine Combination sehr verschiedener Massen und vor allem als eine Combination von festen und flüssigen Theilen. Sofort wird es höchst unwahrscheinlich, dass beide in gleicher Weise bei dem Zuckungsvorgang betheiligt sind, und man wird fragen können, welche von ihnen, da sie ja doch alle unzertrennlich mit einander verbunden bleiben, passiv gleichsam mit fortgerissen werden. Schematisch müssen wir uns einen Muskel zusammengesetzt denken aus einer Anzahl elastischer Schläuche, welche mit einer flüssigen (zähen) Masse ausgefüllt sind; darin selbst aber finden sich die Disdiaklasten in regelmässigen Reihen eingestreut und durch die Zähigkeit ihres Bindemittels, noch mehr aber durch die Capillarattraction in den Schläuchen in ihrer Lage festgehalten. Von vorn herein bestehen zwei Möglichkeiten: entweder der Zuckungsvorgang hebt in dem Inhalt der Schläuche an, und die Formveränderung der Schläuche folgt passiv nach, oder er beginnt in den Schläuchen und der Inhalt wird passiv deplacirt.

Gelingt es, für das Eine oder Andere entscheidende Versuche anzustellen, so gewinnen wir nicht bloss eine tiefere Einsicht in den Zuckungsvorgang, sondern wie sich zeigen wird, auch in die anatomischen Verhältnisse, in welcher Beziehung gegenwärtig noch die Frage schwebt, ob der Inhalt fibrillär und in diesem Fall natürlich nicht ohne elastische Eigenschaften, oder flüssig und an sich ohne elastische Eigenschaften ist.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Da wir zu dem Ende den Muskel unter mancherlei variirten Bedingungen seine Zuckungscurve schreiben lassen mussten, genügte uns die Einrichtung des Helmholtz'schen Myographion nicht mehr; man kann zwar die wichtigsten Versuche auch an diesem wiederholen, inzwischen sei es erlaubt, hier zuerst das von mir gebaute Myographion zu beschreiben, worüber ich bereits im vorigen Winter der Akademie Bericht abgestattet habe, und welches sich seiner Wohlfeilheit und einfachen Handhabung wegen nebenbei empfehlen möchte.

Bekanntlich sind die Anforderungen an ein Myographion, die äusserste Grenze gleichmässiger Bewegung der Schreibfläche, während die Curve sich aufzeichnet, möglichst geringe Reibung der schreibenden Spitze, Auslösung des Reizes auf einem ganz bestimmten und immer sich gleichbleibenden Punkt des Weges, welchen die Fläche durchläuft, momentane Reizung, vollkommene Beherrschung der äusseren Umstände, unter welchen man die thierischen Theile reizt. Die am schwierigsten zu erfüllende Forderung ist die der gleichförmigen Bewegung der Schreibfläche. Helmholtz hat diess durch Uhrwerk, Schwungscheibe, Windfang und Kegelpendel erreicht. Ich erreichte es durch fallende Gewichte und grosse Massen, welche dadurch bei möglichst verminderter Friction in Bewegung gesetzt werden. Das Princip lässt sich mit zwei Worten verständlich machen: es ist das der Atwood'schen Fallmaschine, und ich werde den Namen „Atwood'sches Myographion" beibehalten.

Beschreibung des Atwood'schen Myographion.

1. Der Fallapparat.

Den Träger des Apparates bildet eine gusseiserne Säule von 1,47 Meter Höhe und 0,324 Meter Durchmesser S in Fig. 1 und 2. Diese Säule wird von einem gusseisernen, hohlen c. 30 ℔ schweren Fuss F

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

getragen, dessen drei Stellschrauben st, von Messing, eine stets senkrechte Aufstellung des Apparates gestatten. Die Säule trägt einen Rahmen von prismatischen Eisenstangen R (1,8 Cent. Dicke), welcher 1,28 Meter lang und 0,435 Meter aussen breit ist. (Siehe Fig. 3, in welcher ein horizontaler Durchschnitt in der Höhe von D Fig. 2 abgebildet ist; die Buchstabenbezeichnung ist in allen drei Figuren die gleiche.) Bei ff (Fig. 1) sind rechtwinklig auf die Ebene des Rahmens 5,2 Cent. lange Zapfen eingeschraubt, an welchen mit Muttern die Querstangen St St (Fig. 2) befestigt werden. Diese 1 Cent. dicken und 2,5 Cent. breiten Eisenspangen sind ihrerseits im Einschnitte der Säule eingelassen, und daran mittelst der Schrauben mm (in Fig. 1) befestigt. Dadurch steht die hintere Ebene des Rahmens 4,4 Cent. von der vorderen Tangentialebene der Säule ab. Die beiden langen Vorderseiten des Rahmens dienen zur Unterlage der sehr genau gearbeiteten Schienenbahn. Es sind diess zwei Eisenlamellen von 2,5 Cent. Breite und 5 Mill. Dicke (sch), welche mit 4 Schrauben (Fig. 3 o) an dem Rahmen jeder Seits befestigt sind. Die einander zugekehrten Kanten sind zugeschärft, so dass ihre Durchschnitte gleichseitige Dreiecke darstellen. Sie müssen vollkommen geradlinig verlaufen und blank geschliffen sein.

Um den vollständigen Parallelismus beider herstellen zu können, sind die Löcher der Lamellen, durch welche die befestigenden Schrauben gehen, weiter als die Querschnitte der Schrauben selbst. Damit ist die Bahn hergestellt, auf welcher sich die Schreibfläche bewegen soll.

Die Schreibfläche ist zunächst eine plangeschliffene dicke Spiegelplatte von 0,35 Meter Länge und 0,23 Meter Breite. Diese (G) passt in einen eisernen Rahmen E (Fig. 2) und wird darin durch die vier Riegel pppp festgehalten. Auf die Vorderfläche des Rahmens sind vier gabelförmige Messingstücke t Fig. 2 und 3 aufgeschraubt, welche äusserst genau gearbeitete in Spitzen laufende Rollen (r) von 2,7 Cent. Durchmesser tragen. Die Hohlkehlen dieser Rollen entsprechen auf

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

ihrem Querschnitt genau der Kantenform der Schienenbahn sch (Fig. 3), indem sie auf der letzteren geschliffen sind. Durch Schrauben n (Fig. 3) lässt sich die Stellung der Rollen r r (Fig. 2) leicht reguliren, so dass man jedes Wackeln der Rollen auf ihrem Geleise vollkommen verhüten kann. Durch die Einstellung der Schienenbahn lässt sich zweitens jede ungleiche Klemmung des Rahmens für die Schreibfläche längs der ganzen Bahnstrecke corrigiren.

Das Gewicht des Rahmens sammt der Glastafel beträgt 1700 Grmm.

Auf dem Gipfel der Säule befindet sich eine Rolle W (Fig. 1 und 2) von 7,8 Cent. Radius, welche einen Schnurlauf hat, und in einem messingenen, auf die Säule aufgeschraubten Träger O ebenfalls zwischen Spitzen läuft. An dem oberen Rand des Rahmens für die Glastafel befindet sich ein starker Hacken, an welchem eine dicke Darmsaite befestigt ist. Wenn letztere über die Rolle W geschlungen, und an ihr auf der Rückseite des Apparates das Gegengewicht C h angehängt ist, befinden sich die Saite und die Kanten der Schienen genau in *einer* Ebene.

Neben der Schiene hängt der Senkel P Fig. 2 herab und spielt unten über einer Spitze, wornach mittelst der Schrauben st die Aufstellung des ganzen Apparates regulirt werden kann. Das Gegengewicht der Schreibfläche ist eine Messinghülse C h Fig. 1 und 2 mit bleierner Spitze, welches an sich etwas leichter ist, als der Rahmen mit der Glastafel. Durch Bleistücke und Schrotkörner, welche in die Hülse gebracht werden, regulirt man das Gewicht nachträglich, so weit bis das Aequilibrium vollständig hergestellt ist, nur ein sehr kleines noch hinzugefügtes Gewicht dasselbe stört und den Rollen-Rahmen in Bewegung setzt. Der Hacken für die Befestigung der Saite befindet sich an einem auf die Hülse aufzuschraubenden Deckel.

Die erste Probe, welche gemacht werden muss, ist die, dass man untersucht, ob auf jedem Punkt der Bahn der Rollrahmen bei angehängtem

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Gegengewicht stehen bleibt, und überall durch dasselbe kleine, aufgelegte Gewicht in Gang gebracht werden kann. So lange diess nicht der Fall ist, muss an den Schienenlamellen corrigirt werden, wozu eben die weiteren Bohrlöcher an ihren Befestigungspunkten dienen. Vollkommen fein kann das Aequilibrium durch das Anziehen oder Lüften der Schrauben aq an dem Rollenträger O abgeglichen werden.

Um dem Rollen-Rahmen zunächst eine beschleunigte Geschwindigkeit seiner Bewegung mitzutheilen, dient das Uebergewicht ü Fig. 1. Es besteht dasselbe aus einer cylindrischen Messinghülse von 3,5 Cent. Höhe und 4,8 Cent. Durchmesser. In seiner Axe befindet sich eine nach unten und oben offene Messingröhre von 1 Cent. Durchmesser, durch welche das Endstück der Saite geht, und der Hacken des Gewichtes Ch bequem Platz hat, wenn die Hülse auf der oberen Fläche des balancirenden Gewichtes aufsitzt. Während der Muskel die Zuckungscurve schreibt, soll der Rollen-Rahmen mit gleichförmiger Bewegung an der zeichnenden Spitze vorbeifliegen. Es geschieht diess in dem Augenblick, in welchem bei dem Fall des Gegengewichtes das Uebergewicht entfernt wird. Die Messinghülse ü muss also an einem bestimmten Punkt von dem fallenden Gegengewicht abgehoben werden. Da dieses aber zugleich derselbe Punkt ist, an welchem jedesmal der momentane Reiz den Muskel oder Nerv treffen soll, so muss der auffangende und auslösende Apparat zusammen als ein besonderer Theil des ganzen Instrumentes für sich betrachtet werden.

Ein aus ganz trocknem Holz gedrehtes, nach abwärts in eine 8 Cent. lange Hülse sich fortsetzendes Tischchen tr in Fig. 1, 2, 5 ist an der Säule verschiebbar, und durch Schrauben in beliebiger Höhe feststellbar. Vorn und hinten ist von der runden Tischplatte ein Segment weggeschnitten, und trägt auf seiner oberen Fläche hinter der Säule folgende Stücke: Erstens den auffangenden Metallbogen (Fig. 5 AA). Es besteht derselbe aus zwei starken in das Tischchen theil-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

weise eingelassenen und sehr fest aufgeschraubten schwach S förmigen Messingbügeln. Zwischen ihnen hindurch kann das Gegengewicht, nicht aber die Hülse des Uebergewichtes. Dieses bleibt auf ihnen liegen, sobald es bei dem Fall des Gesammtgewichtes auf das Niveau der Messingbügel gekommen ist. Da der Ort hiefür vollkommen fixirt ist, so wurde er auch zugleich dazu benützt, eine galvanische Kette zu öffnen oder zu schliessen.

Man sieht in Fig. 2 angedeutet, in Fig. 5 A im Grundriss, Fig. 5 B im Aufriss und halber Grösse zwei auf das Tischchen aufgeschraubte kleine Messingständer von 2,2 Cent. Höhe tt'. Zwischen ihnen befindet sich eine Messingwalze w von 4 Mill. Durchmesser, welche sich zwischen Spitzen dreht. Auf der Walze sind zumeist nach aussen zwei platte Messingfedern ss' von 4 Mill. Breite und 4,5 Cent. Länge aufgeschraubt; etwas weiter nach innen sieht man zwei rechtwinklig gebogene amalgamirte Kupferdrähte dd' von 0,7 □ Mill. Querschnitt über Näpfchen aus Horn gedreht nn' und mit Quecksilber gefüllt eingefügt. Unterhalb der vorderen Enden der Messingfedern, an deren Unterfläche Platinblech aufgelöthet ist, zeigt sich eine Drahtklemme (kk') in das Tischchen eingeschraubt, deren Kopf (pl) mit Platinblech beschlagen ist. Die Walze mit ihren Federn stellt also die Verbindung zwischen beiden Drahtklemmen her, sobald die Federn auf den letzteren aufliegen. Im entgegengesetzten Fall ist die Verbindung unterbrochen. Damit das Letztere ohne alle ungleiche Verzögerung und mit der geringsten Verzögerung geschehe, ist der Schluss und Unterbrechung Federkräften anvertraut. Seitlich von dem einen Träger der Walze sieht man eine 2,5 Cent. hohe Messingsäule (a) in das Tischchen geschraubt; oben hält auf ihr eine Schraube eine Feder f fest, welche ähnlich den beiden anderen Messingfedern gebaut ist. Diese Feder drückt auf den einen die Walze durchbohrenden und nach hinten sich verlängernden Kupferdraht d und hebt, wenn sie wirken kann, den Contact zwischen den

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Drahtklemmen kk′ und den Messingfedern ss′ auf. Diess soll aber immer erst geschehen, wenn das Uebergewicht in das Niveau der auffangenden Bügel AA gekommen ist. Dazu dient eine Einrichtung, wie sie an dem sogenannten Stecher der Kugelbüchsen gebräuchlich ist. Diese Vorrichtung Fig. 6, in eine Nische (N Fig. 5) des Tischchens versenkt, hält die Federn auf den Drahtklemmen immer mit der gleichen Kraft fest, und das vordere Ende des auslösenden Hebels st ragt oben über das Niveau der auffangenden Bügel in die Höhe, und wird jedesmal an demselben Ort von dem vorstehenden Rand der Uebergewichtshülse erreicht, während das Gewicht selbst, ohne anzustreifen, vor ihm vorüberfliegt. Die gegenspannende Feder f verhütet, dass nach geschehener Auslösung die Messingfedern je wieder auf die Drahtklemmen zurückschnellen.

Soll statt des Oeffnungsschlages der Schliessungsschlag benützt werden, so wird die gegenwirkende Feder f um c. 20° nach vorwärts gedreht, dann drückt sie auf die vordere Hälfte des Kupferdrahtes d mit grosser Kraft und drückt die amalgamirten Spitzen in das Quecksilber der Näpfchen nn′, sobald die Uebergewichtshülse den umgekehrt eingestellten Stecher st berührt. In das Quecksilber der Näpfchen versenkte Stahldrähte ll′ führen den Strom mittelst Klemmen in die weiteteren Drahtleitungen über. In Fig. 6 sieht man genauer die Vorrichtung, welche in die Nische N (Fig. 5) versenkt ist, und zwar in seitlicher perspektivischer Ansicht. Ein rechtwinklig gebogener Messingklotz LL, auf dem Boden der Nische festgeschraubt, enthält in seinem senkrechten Theil den Drehungspunkt des zweimal rechtwinklig und ausserdem seiner Fläche nach gebogenen Kniehebels p. Der untere Arm trägt einen niedrigen Vorsprung o. Wird st gehoben, und die Walze W Fig. 5 mittelst d niedergedrückt, so wird durch die Spannung der Feder f der querliegende Theil des Hebels h (Fig. 5 B) gegen den vorderen Rand des Vorsprunges o (Fig. 6) geklemmt. Sowie die Uebergewichtshülse

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

den Stecher st berührt, und den unteren Arm des Kniehebels (Fig. 6) niederdrückt, dreht sich die Walze W (Fig. 5 B) rückwärts, und der Contact ss′ mit pl pl′ wird sofort aufgehoben. Drückt f (Fig. 5) auf den vorderen Theil von d, so greift, wenn die Walze W mit der Hand rückwärts gedreht und st gehoben worden, der Hacken von h (Fig. 5 B) an der hinteren Fläche des Vorsprunges o Fig. 6 ein, und es tauchen sofort nach der Auslösung durch die Uebergewichtshülse die Kupferdrähte dd′ von der Feder f (Fig. 5) getrieben in das Quecksilber der Näpfchen nn′ (Fig. 5 A).

Damit das Gewicht den Rollen-Rahmen nicht zu hoch hinaufzieht, muss es ebenfalls aufgefangen werden, was durch eine hölzerne, mit Tuch gefütterte Hülse H Fig. 1 und 2 geschieht, welche an der Säule festgeschraubt werden kann. Eine Verstellbarkeit dieses Theiles ist wünschenswerth, weil die Saite, an welcher das Gewicht hängt, nicht immer ihre Länge beibehält.

Der Rollenrahmen muss in einem beliebigen Moment in Bewegung gerathen, und sein Zurückrollen nach der Beendigung der Bewegung momentan verhütet werden. Dazu bedarf es einer Auslösung und einer Arretirung. Die Auslösung habe ich gewisser Versuche wegen selbst wieder mit einer galvanischen Leitungsbahn in Verbindung gebracht. Man sieht den Ort, wo sie angebracht ist, in Fig. 2 bei au. In Fig. 4 A und B ist die Vorrichtung von der Seite und von hinten zu übersehen. Zum Befestigungspunkt derselben ist die untere in die Säule eingelassene Querstange St Fig. 2 benützt. Auf ihrer oberen Fläche ist die Hornplatte h Fig. 4 A und B aufgeschraubt, und in diese selbst wieder die kleine Messingplatte m (Fig. 4 B) eingelassen. Die erstere ist 6,5 Cent. lang, die letztere 2,4 Cent.; beide sind 1,8 Cent. breit. Auf der Messingplatte ist die kleine 0,6 Cent. hohe Contactsäule c und die Drahtklemme d eingeschraubt. Auf der inneren Fläche des Schienenrahmen ist ein doppelt gekröpftes Messingstück k angebracht, wel-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

ches sich um i (Fig. 4 A) dreht, durch die Feder x aber mit seinem oberen hackenförmigen Ende nach vorn gedrückt wird. In die Schienen-Lamelle s c h ist ein Schlitz s geschnitten, durch welchen das gekrümmte Ende des Kniehebels vorragt und dem Rollenrahmen verwehrt, emporzusteigen, so lange die Feder x wirkt. Der Rollenrahmen trägt nämlich auf der hinteren Fläche seines oberen Querstückes eine 1 Cent. breite und die Breite des Rahmens überragende platte Eisenstange, welche an ihrem äusseren Ende so gekröpft ist, dass sie auf die Vorderseite der Schienenlamelle in einem Abstand von 4 Millimeter davon gelangt. Von oben nach abwärts ist das Ende dieses Stückes abgeschrägt. Steht der Rollenrahmen unten, so bewegt der Druck der Feder x das vordere Knie des Winkelhebels k über diess vorragende Stück w (Fig. 2) am Rollenrahmen, und hält diesen auf seinem tiefsten Standort fest. Wird aber durch den Druck der Hand auf D (Fig. 4 A) des Winkelhebels der Contact desselben mit der kleinen Säule c hergestellt, so bewegt sich das obere gekröpfte Stück rückwärts, und der Rollenrahmen beginnt sofort seine Bewegung. Wird umgekehrt die Wirkung des Gewichtes durch die Hand aufgehoben, und sinkt in Folge dessen der Rollenrahmen auf seinem Schienenweg herab, so drängt er mit seiner Verlängerung w auf den convexen Hacken des Kniehebels k (Fig. 4 A), schiebt ihn durch den Schlitz in der Schienenlamelle zurück, und geräth dann unter den Hacken; dieser schnappt ein und kommt über die Verlängerung des Rollenrahmen zu stehen, ohne wieder zurückzugehen, bis der Druck auf D die Kraft der Feder x überwindet.

Es gibt Fälle, in welchen es wünschenswerth ist, den Kettenstrom, der durch das Aufschlagen der Uebergewichtshülse unterbrochen werden soll, immer die gleiche Zeit hindurch vorher geschlossen zu halten. Aus diesem Grund befindet sich an der eben beschriebenen Auslösung noch eine Leitungsbahn, welche in dem Moment hergestellt wird, in welchem der Rollenrahmen seine Bewegung beginnt. Auf der kleinen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Messingplatte m (Fig. 4) ist nämlich eine Drahtklemme d aufgeschraubt. Der Kniehebel k hat bei δ ebenfalls eine Schraube, durch welche in ihm ein Draht festgeklemmt werden kann. Nun denke man sich die Drahtklemme k auf dem Tischchen der Säule S Fig. 5 A mit der isolirten Drahtklemme d (Fig. 4 B) verbunden; die Drahtklemme k′ Fig. 5 auf dem Tischchen der Säule mit dem negativen Pol des Bechers, den positiven Pol desselben durch einen Draht mit dem Kniehebel an δ (Fig. 4 A): dann wird der Strom erst geschlossen im Moment, in welchem der Rollenrahmen seine beschleunigte Bewegung beginnt, und wird unterbrochen, wenn die Uebergewichtshülse den Stecher st Fig. 5 A an dem Säulentischchen berührt, und der Rollenrahmen seine *gleichförmige* Bewegung beginnt.

Die Arretirung des Rollenrahmen auf dem oberen Endpunkt seiner Bahn ist einfacher. Sie besteht aus einer auf die vordere Fläche der Schienenlamelle aufgeschraubten starken Messingfeder (Fig. 2 a r), welche durch die Verlängerung w am Rollenrahmen zurückgedrängt wird, wenn er emporfliegt, welche aber zurückschnellt und den Rahmen aufhält, sobald er in seiner Bewegung umkehren wollte, nachdem das Gewicht Ch (Fig. 1, 2) in der Hülse H aufgefangen worden ist.

Die Bewegung der Schreibfläche bei dem Fall des Gegengewichtes ist eine vertikale; die schreibende Spitze muss also eine horizontale Bewegung haben. Der Schreibapparat ist ganz getrennt von dem übrigen Instrument, und befindet sich auf dem Experimentirtisch vor dem Fallapparat aufgeschraubt; er muss zugleich mit jenem beschrieben werden.

2. Der Schreibapparat und Experimentirtisch.

Der Experimentirtisch ist sehr massiv gebaut, 9 Decimeter hoch, 12 Decimeter lang, 6,2 Decimeter breit, und seine Platte ist, wie man auf Fig. 8 in der Ansicht von oben bemerkt, so ausgeschnitten, dass

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

der Schienenrahmen RR bequem in dem Ausschnitt Platz hat. Ausserdem befindet sich auf der Tischplatte der Schuber Sch um die Platte, wenn nöthig noch breiter zu machen. In der Mitte vor der Schreibfläche F ist auf der Platte der Schreibapparat P fest aufgeschraubt, welchen man in Fig. 7 von der Seite, in Fig. 9 von vorn sieht. Der wesentliche Theil besteht in einem sehr leichten messingenen Hebel H, welcher oben rechtwinklig umgebogen ist, um die schreibende Spitze zu tragen. Dieser Hebel ist auf einer 4 Cent. langen Axe *a* Fig. 7 befestigt, welche selbst in einem Lager ll zwischen Spitzen mit grosser Leichtigkeit und doch ohne alle Schwankungen spielen kann. Die Ebene des Hypomochlion liegt am oberen Ende des unteren Fünftels der Hebellänge. Unterhalb seines Hypomochlion läuft der Hebel in einen Schraubengang g aus, auf welchem ein Messingring b aufgeschraubt wird. Dieser kann je nach seiner Stellung den längeren Hebelarm so vollkommen balanciren, dass derselbe in jeder Lage, die man ihm geben mag, stehen bleibt. Am untersten Ende des Gewindes ist ein feines Häckchen h angebracht, welches, wie man in Fig. 9 sieht, einerseits mit der leichten Stahlstange Sta, andererseits mit dem Faden Fa verbunden werden kann. Das Lager des Pendels ist an dem ⊏ förmig gekröpften Messingstück M Fig. 7 befestigt, welches auf der Stativstange St Fig. 7 höher oder niedriger festgestellt, und um deren Axe gedreht werden kann. Das Messingstück M Fig. 7 trägt vorn einen Gradbogen gb Fig. 7 und Fig. 9, um für gewisse Zwecke die anfänglichen Winkelstellungen des Hebels H in verschiedenen Versuchen genau einhalten zu können. Die Stativstange St ist unten im rechten Winkel gekröpft, und wird mit zwei Schrauben K Fig. 7 auf dem Experimentirtisch befestigt. Man kann die Curven auf zweierlei Weise schreiben lassen. Entweder man bringt am obern Ende des Hebels eine feine Stahlspitze an, von welcher man auf der angerussten Spiegelplatte die Linie einritzen lässt, um von dieser dann die Abdrücke nach irgend einer der bekannten Methoden zu gewinnen; oder man benützt, wie ich diess

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

für bequemer und eben so gut befunden habe, eigene Pinsel, mit welchen die Curve direkt auf Papier geschrieben wird.

Ich weiss nun allerdings, dass man die anfängliche Methode, sich bei den graphischen Versuchen der Pinsel zu bedienen, fast allgemein aufgegeben, und dafür den Gebrauch stählerner Spitzen, welche auf berusstem Glas schreiben, eingeführt hat. Ich habe mich selbst überzeugt, dass die gewöhnlichen, selbst feinsten Pinsel, noch dazu mit irgend welchen Tinten getränkt, durchaus unbrauchbar sind. Die grosse Biegsamkeit und das rasche Vertrocknen sind Uebelstände, welche die Curven entweder entstellt oder gar unvollkommen entstehen lassen. Nach vielen vergeblichen Versuchen ist es mir endlich gelungen, von einem hiesigen geschickten Fabrikanten geeignete Pinsel zu erhalten. Man nimmt von den feinsten Miniaturpinseln für Aquarell, und lässt einen solchen in die Axe eines zweiten von stärkeren Haaren einbetten, so dass die äusserst feine, nur aus ein Paar Härchen bestehende Spitze des inneren Pinsels in $\frac{1}{2}$ Mill. Länge vorsteht. Durch den Haarkegel des gut gearbeiteten äusseren Pinsels erhält die Spitze des inneren die gehörige Steifigkeit, und was das Wichtigste ist, ihre fortdauernde Tränkung mit Farbstoff. Fig. 12 ist ein solcher Pinsel abgebildet. Die Linien, welche man damit erhält, haben bei gehöriger Einstellung 0,14 Millimeter Dicke, wie ich beispielsweise an einer vor mir liegenden Zuckungscurve eines Muskels gemessen habe. Um bei dieser Feinheit die Linien noch gut sichtbar zu erhalten, wende ich eine Lösung von Carmin in Ammoniak an. Jeder Zusatz von Gummi oder Zucker muss aber vermieden werden, auch darf die Lösung nicht zu concentrirt sein. Setzt man etwas Chlorcalciumlösung zu, so kann man Stunden lang fortschreiben lassen, ohne den Pinsel auf's Neue tränken zu müssen. Zur feinsten Einstellung des Pinsels dient die kleine Mikrometerschraube m Fig. 7, durch welche der Druck der Spitze gegen die Schreibfläche auf's Genaueste regulirt werden kann.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Das Papier, auf welches geschrieben wird, ist geglättetes Velinpapier. Dieses wird auf der Rückseite sehr stark mit einer Mischung aus vielem Wasser, sehr wenig Kleister, wie er zum Stärken der Wäsche angewendet wird, und etwas zerflossenem Chlorcalcium befeuchtet. Die Papierstreifen legen sich dann vollkommen glatt und ohne alle Falten auf der Spiegelplatte im Rollenrahmen an; schon mit wenig Uebung erreicht man es, diese Manipulation in weniger als einer halben Minute auszuführen. Der Zusatz von etwas Kleister verhütet das zu frühe Abfallen oder Aufrollen des Papiers, wie es oft störend eintritt, wenn man die Benetzung bloss mit Wasser vornimmt; der Zusatz von Chlorcalcium verhütet das feste Ankleben des Papiers durch den Kleister, wenn man z. B. zwei Versuche an ein und demselben Präparat in zwei weit auseinander liegenden Zeitmomenten anstellen will.

Ob der Schienenrahmen senkrecht und die Ebene des schreibenden Pinsels genau rechtwinklig darauf eingestellt ist, was für die Versuche unbedingtes Erforderniss bleibt, wird durch folgenden Versuch ermittelt: Die Pinselspitze wird bei fixirtem Hebel an den obersten oder untersten Rand des Papiers auf der Spiegelplatte durch die Micrometerschraube m Fig. 7 sanft angedrückt, hierauf der Rollenrahmen langsam herabgelassen. Dabei muss die aufgezeichnete gerade Linie am entgegengesetzten Punkt der Schreibfläche genau die gleiche Dicke haben wie an ihrem Anfang. Jetzt wird in einer beliebigen Höhe der Schreibfläche vor dem Pinsel der Hebel von seinem unteren Häckchen aus hin und her bewegt, und dabei die Tafel ganz langsam aufgezogen. Auch jetzt müssen alle hin und her laufenden Schlangenlinien an allen Punkten die gleiche Dicke zeigen. Ist diess nicht der Fall, so wird der Hebelträger M Fig. 7 so lange um die Axe des Statives St gedreht, bis diese Bedingung erfüllt ist. Die Stellschraube Sch (Fig. 7) wird sofort ganz fest angezogen, und die Versuche können beginnen.

Zuerst hat man sich davon zu überzeugen, dass bei gleich grossem

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Uebergewicht die nach der Auslösung erlangte Geschwindigkeit der Schreibfläche constant bleibt, zweitens dass die Auslösung selbst immer mit der gleichen Geschwindigkeit und auf demselben Punkt des Schienenweges geschicht, drittens dass die Geschwindigkeit nach der Auslösung eine gleichförmige ist, und endlich hat man das Maass dieser Geschwindigkeit selbst zu bestimmen.

Dass bei zwei Versuchen mit dem gleichen Verhältniss zwischen den bewegenden und bewegten Gewichten an den gleichen Orten der Bahn keine grossen Differenzen der Geschwindigkeit vorkommen werden, liess sich bei der Genauigkeit, mit welcher die einzelnen Stücke des Apparates gearbeitet worden und bei dem grossen Gewicht der in Bewegung gesetzten Massen voraussetzen. Da es sich aber bei den Versuchen, für welche der Apparat gebaut ist, um sehr kleine Grössen handelt, und da er in Beziehung auf Genauigkeit dem Helmholtz'schen Myographion zum mindesten gleich kommen soll, so dürfen wir uns nicht auf blosse Möglichkeiten verlassen, sondern wir müssen die Leistung des Instrumentes direkt prüfen. Ich habe verschiedene Wege dazu eingeschlagen. Es handelt sich darum, während die Tafel am zeichnenden Pinsel oder Stift vorüberfliegt, Bewegungen ausführen zu lassen, welche, so oft sie wiederholt werden, absolut gleichen Verlauf und Bestand haben. Dazu eignen sich offenbar am besten Pendelschwingungen, welche wir wegen der vertikalen Bahn unserer Schreibfläche zugleich am bequemsten verwerthen können. Statt des balancirenden Gewichtes b (Fig. 7) ist an den zeichnenden Hebel ein ½ Pfund schweres Bleigewicht angeschraubt. Eine O-förmige Schleife eines weichen Fadens ist an ihrem einen Endpunkt durch ein kleines viereckiges Papierblättchen gezogen, ihre entgegengesetzte Umbiegung wird einfach um das unterste Ende des Gewichtes am Hebel geschlungen. Der Hebel wird durch Zug an dem Papierstückchen in eine geneigte Lage gebracht, und das Papier zwischen einen Elektromagnet und seinen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Anker geklemmt. Durch Verschiebung des letzteren kann man es leicht dahin bringen, dass der anfängliche Winkel, welchen man am Gradbogen (g b Fig. 9) abliest, immer der gleiche ist. Der Elektromagnet liegt horizontal, sein Anker ist mit Papier gefüttert, der Strom des Grove'schen Bechers wird auf constanter Grösse erhalten; geschlossen bleibt die Kette, so lange die Federn ss' Fig. 5 B auf den Contactsäulen kk' angepresst erhalten werden. Aus Fig. 8 kann man sich ein Bild der Drahtanordnung machen, wenn man sich die Drahtenden $\alpha'\beta'$ des Elektromagneten El mit den Drähten $\alpha\beta$ des Elementes E statt wie auf der Figur mit dem Du Bois'schen Schlitten DB verbunden denkt. Der mit Kautschuk überzogene Arm Ar eines neben dem Apparat aufgestellten Statives führt die Drähte vom Tischchen tr der Säule durch die Luft zu den Vorrichtungen auf dem Experimentirtisch.

Die jedesmalige Geschwindigkeit, welche man der Schreibfläche geben will, regulirt man durch ringförmige Bleigewichte, welche in die Uebergewichtshülse gelegt werden. Wenn dann die letztere bei ihrem Fall den Stecher der Auslösung berührt, so dreht sich die Walze w (Fig. 5) rückwärts, die Federn ss' springen von ihren Contactflächen zurück, die Kette ist geöffnet, der Anker fällt ab, weil der Elektromagnetismus verschwunden ist, das schwere Bleigewicht am Schreibhebel beginnt mit diesem seine pendelnde Bewegung, und der leichte Faden mit dem Papierplättchen fällt, ohne den Schwung der Masse irgendwie aufhalten zu können, ab. Ist nun vorher bei geschlossenem Kreis und eingestelltem Hebel die seiner Neigung entsprechende Abscissenaxe gezogen worden, hat man ferner bei ganz langsamem mit der Hand regulirtem Herabrollen der Schreibfläche den Ort aufzeichnen lassen, an welchem die Curve sich bei dem Oeffnen der Kette entwickelt; hat man dann den Hebel bei geschlossenem Kreis wieder in seiner ersten Winkelstellung fixirt, die Schreibfläche durch Auslösung von D (Fig. 4 A) aus emporfliegen und die Schwingung des Pendels aufzeichnen lassen,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

so kann man bei Wiederholung des Versuches sehen: erstens ob sich die Curven decken, zweitens ob immer der Zeitverlust vom Moment an, in welchem das Uebergewicht auslässt, bis zu dem, in welchem die Curve von der Abscissenaxe abbiegt, gleich gross ist.

Fig. 1 der Curventafel ist eine solche Linie abgebildet. a f ist die Abscissenaxe für die in allen Versuchen eingehaltene anfängliche Winkelstellung des Hebels, g h die Abscissenaxe für die Ruhelage des Hebels, also für Winkel Null. Die Curve a b entspricht dem Schwingungsbogen des Hebels, wenn die Schreibfläche ruhig an dem Ort gehalten wird, an welchem sich durch das Uebergewicht die Kette öffnet. Demnach entspricht a c der Zeitdauer, welche verstreicht, bis der Pendel zu schwingen anfängt, bis also der Elektromagnetismus verschwunden ist; d e entspricht der Zeit der ersten halben Pendelschwingung.

Bei mehreren ganz speziell zu diesem Zweck angestellten Versuchen erhielt man als Werth für das Abscissenstück a c

1) 0,0211 Secunden,
2) 0,02107 „
3) 0,022 „

also die grösste Differenz 0,001 Sec. Dabei war aber die ursprüngliche Winkelstellung nicht gleich erhalten. Geschah dieses genau, so konnte ich z. B. 7 Curven hinter einander schreiben lassen, ohne dass irgendwo eine Divergenz derselben oder irgend ein erkennbarer Raum zwischen ihnen hätte wahrgenommen werden können. Diese Curven sind der Akademie in der Sitzung vorgelegt worden. Wechselt man die Winkel der Anfangsstellung, so sollte nach der Theorie des mathematischen Pendels bei den verschiedenen Elongationen der Nullpunkt doch immer nach der gleichen Zeit erreicht werden; man weiss aber, dass diess nicht mehr für die wirklichen Pendel gilt, und so habe ich mehrere Büschel von Curven von verschiedenen Winkelstellungen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

aus schreiben lassen und dabei für die Winkeldifferenz von 0—28° im Mittel 0,004 Secunden Differenz für die Zeit gefunden, in welcher die Curven die Abscissenaxe der Nulllinie schnitten. Hier ist jedoch nur wichtig zu bemerken, dass bei der Anwendung des schweren, sowie eines im Ganzen nur 50 Grmm. schweren Pendels die Differenz in der Länge der Linie von de nie 0,001 Sec. Zeitmaass überschritt. Da nun die Länge von de 0,1315 Sec. entspricht, so ist die Differenz von 0,001 Sec. gleich 0,007 der ganzen Zeitdauer.

Um zu sehen, ob auch bei geringerer Geschwindigkeit (von 0,208 Meter in der Secunde) die Bewegung der Schreibfläche auf ihrem ganzen Weg gleichmässig ist, habe ich noch ein anderes Verfahren eingeschlagen. Ich stellte das schwere Gewicht des Pendels so, dass sein Pinsel in 9 Secunden 33,5 einfache Schwingungen aufzeichnete, wenn die Tafel durch ein Uhrwerk langsam aufgezogen wurde. Nun liess ich auf's Geradewohl den Pendel schwingen, löste den Rollenrahmen aus und erhielt bei zwei hinter einander angestellten Versuchen z. B. die in Fig. 2 im verkleinerten Maassstab gezeichnete Doppelcurve. Diese schnitten die durch die Mitte der Tafel gezogene Abscissenaxe der Nulllinie an 6 Stellen, an dreien auf der oberen, an dreien auf der unteren Hälfte der Tafel; es waren also drei einfache Pendelschwingungen zweimal verzeichnet. Die Abstände der Schnittpunkte auf der Abscissenaxe betrugen für die erste Curve aa′ 113,04 Millim. in der oberen Hälfte und 113,04 Mill. in der unteren Hälfte; genau eben so gross waren die Abstände von b und b′ in der oberen, für b′b″ in der unteren Hälfte der Tafel bei der zweiten Curve. Diese Ergebnisse blieben sich gleich, so viele Curven ich auch mochte schreiben lassen, und bezeugten auf's Schlagendste, dass die Forderung einer gleichförmigen Bewegung auf das Genaueste in dem Apparat erfüllt ist.

Die schwierigsten mechanischen Aufgaben durften als gelöst betrachtet werden: gleichmässige Bewegung und bei gleichen Differenzen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

von Gewicht und Uebergewicht auf einem bestimmten Ort der Bahn jedesmal die gleiche Geschwindigkeit, und endlich im Bereich der ganzen Länge der Schreibfläche, also auf einer Wegstrecke von mehr als 35 Decimeter, auf allen Punkten der Bahn ebenfalls die gleiche Geschwindigkeit.

Die letzte Frage war, ob, wie sich der Apparat als vollkommen tauglich zu vergleichenden Versuchen erwies, er auch zu absoluten Zeitbestimmungen ausreiche. Denn es war wohl sicher, dass vom Moment des Aufschlagens der Uebergewichtshülse bis zum Beginn der Pendelschwingung mit einer Differenz von höchstens 0,0003 Secunden, in allen Versuchen mit gleicher Anfangsstellung des Pendels die gleiche Zeit verstrich; die mechanische Aufgabe ist aber die, dass wirklich im Moment des Aufschlagens auch der Impuls zur Bewegung gegeben wird, denn in den absoluten Zeitbestimmungen kommt es ja darauf an, zu wissen, wie lange die Folge des Impulses gleichsam „latent" geblieben, d. h. wann wirklich nach erfolgtem Impuls die Bewegung beginnt und die Widerstände entfernt sind, welche sich dem Beginn der Bewegung entgegenstellen. Man könnte alle Erfahrungen und Berechnungen von Helmholtz unmittelbar auch für unseren Apparat verwerthen, wenn in letzterem statt durch die Vorrichtung Fig. 6 die Walze w Fig. 5 einfach etwa durch die Schwere von ss′ oder die Friction der Spitzenschrauben ii in einer Stellung erhalten würde, welche den Contact zwischen ss′ und kk′ herstellt. Dann würde die Uebergewichtshülse durch Schlag auf einen nach rückwärts vorragenden Hebel der Walze den Contact momentan aufheben, wie der Zahn der Schwungscheibe z den Contactstift u in Helmholtz's Vorrichtung (Müll. Archiv 1852 T. VII Fig. 3). Um einen innigeren Contact der Metalle und die Möglichkeit zu erzielen, je nach Stellung der Feder f auf a Fig. 5 B den Oeffnungs- oder Schliessungsschlag zu benützen, habe ich die Vorrichtung Fig. 6 mit dem Stecher angebracht und es handelt sich darum,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

zu ermitteln, welche Verzögerung dadurch für den Eintritt des Impulses d. h. also für die Aufhebung des Contactes von kk′ mit ss′ eingeführt wird.

Dazu brauchen wir die Kenntniss 1) des Geschwindigkeitsgewinnes, welche bei dem Aufschlagen des Uebergewichtes der Stecher an der Auslösung erlangt, 2) der Höhe, welche die senkrechte Fläche am Vorsprung o Fig. 6 hat, 3) das Gewicht, durch welches die Auslösung bewerkstelligt wird. Da die Vorrichtung durch Federdruck in ihrer Lage vor der Auslösung gehalten ist, da die Uebergewichtshülse als ein elastischer Körper betrachtet werden darf, da der Stecher vor dem Stoss, welchen er erfährt, in Ruhe ist, so darf die Formel für den elastischen Stoss in Anwendung gebracht werden:

$$v = \frac{2\ M_1\ c_1}{M_1 + M_2}$$

Dabei ist v der Geschwindigkeitsgewinn, M_1 die bewegte, hier im Fall begriffene Masse, c_1 die Geschwindigkeit, welche dieselbe im Moment hat, in welchem sie auf die Masse M_2, d. i. der Gegendruck der Vorrichtung Fig. 6 bei ihrer Anfangsstellung, stossend wirkt.

Gewicht, Rollenrahmen und Uebergewicht wiegen z. B. zusammen 1854 Grmm. Die erlangte Geschwindigkeit dieser Masse ist in dem Moment, in welchem die Uebergewichtshülse den Stecher trifft, = 0,827 Meter. Der Gegendruck, durch welchen der Stecher gehalten wird, beträgt 10 Grmm.; so erhalten wir

$$v = \frac{3708 \times 0{,}827}{1864}$$
$$= 1{,}64 \text{ Meter.}$$

Die Höhe der Wand am kleinen Vorsprung von o Fig. 6 beträgt 0,4 Millimeter; demnach wird der Zeitverlust $\frac{0{,}0004}{1{,}64} = 0{,}0002$ Secun-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

den vom Moment des Aufschlagens der Uebergewichtshülse bis zum Aufheben des Contactes, d. h. bis zum vollbrachten Oeffnen des Kettenstromes.

Wenn nun 1 Millim. Länge der Abscissenaxe 0,001208 Sec. Zeit entspricht, so ist der Zeitverlust von 0,0002 Sec. in 0,16 Millim. Länge der Abscisse ausgedrückt, und da ferner die Dicke des Pinselstriches = 0,14 Mill. beträgt, so drückt sich graphisch der Zeitverlust in einer Verspätung um Pinselstrichdicke aus.

Inwieweit der zur Reizung verwendete Oeffnungsschlag nach Ausschaltung der Drahtbündel im inducirenden Kreis als wirklich momentan betrachtet werden darf, hat Helmholtz (Müllers Archiv 1850) p. 294 seiner Abhandlung bereits erörtert.

Wir dürfen also jetzt auch für unseren Apparat versichert sein, dass jede Verzögerung im Eintritt einer durch ihn veranlassten Bewegung absolut sicher messbar wird, und ausschliesslich in dem Widerstand der zu bewegenden Massen oder in Ursachen liegt, welche sich jenseits unseres Apparates befinden.

Eine solche Ursache liegt in der Trägheit der zu bewegenden Körper, und da der Muskel nicht selbst schreibt, sondern unter Vermittlung eines Zwischenapparates, nämlich des Pinsel tragenden Hebels, so müssen wir dessen Bewegungen unter den einfachsten Verhältnissen zunächst kennen lernen. Er wiegt 83,2 Grmm. und dreht sich genau balancirt zwischen geölten Spitzen. Die Reibung ist dabei so ausserordentlich gering, dass schon sehr viel kleinere Kräfte als die sind, welche wir an seinem unteren Ende angreifen lassen, im Stande sein müssen, seine Lage momentan zu ändern. Die zur Ueberwindung der Reibung nothwendige nach Millimeter und Gramm ausgedrückte Kraft beträgt nun:

0,093.

Um nun einigermassen die Verzögerungen kennen zu lernen, welche das Abbiegen der Curve von der Abscissenaxe erfährt, wenn der Hebel

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

plötzlich dem Conflict einander entgegen wirkender Kräfte ausgesetzt wird, habe ich folgende Anordnung getroffen. In Fig. 9 denke man sich von dem Angriffspunkt des Hebels nach beiden Seiten hin einen weichen, aber möglichst wenig elastischen Faden über zwei in Spitzen laufenden Röllchen gelegt, wie in der Figur bei R auf der einen Seite zu sehen ist. An die Ebene des Fadens ist ein horizontal gelagerter Elektromagnet El dicht herangeschoben, so dass der Faden ohne Abweichung von seiner geraden Spannungslinie den Polflächen aufliegt. Auf dieser Seite hängt an dem Faden eine kleine Waagschaale W, etwa 3—5 Millimeter über der Unterstützungsfläche. Am entgegengesetzten Fadenende hängt ein 5-Grammgewichtchen. Wenn man den Strom der Kette durch die Vorrichtung (Fig. 5) auf dem Tischchen der Säule schliesst, so ruft man den Elektromagnetismus hervor, durch welchen der Anker A (Fig. 8) angezogen und der Faden Fa (Fig. 9) festgeklemmt wird. Jetzt legt man auf die Waagschaale W (Fig. 9) ein Gewicht auf, lässt die Schreibfläche herab, wobei der Pinsel die Abscissenaxe zieht, und drückt darauf den Sperrhacken (Fig. 4 k) nieder; die Schreibfläche fliegt alsdann am Pinsel vorbei, die Kette wird geöffnet, der Elektromagnetismus verschwindet, der Anker fällt ab und die Waagschaale W (Fig. 9) sinkt mit der Geschwindigkeit, welche die Differenz der 5 Grmm. auf der einen Seite mit dem Gewicht auf der Waagschaale gestattet, wobei sich ein Stück der Wurflinie aufzeichnet. Wählt man möglichst grosse Gewichte, so wird ihr Fall keine mehr bemerkbare Verzögerung erfahren, so lange die Geschwindigkeit, mit welcher die Schreibfläche sich bewegt, kleiner ist, als diejenige, mit welcher das fallende Gewicht den Pendel bewegt. Diess hat man schon bei 200 Grmm. erreicht, und die Länge der Linie, welche in der Abscissenaxe versteckt bleibt, entspricht nur der Zeit, welche zwischen dem Oeffnen der Kette und dem Abfallen des Ankers verstreicht, also dem Abklingen des Magnetismus im weichen Eisen des Elektromagneten. Diese Zeit entspricht z. B. bei gleich starken Strömen 0,02 Sec. in meiner

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Vorrichtung und 7,44 Mill. der Abscissenaxe, wie früher bei dem freien Schwung des schweren Pendels gefunden wurde. Schon bei 100 Grmm. gegen 5 Grmm. fängt diese Linie an, länger zu werden, bei 50 gegen 5 Grmm. ist sie über 0,5 Mill. länger, bei 20 gegen 5 Grmm. über doppelt so lang, und bei 10 gegen 5 nahezu dreimal länger. Wir haben also die Mittel, aus der Länge dieser Linie später Schlüsse auf den Conflict der Kräfte zu machen, welche sich bei dem Antrieb zur Bewegung geltend machen.

Schliesslich kommt noch die Centrifugalkraft unseres Pendels in Betracht, welche von der mitgetheilten Geschwindigkeit abhängt. Sie entspricht bei einer mittleren Geschwindigkeit, mit welcher sich z. B. eine Muskelzuckung bis zu ihrem Culminationspunkt entwickelt, einer Kraft, welche beiläufig 1 Decigramm das Gegengewicht hält. Da nun immer grössere Gewichte, wenn es auch die leere und leichte Waagschaale ist, an dem Muskel hängen, so ist trotz der geringen Reibung im Lager des Hebels nichts von dessen Schwungkraft zu fürchten.

Was endlich die Reibung der Pinselspitze auf der Schreibfläche während der Bewegung anbelangt, so zeigt sich, dass erst nach sehr vielen Schwingungen eines auch nur 50 Grmm. schweren Pendels eine Abnahme ihrer Zahl gegenüber derjenigen beobachtet werden kann, welche von dem Pendel ausgeführt wird, während die Pinselspitze von der Schreibfläche absteht. Bei der grossen Kraft, mit welcher die Zuckungen ausgeführt werden, und wobei die bewältigte Last oft gegen 150 und mehr Grmm. ausmacht, darf man sicher sein, dass die Reibung der Pinselspitze keine irgend bemerkbare Störung oder Verzögerung in der Entwicklung der Curve veranlasst.

Nachdem die möglichen Fehler des ganzen Apparates aufgesucht und abgeschätzt sind, kehre ich zu seiner Aufgabe als zeitmessendes Instrument zurück, wobei es also darauf ankommt, mit einfachen Me-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

thoden die Geschwindigkeit der gleichförmigen Bewegung zu ermitteln, welche der Rollenrahmen nach dem Aufschlagen der Uebergewichtshülse erlangt hat.

Der Apparat gestattet eine sehr grosse Breite für die Aenderung dieser Geschwindigkeit. Will man sehr langsame Bewegungen der Schreibfläche, so verbindet man dieselbe mit irgend einem etwas stärkeren Uhrwerk, dessen Gang gut regulirt ist und kann so die Länge der Schreibfläche auf der Schienenbahn in 11—12 Stunden, oder einer, oder ½ Stunde vom Rollenrahmen durchwandern lassen, je nachdem man Zwischenräder von diesem oder jenem Halbmesser einschaltet. Bleibt die Geschwindigkeit dem Fall des Gewichtes mit seinem Uebergewicht allein überlassen, so ist sie natürlich immer viel grösser und wird dadurch variirt, dass man entweder die leere Uebergewichtshülse anwendet, oder in dieselbe Bleiringe von verschiedener Grösse und in verschiedener Anzahl einlegt. Ganz genau bleibt für die eine oder andere Grösse des Gewichtes und des Uebergewichtes die Geschwindigkeit nur so lange, als die Spitzen, in welchen die verschiedenen Rollen laufen, gleich stark angezogen und gleich gut geölt sind, zweitens so lange die Temperatur des Experimentirraumes unverändert bleibt. Da die Combination von zwei Metallen nicht vermieden werden konnte (Eisen und Messing), so erfährt der Rollenrahmen zwischen den Schienen mit der Temperatur verschiedene Grade der Klemmung. Man hat die Versuche also immer bei der Temperatur anzustellen, bei welcher die Aequilibrirung und Zeitbestimmung gemacht wurde. Es gibt zwei Wege, die jedesmalige Geschwindigkeit zu finden. Der erste beruht auf der Berechnung, wie sie bei der Atwood'schen Fallmaschine vorgeschrieben ist, die zweite auf der Benützung des Pendelschwunges. Ich werde diese Methoden jetzt der Reihe nach durchmustern und mit einander vergleichen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

1. Methode. Durch Wägung.

Die Spitzenschrauben, in welchen sämmtliche Rollen laufen, sind so wenig als möglich angezogen, so weit dies eben nur, um ihre Schwankungen zu verhüten, nothwendig ist. Das Gewicht, welches den Rollenrahmen mit Glastafel und Papier balanciren soll, wird durch feine eingefüllte Schrotkörner so regulirt, dass der Rollenrahmen auf jedem Punkt der Schienenbahn stehen bleibt, wenn das Gewicht ganz ruhig hängt, seine Bewegung an jedem Punkt aber beginnt, wenn 2 Grmm. auf das balancirende Gewicht gelegt werden. Nun wird das balancirende Gewicht auf eine sehr genaue Schaalenwaage gebracht und seine Grösse bestimmt.

Es wog 1702 Grmm.

Die Uebergewichtshülse mit einem eingelegten Bleiring wog 149,5 Grmm. Durch dieses Gewicht von 149,5 Grmm. soll also das Gesammtgewicht von 3404 Grmm. in Bewegung gesetzt werden. Diese Gewichte verhalten sich wie 1 : 22,76.

Das Uebergewicht würde gemäss der aus seiner Schwere resultirenden Kraft mit der gewöhnlichen Beschleunigung fallen. Indem es aber mit dem Gewicht der grossen gegen einander balancirten Massen in Verbindung gebracht ist, so kommt der Fall des Uebergewichtes eben nur zu Stande, wenn jene an der Bewegung Theil nehmen. Das kann aber nur so geschehen, als wenn jene Kraft gleichmässig auf alle Theilchen der drei Massen vertheilt wäre. Daraus resultirt eine proportionale Abschwächung der beschleunigenden Kraft auf die Gesammtheit der zu bewegenden Theilchen. Das ist das Princip, welches der Atwood'schen Fallmaschine bekanntlich zu Grunde liegt.

In unserem Fall wird also die Kraft, mit welcher die Schwere auf die 149,5 Grmm. nach gewöhnlicher Weise wirkt, sich zwischen die 3553,5 Grmm., welche das ganze System bilden, gleichmässig vertheilen. Es wird also jedes ihrer Theilchen durch eine beschleunigende

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Kraft sollicitirt werden, welche nur 0,042 der natürlichen Schwerkraft ausmacht. In diesem Maass nimmt die Schnelligkeit der Beschleunigung, welche sie hervorbringt, ab. Wir erhalten also für die Beschleunigung p statt wie beim freien Fall 9,81 Meter nur

0,41202.

Die Endgeschwindigkeit v eines Körpers für einen bestimmten Punkt des durchlaufenen Weges s findet man beim freien Fall nach der Formel

$$v = \sqrt{2\,p\,s}$$

Diese Endgeschwindigkeit bleibt bei der Fallmaschine, nachdem das Uebergewicht aufgefangen ist, so lange, bis die äusseren Widerstände sich bemerklich machen, für unsere Hilfsmittel wenigstens so gut wie constant. An dem Rollenrahmen des Myographion haben wir uns überzeugt, dass auf dem ganzen Rest des Schienenweges kein Abweichen von der gleichförmigen Bewegung mehr nachgewiesen werden kann.

Wenn die Uebergewichtshülse aufschlägt, hat der Rollrahmen mit beschleunigter Geschwindigkeit den Weg von 0,395 Meter durchlaufen. Nach der obigen Formel berechnet sich hieraus die in diesem Moment erlangte und von dort an bis zum oberen Ende der Schienenbahn beibehaltene Endgeschwindigkeit

$$v = 0{,}5705 \text{ Meter in der Secunde.}$$

Der Weg von 1 Millim. auf der Schienenbahn beansprucht demnach 0,00176 Secunden. Das ist hiernach der Zeitwerth von 1 Millim. Länge der Abscissenaxe.

2. *Methode. Durch Pendelschwingung.*

Diese Methode ist wegen der verschwindend kleinen Reibung der Pinselspitze an der Papierfläche zulässig, selbst wenn man vollkommen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

freischwingende, von keinem Uhrwerk getriebene schwere Pendel benützt. Im letzteren Fall beruht die einzige Schwierigkeit darin, für die möglichst kleine Anzahl der ersten Schwingungen mit zuverlässigen Tertienuhren die Zeitdauer einer einfachen Schwingung zu berechnen, was natürlich bei guten Uhrwerken mit schnellem und immer gleichmässigen Pendelschwung keine Schwierigkeit hat. Da ich kein solches Werk derzeit besitze, welches mit der erforderlichen Geschwindigkeit einen pinseltragenden Pendel in Gang erhält, so bediente ich mich des freischwingenden Pendels. Mit dem Schlag der Tertienuhr wurde der anfänglich in mässigem Winkel gehaltene Pendel losgelassen und seine 6 ersten einfachen Schwingungen abgewartet, bei dem 7. Rückschwung der Chronometer arretirt, und die Zeit bestimmt. Nachdem dies so oft wiederholt worden, dass eine bestimmte Secundenzahl hiefür durch ihre vorwiegend häufige Wiederkehr als die richtige angenommen werden durfte, wurde der Pendel in der oben beschriebenen Weise mit dem Anker des Elektromagneten in demselben Winkel gestellt erhalten, von welchem aus man bei der Zeitbestimmung der Schwingungsgeschwindigkeit die Bewegung hatte beginnen lassen. Eine Abscissenlinie war in der geneigten Stellung des Pendels, eine zweite in seiner senkrechten Ruhelage gezogen worden. Gewichte und Uebergewichte sowie Temperatur sind für den graphischen Versuch bei dieser Methode so gross als bei der ersten.

Die senkrechten Abstände vom Beginn der Curve c Fig. 1 bis zum Schnittpunkt auf der Abscisse dh gibt dann, wenn der Pendel auf der vorüberfliegenden Fläche schreibt, die Länge des Weges, welcher in der bekannten Zeit einer halben einfachen Schwingung zurückgelegt wird. Man hatte für 6 einfache Schwingungen 3,3 Sec. Zeitdauer gefunden. Darnach wäre die Zeit für eine halbe einfache Schwingung 0,275 Secunden. Die Länge de der Abscisse war 0,157 Meter. Demnach legt der Rollenrahmen in einer Secunde den Weg von 0,570 Meter zurück.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Beide Methoden geben also mit einem Werth der Ungenauigkeit von 0,5 Millim. pro Secunde die Geschwindigkeit der Bewegung übereinstimmend an und ich gebe der ersteren den Vorzug, weil nur zwei Gewichtsbestimmungen zu machen sind und die Berechnung weniger Zeit erfordert, als zu dem Zählen und Aufzeichnen der Schwingungen des Pendels und der Aufstellung der dazu erforderlichen Apparate nothwendig ist.

I. Versuchsreihe am Atwood'schen Myographion.

In dieser Reihe soll der Versuch gemacht werden, künstlich Bewegungserscheinungen an dem schreibenden Pendel hervorzurufen, welche in ihrer äusseren Form mit den von zuckenden Muskeln erzeugten übereinstimmen, und welche zweitens durch Hilfsmittel erzeugt sind, deren Wahl durch die willkürliche Annahme bestimmt wurde: es resultire die Curve der Zuckung aus dem Conflict von Kräften, welche in festen und zusammenhängenden Gewebselementen des Muskels ihr Spiel beginnen und vollenden. Um dem leitenden Gedanken dieser Versuchsreihe leichter folgen zu können, haben wir uns an die allgemeine Form der Zuckungscurve zunächst wieder zu erinnern.

Fig. 8 ist eine solche copirt, wie sie Helmholtz zuerst an seinem Myographion hat schreiben lassen, und welche er in seiner Abhandlung analysirte. Aehnliche Curven sind dann später von verschiedenen Autoren entweder wiederholt am Myographion gefunden oder einfach von der Abbildung bei Helmholtz copirt worden.

Die Resultate der Analysen lassen sich kurz und allgemein gehalten in Folgendem zusammenfassen:

1) Die Zuckungscurven entwickeln sich als Ausdruck mehrerer einander entgegenwirkender Kräfte, von welchen das eine System eine Verkürzung, das andere eine Wiederherstellung der ursprünglichen Länge anstrebt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

2) So lange die Curve ihre Convexität der Abscissenaxe zukehrt, ist das System der verkürzenden Kräfte grösser, als das andere; so lange dagegen die Curve ihre Concavität der Abscissenaxe zukehrt, findet das Umgekehrte statt.

3) Eine jede nach oben concave Stelle der Curve bezeichnet im ansteigenden Theil ein Ansteigen mit beschleunigter, im absteigenden Theil ein Absteigen mit absteigender Geschwindigkeit. Beide Arten dieser Bewegung können nur dadurch entstehen, dass die Resultanten beider Systeme von Kräften nach oben gerichtet sind.

4) Eine jede nach oben convexe Stelle bezeichnet im ansteigenden Theil eine Ansteigung mit abnehmender, im absteigenden Theil ein Absteigen mit zunehmender Geschwindigkeit, und diese ganze Bewegung ist der Ausdruck einer nach unten gerichteten Resultante der Kräfte.

5) Wo convexe Stellen in concave übergehen und umgekehrt, also an den „Wendepunkten" der Curve sind die Erhebungshöhen den Gleichgewichtshöhen gleich, denn

6) in den concaven Stellen ist die Spannung des Muskels grösser, als das entgegenwirkende Kräftesystem; die Curve der Gleichgewichtshöhen muss dort also höher liegen, als die gezeichnete Curve; in den convexen Stellen ist die Spannung des Muskels kleiner, die Curven der Gleichgewichtshöhen liegen dort also tiefer, als die gezeichnete Curve. Beide Curven müssen sich demnach in den Wendepunkten schneiden und die Verbindung dieser Punkte zu einer Curve gibt die der Gleichgewichtshöhen.

7) Diese Curve der Gleichgewichtshöhen wird an dem Helmholtz'schen Apparat geschrieben, wenn durch verstärkte Friction in der Axe des zeichnenden Hebels die verzögernden Kräfte die Unterschiede zwischen concaven und convexen Stellen verwischen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

8) Unter den gewöhnlichen Umständen sieht man in Folge eines momentanen Reizes erst nach einiger Zeit („latente Reizung") circa 0,02 Secunden die Verkürzung beginnen. Die Verkürzung geschieht anfänglich mit grösserer, dann mit immer mehr abnehmender Geschwindigkeit, dann tritt die Wiederverlängerung ein, welche anfänglich langsamer, dann immer rascher wächst.

9) Die verlängernde Resultirende ist, wie sich an horizontal gelagerten Muskeln zeigt, nicht bloss von der Schwere abhängig, weil deren beschleunigende Kraft viel zu gross ist gegenüber der langen Zeitdauer, welche für das Auf- und Absteigen der Curve in Anspruch genommen wird. Für ersteres wird gewöhnlich 0,180 Secunden, für letzteres 0,105 Secunden in Anspruch genommen; doch veranlassen verschiedene Umstände auch hiebei grosse Veränderungen.

Aus diesen Sätzen greifen wir zunächst diejenigen heraus, welche uns die Wahl der Triebkräfte bezeichnen, deren wir uns zu bedienen haben, wenn wir der Theorie entsprechende und zugleich der Form der Zuckung analoge Bewegungen auf künstlichem Weg nach erzeugen wollen. Es müssen entgegengesetzt gerichtete Kräfte sein, von welchen die eine nicht ausschliesslich durch die Schwere repräsentirt ist, sie müssen willkürlich in ihren Werthen variirt und momentan gegen einander in's Spiel gesetzt werden können. Wir machen aber weiter die Voraussetzung, welche in den verschiedenen bis jetzt aufgestellten Theorien der Zuckung nicht bestimmt betont, aber überall stillschweigend gemacht worden zu sein scheint, nämlich die: *„dass der Conflict der Kräfte, aus welchen die ganze Zuckungsform resultirt, in den gleichen Formelementen von Statten gehe, wie in der Continuität homogener Massen."*

Die Anordnung, durch welche ich diess allgemeinste Princip der Muskelverkürzung künstlich nachzubilden versuchte, wird dadurch

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

wenigstens gerechtfertigt, dass ich genau dieselben Curven willkürlich zu erzeugen im Stande bin, wie sie der zuckende Muskel schreibt. Ich schreite zu ihrer Schilderung. Das Gegengewicht des schreibenden Pendels (Fig. 9) ist so regulirt, dass auch bei der feinsten Einstellung der Schraubenspitzen an der Drehungsaxe der Pendel H in jeder Lage stehen bleibt, seine beiden Arme also vollkommen gegen einander balancirt sind. In das Häckchen an seinem unteren Ende wird zuerst mit einem Oehr der Faden Fa befestigt, welcher über die Rolle R läuft und die leichte Waagschaale W trägt, sodann wird in dasselbe Häckchen der leichte Stahlstab Sta eingehängt, welcher 28 Cent. lang und 6 Grmm. schwer ist. Dieser Stahlstab hängt in der Schlinge eines sehr weichen Fadens F, wobei der Schenkel der Schlinge 1 Meter lang ist. Mit dem Stahlstab ist eine gute Spiralfeder verbunden, welche an ihrem entgegengesetzten Ende unverrückbar fest geklemmt ist. In der nächsten Ebene vom Faden Fa ist ein Elektromagnet aufgestellt, durch dessen Anker in der oben (pag. 373) schon beschriebenen Weise der Faden festgehalten werden kann. Nun wird ein Gewicht A auf die Waagschaale gelegt, und die Spiralfeder dadurch gedehnt. Zu diesem Gewicht A kommt ein zweites B auf die Schaale. Die Spannung geschieht also jetzt durch A + B. Hierauf wird die Kette durch die Vorrichtung auf dem Tischchen der Säule geschlossen, der Anker vorgelegt, der Faden geklemmt und das Gewicht B entfernt. Schlägt die Uebergewichtshülse auf, so fällt der Anker ab und die Feder macht ihren Rückschwung, deren Gang von dem Verhältniss der Gewichte A und B und der Steifigkeit der Feder an sich abhängig sein wird.

Die Grösse des Gewichtes B vertritt uns hiebei die Spannkraft des Muskels, welche, wenn sie frei wird, die von dem Gewicht A abhängige Länge der Feder in Folge der beschleunigenden Kraft ihres Rückschwunges zu verringern streben wird. In welchem Maass dieses geschieht, und mit welcher Geschwindigkeit richtet sich nach der Länge

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

und Steifigkeit der Feder, welche die durch A gegebene Länge immer zu erhalten sucht. Die Widerstandskraft der Feder einem Druck gegenüber ist abhängig von ihren Dimensionen und ihrer eigenen Elasticitätsgrösse auf der einen Seite und von dem angehängten Gewicht A auf der anderen Seite. Denn das letztere gibt ihrem eigenen Ausdehnungs-Bestreben einen in gleichem Sinn wirkenden Zuwachs, und arbeitet mit jenem der Kraft entgegen, welche die Feder in Folge der vorausgegangenen Anspannung durch B zusammenzudrücken, zu verkürzen strebt. B nennen wir daher das spannende Gewicht und bezeichnen es mit Sp; A vermehrt in variabler Weise den Widerstand, welcher sich der Wirkung von Sp entgegensetzt, und wir bezeichnen es als Widerstandsgewicht mit W.

Wir können auf diese Weise die Versuche an ein und derselben Feder variiren, dann die Feder selbst wechseln, können ferner beide Versuchsgruppen vergleichen, um ihre Uebereinstimmung und die allgemeinen Gesetze kennen zu lernen, welche für die innere Mechanik der Muskelverkürzung von Wichtigkeit sind.

Bei Versuchen mit den gleichen Spiralfedern kann man drei Wege einschlagen:

1) Man variirt W und lässt Sp gleich, 2) man variirt Sp und lässt W gleich, 3) man variirt auf's Geradewohl beide und vergleicht unter den geschriebenen Curven diejenigen mit einander, deren grösste Ordinaten (Verkürzungswerthe) gleich gross geworden sind. Dabei wird der Wahl von W darin ein bestimmtes Ziel gesteckt, dass durch dasselbe die Elasticitätsgrenze der Feder nicht überschritten werde; d. h. also nach Wegnahme des Gewichtes W muss die Feder ihre ursprüngliche Länge wieder erreichen; dasselbe gilt von Sp.

Zur Anwendung kam zuerst eine 2 Cent. lange Spiralfeder von steifem Neusilberdraht, welche innerhalb ihrer Elasticitätsgrenze durch

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

20 Grmm. um 1,6 Millim. = 8% ihrer ursprünglichen Länge verlängert wurde.

Zuerst wurde W constant gelassen, Sp variirt. In Fig. 3 sind die gewonnenen Curven über einander gelegt dargestellt. Wir theilen die Abscissenaxe in folgende Stücke:

ab = Anfang der Curve bis zur höchsten Ordinate der Elongation;

bc = von dem Ort der höchsten bis zu dem der niedrigsten Ordinate, oder gleich der Zeit, innerhalb welcher die verlängernden Kräfte das grösste Uebergewicht wieder gewonnen haben.

bd = grösste Resultante durch das Vorwiegen der verkürzenden Kräfte oder Maass der grössten Elongation des Rückschwunges.

ce = grösste Resultante durch das Vorwiegen der verlängernden Kräfte.

Die Werthe dieser Curvenstücke sind übersichtlich in folgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle I.

	W.	Sp.	bd	ce	ab	bc	bc — ab	ab + bc	
	in Grammen.		in Millim.		in Secunden.				
1)	50	20	2,15	0,62	0,1016	0,102	+ 0,0016	0,2037	
2)	50	40	5,00	1,33	0,0964	0,1073	+ 0,0109	0,2037	Differenz
3)	100	20	2,86	1,14	0,13765	0,12967	— 0,00798	0,26732	0,06362
4)	100	40	6,54	1,69	0,1326	0,13472	+ 0,00212	0,26732	
5)	50	50	7,298	1,537	0,1064	0,0973	— 0,0091	0,20370	0,14875
6)	200	20	2,731	1,262	0,18753	0,16492	— 0,02261	0,35245	
7)	200	50	7,987	2,042	0,1729	0,17955	+ 0,00665	0,35245	

Die zweite Reihe von ähnlichen Versuchen wurde an einer 6,5 Cent. langen Spiralfeder aus Stahldraht gemacht, welche durch 20 Grmm. um

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

0,3 Mill., also um 0,43% ausgedehnt wurde. Die Ergebnisse sind mit den gleichen Bezeichnungen wie oben in der nächsten Tabelle zusammengestellt.

Tabelle II.

W	Sp	bd	ce	ab	bc	bc — ab	ab + bc	
in Grmm.		in Millim.		in Secunden.				
100	50	1,583	0,229	0,059185	0,06517	+ 0 005985	0,124355	
100	100	3,006	0,458	0,057456	0,067165	+ 0,009709	0,124621	Differenz
200	100	2,639	0,458	0,073017	0,081928	+ 0,008911	0,154945	0,030324
200	200	5,072	1,813	0,075278	0,079667	+ 0,004389	0,154945	

Endlich wurden noch Versuche an einem sehr dünnen Kautschuk-Faden gemacht, deren Ergebnisse folgende waren:

W	Sp	bd	ce	ab	bc	bc — ab	ab + bc
20	10	1,468	0,688	0,11438	0,11438	0	0,22876
20	20	3,649	1,40	0,11438	0,11438	0	0,22876
30	20	3,924	1,606	0,123424	0,11837	0,005054	0,241794

Man kann nun auch verschiedene Federn nach einander anwenden und sowohl W als Sp bei jeder so oft versuchsweise variiren, bis man eine Reihe von Curven erhält, deren Grenzordinate (Maximum der Verkürzung oder Elongation) bd gleich ist, und untersuchen, welche Bedingungen nothwendig waren, um in dieser Beziehung die Curven unter einander gleich zu machen, und welche andere Verhältnisse an ihnen gleichzeitig von einander abweichen.

Ich benützte dazu erstens zwei Federn aus demselben Material, welche durch 1 Grmm. um 0,45% verlängert wurde. Bei der kurzen F betrug die absolute Verlängerung durch 1 Grm. 0,08 Mill., bei der langen F′ betrug diese Verlängerung 0,34 Mill.; dann kam eine dritte Feder F″ in Anwendung, welche durch 1 Grm. um 0,023% verlängert wurde, und bei welcher die absolute Verlängerung durch 1 Grm.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

0,015 Mill. betrug. In der folgenden Tabelle bedeuten W, und die kleinen lateinischen Buchstaben dasselbe wie in den früheren Tabellen; mit T ist die Totaldehnung durch W + Sp bezeichnet mit Wd die Dehnung durch W, mit Spd die Dehnung durch Sp, mit $\frac{Wd}{Spd}$ das Verhältniss der Dehnungen durch W und Sp und zwar beziehen sich alle Zahlen auf das procentische Verhältniss der Dehnung zur ursprünglichen Länge der unbelasteten Feder. In der Rubrik L findet man die Zeit für den in der Abscissenaxe versteckt bleibenden Anfangstheil der Curve von dem Moment an gerechnet, in welchem der Anker des Elektromagneten abgefallen war. Die Zeit vom Oeffnen der Kette bis zum Abfallen des Ankers betrug in dieser Versuchsreihe 0,01064 Sec. — Die Ordinate bd ist in allen Curven = 2,15 Mill.

Tabelle III.

W in Grm	T	Wd	Spd	$\frac{Wd}{Spd}$	cc in Mill.	L	ab	bc	bc — ab	ab + bc	
	in Procenten.					in Secunden.					
50	28	20	8	1 : 2,5	0,62	0,00665	0,1016	0,102	+ 0,0016	0,2037	1 F
100	48	40	8	1 : 5	0,98	0,00665	0,1293	0,1263	— 0,0039	0,2556	2
50	23,4	22,5	0,9	1 : 25	2,54	0,0113	0,27039	über 0,173*		über 0,44*	3 F'
20	9,7	8,888	0,8879	1 : 10,0	1,8	0,017157	0,25283	über 0,173*		über 0,42*	4
100	4,547	2,3	2,247	1 : 1,023	0,43	0,001596	0,06198	0,06517	+ 0,003192	0,127148	5 F''
200	6,859	4,6	2,259	1 : 2,04	0,43	0	0,06756	0,08206	+ 0,01449	0,149625	6

Diese Versuche, welche ich bereits im Winter 1859 angestellt und bei

Die Bezeichnung mit * will sagen, dass der Punkt c erreicht wurde, nachdem die Schreibfläche schon an dem Pinsel in ihrer ganzen Länge vorübergeflogen, also nicht mehr gemessen werden konnte; statt dessen trat also nur der unterste Punkt der Abscissenaxe in die Berechnung mit der Bezeichnung „über" ein.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

meinem Vortrag im ärztlichen Verein gezeigt habe, führten zu folgenden Ergebnissen:

Der Rückschwung einer elastischen Feder führt zu ungleich grossen Elongationen, wenn bei gleichem Werth von W Sp variirt wird. Die Grösse dieser Elongation ist bei gleichem Werth von Sp abhängig von der Dehnbarkeit der Feder, und dem Verhältniss von Sp zu W. Je kleiner Sp im Verhältniss zu W, desto kleiner ist auch bei der gleichen Feder die Elongation. Wie gross aber immer bei ein und derselben Feder die Elongation sein möge: die Schwingungsdauer bleibt gleich gross, so lange W nicht geändert wird.

Für die Länge des Curvenstückes ab + bc entscheidet an einer Feder also immer nur W, die Ordinate bd mag gross oder klein sein. Je grösser die Widerstände, welche sich der Schwingung entgegensetzen, desto gestreckter wird die Curve.

Die lebendige Kraft der Feder wächst aber bei constantem Werth von W mit der Grösse von Sp. Denn wenn die Massentheilchen auch bei variirtem Werth von Sp dabei immer wieder in der gleichen Zeit an den gleichen Ort geschafft werden, so ist natürlich bei hoher Ordinate bd der bis dahin zurückgelegte Weg grösser, als bei niedriger Ordinate. Das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit ist dort also grösser, als hier. Bleiben sich also die inneren durch die Cohäsion der Feder bedingten und die äusserlich noch in Form von Sp hinzugefügten Spannkräfte gleich, so müssen die Curven um so gestreckter werden, je grösser W ist.

Betrachten wir die letzte Tabelle, in welcher die Umstände aufgesucht sind, unter welchen die Elongation bei variirtem W und gewechselter Feder gleich bleibt, so ergibt sich für eine und dieselbe Feder z. B. F oder F″ ein einfaches Gesetz, wenn wir übersichtlich die Werthe von W und $\frac{Wd}{Spd} = \mu$ zusammenstellen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

$$\text{Für Feder 1 F} \left\{ \begin{array}{l} W = 50, \quad W' = 100 \\ \mu = 0{,}4 \quad \mu = 0{,}2 \end{array} \right.$$

$$\text{Für Feder 2 F}' \left\{ \begin{array}{l} W = 50 \quad W' = 20 \\ \mu = 0{,}04 \quad \mu' = 0{,}1 \end{array} \right.$$

$$\text{Für Feder 3 F}'' \left\{ \begin{array}{l} W = 100 \quad W' = 200 \\ \mu = 0{,}98 \quad \mu' = 0{,}49 \end{array} \right.$$

Man sieht sofort, dass immer $W\mu = W'\mu'$ ist oder also $W : \mu' = W' : \mu$; d. h. die Schwingungsweite der Feder bleibt gleich, wenn das Produkt von Widerstandsgewicht und Verhältniss der Dehnung der Feder durch dieses zu der Dehnung durch das weiter spannende Gewicht, welches den Rückschwung bedingen soll, in zwei Fällen gleich ist.

Wenn wir auch an dieser Tabelle das erste Gesetz prüfen, so finden wir es ebenfalls bestätigt, indem auch hier bei der gleichen Feder die Schwingungsdauer mit der Grösse des Widerstandsgewichtes W wächst.

Indem zugleich hier aber alle procentischen Dehnungsgrade bestimmt sind, so haben wir Gelegenheit, eine theoretische Betrachtung zu prüfen, welche in jüngster Zeit in den neuen Elementen der Mechanik von Schellbach* angestellt wurde. Die Voraussetzungen, welche darin gemacht wurden, sind genau dieselben, welche wir in unseren Experimenten realisirt haben. Das a seiner Formel entspricht unserem Wd, das a' unserem Spd. Auch er hat die Schwingungsdauer unabhängig von der Schwingungsweite, abhängig aber von der angehängten Last (W) gefunden. Für die Schwingungsdauer, bei uns also Länge der Curve, stellt er die Formel auf:

$$T = \pi \sqrt{\frac{a'}{g}}$$

*) Neue Elemente der Mechanik von Schellbach, dargestellt und bearbeitet von G. Arendt. Berlin 1860 pag. 216 ff.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

wobei g die beschleunigende Kraft der Schwere = 9,8126 Meter bedeutet.

Wenn wir nun für unsere zwei Federn F und F″ je in den zwei für sie angeführten Fällen des t nach der obigen Formel berechnen, und sehen, in welchem Verhältniss t zu t′ steht, so können wir vergleichen, wie weit dieses Verhältniss mit dem von uns zwischen ab + bc in zwei Versuchen gefundenen stimmt.

Es ergibt nun für die Feder F die Beobachtung:

1) die Schwingungsdauer 0,20,
2) die Schwingungsdauer 0,255.

Die Berechnung zeigt das Verhältniss 0,20 : 0,26.

Für die Feder F″ fanden wir:

1) die Schwingungsdauer 0,127,
2) die Schwingungsdauer 0,149.

Die Berechnung zeigt das Verhältniss 0,127 : 0,155.

Bedenkt man, dass die theoretische Formel für vollkommen elastische Körper und für sehr kleine Schwingungen gilt, beides aber in unseren Versuchen der Natur der Sache nach nicht stattfinden konnte, so darf man eine vollkommene Bestätigung der theoretischen Betrachtung durch das Experiment für diese Fälle erkennen.

Die Formel muss aber insofern nicht als ganz allgemein giltig betrachtet werden, weil darin nicht die Eigenthümlichkeiten der Federn selbst erschöpfend bezeichnet sind.

Der Formel nach sollte nämlich auch das berechnete Verhältniss der Schwingungsdauer zwischen 1 und 4 der Versuchsreihe, also bei Anwendung verschiedener Federn in ähnlicher Weise mit der Beobachtung übereinstimmen, wie bei den Versuchen an ein und derselben

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Feder, wenn deren Unterschiede durch das a′ der Formel schon hinreichend abgeglichen wären.

Der Versuch gibt aber das Verhältniss : 0,127 : 0,203,
die Berechnung : 0,127 : 0,315.

Offenbar ist die procentische Verlängerung zweier verschiedener Spiralfedern durch das gleiche Gewicht kein genauer Ausdruck für die Differenz ihres Elasticitätsmodulus, welcher doch eine so grosse Rolle bei der Schwingungsdauer spielt. Das a′ der Formel bezieht sich nur auf die Verlängerung der Spiralfederaxe; diese kann aber bei ein und demselben Gewicht sehr verschiedene Werthe je nach der Länge der Spirallinie haben, welche als Federmasse um die Axe herumläuft, es bleibt also z. B. schon die Art der anfänglichen Federwindung dabei ohne Berücksichtigung.

Schon aus dem Gang unserer Curven lässt sich erkennen, welchen verschiedenen Einfluss die innere Beschaffenheit der Feder im Verein mit dem Widerstandsgewicht auf ihre Entwicklung ausübt. In der ersten Versuchsreihe (der I. Tabelle) finden wir in Versuch 1, 2, 4, 7 den Werth von bc — ab positiv, d. h. also die Zeitdauer für das Sinken der Curve grösser als für ihr Ansteigen; nur bei absolut sehr hohen Werthen von W und kleinen von Sp wird dieser Werth negativ in den Versuchen 3 und 6. Positiv ist er auch ausnahmslos bei den Versuchen der II. Tabelle, welche mit der starken Feder angestellt sind. Die lebendige Kraft der Feder ist also für die halbe Schwingung gerechnet im letzteren Fall grösser, als in den ersteren, wenn in beiden die Ordinate bd gleich hoch ist.

Man kann also im Allgemeinen sagen: je grösser die innere Steifigkeit der ganzen Feder bei Beginn des Rückschwunges war, desto kürzere Zeit verstreicht bis zur Erreichung des Gipfelpunktes ihrer Schwingung verglichen mit der Zeit, welche von da ab verstreicht, bis

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

sie ihre erste Schwingung vollendet hat, oder zum tiefsten Punkt zurückgekehrt ist.

Dass mit Vergrösserung des Werthes von W gegenüber dem von S p immer grössere Anfangsstücke der Curve in der Abscissenaxe gleichsam vergraben bleiben, und in so auffallenderem Maass, als die Feder selbst weicher ist, bedarf keiner weiteren Erwähnung.

Endlich habe ich noch bei zwei verschiedenen Federn, nämlich bei F und F″ der III. Tabelle W und S p vielfach variirt, und den concaven Anfangstheil der Curve in's Auge gefasst. Zieht man z. B. in der Curve Fig. 9 vom Anfangspunkt derselben q eine gerade Linie zu ihrem Gipfel l, so würde diese Gerade den Gang der Verkürzung bei einer stetig wirkenden Kraft bezeichnen. Je flacher die wirklichen Curvenbögen sind, deren Sehnen jene Gerade darstellt, desto weniger beschleunigend wirken im einen oder anderen Sinne die Kräfte, welche bei der Erzeugung der Curve thätig sind. Auf der Strecke q m sind es die verkürzenden Kräfte, auf der Strecke m l die verlängernden, welche das Uebergewicht gewinnen. Das Verhältniss von o m zu m q verglichen mit der Bahnhöhe n gibt uns einen Maassstab M für die Steilheit und Einbiegung des Anfangstheiles der Curve.

W	Sp	W : Sp	mq	n	mo	M	
200	200	1 : 1	36,2	0	11	∞	F″ (starke Feder).
100	50	1 : 0,5	38	0,15	4,7	53,3	
50	150	1 : 3	15,1	0,2	6,4	11,8	
50	20	1 : 0,4	36	0,1	5	72	F (kurze schwächere Feder).
200	50	1 : 0,25	91	4	20,5	1,1	
50	50	1 : 1	66	4	24	0,7	
50	100	1 : 2	57,3	5	35,3	0,3	

Der Vergleich der Versuche an F und F″ im Ganzen ergibt, dass die Curvenanfänge um so flacher verlaufen, je geringer die Summe der

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

dehnenden Gewichte gegenüber der Steifigkeit der Federn ist. Innerhalb jeder Versuchsgruppe der einzelnen Feder für sich erkennt man, dass das Anfangsstück um so flacher und gestreckter verläuft, je grösser das Widerstandsgewicht im Verhältniss zum spannenden Gewicht ist.

Nachdem wir uns jetzt über die Vorgänge an der elastischen Feder so weit als für unsere Zwecke nothwendig ist, orientirt haben, gehen wir über zur

II. Versuchsreihe am Atwood'schen Myographion,

welche an Froschmuskeln angestellt wurde.

Es ist zuerst die Aufstellung des Präparates und die Anordnung der Apparate bei dem Reizversuch zu beschreiben. Man vergleiche hiezu die Fig. 8—11, in welchen die Buchstaben zur Bezeichnung der einzelnen Theile durchaus beibehalten sind. Die Richtung, in welcher sich die Schreibfläche bewegt, verlangt eine horizontale Lagerung des Präparates; zugleich muss dasselbe vor Wasserverlust geschützt und behufs des Wechsels der äusseren Umstände, denen wir es aussetzen wollen, in einem besonders hiefür construirten Behälter eingeschlossen sein. Ferner ist es bequem, um verschiedene Curven neben einander auf demselben Papierstreifen aufzeichnen zu lassen, wenn man das Gehäuse des Muskels auf einem sehr fein zu bewegenden Schlitten in horizontaler Ebene ohne alle Veränderung der Zugrichtung des Muskels verschieben kann. Die ganze Vorrichtung sieht man von aussen in Fig. 11. Das Muskelgehäuse Ca ist durch ein Metallband B auf einem viereckigen Kästchen von 7,5 Cent. Länge, 4 Cent. Breite und 2 Cent. Tiefe mit Schrauben befestigt. Das Kästchen verschiebt sich in einem Falz der 20 Cent. langen Schienenbahn Sch, sobald der Kopf des Triebes T, welches an die Schienenbahn angeschraubt ist, umgedreht wird, und dabei in die Zahnstange za eingreift; durch Federdruck (bei f) wird dieselbe gegen die Triebwalze angedrückt, und durch die ganze

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Vorrichtung ist eine vollkommen mikrometrische Verschiebung des Muskelgehäuses ermöglicht. Der Schlitten ist stark beschwert, da er selbst auf einer dicken Spiegelplatte steht.

Das Muskelgehäuse Ca selbst sieht man im Durchschnitt in Fig. 10. Es besteht aus zwei auf den ringförmigen Böden aufgelötheten Cylindern, von welchen der äussere einen Durchmesser von 8 Cent., der innere einen solchen von 2,6 Cent. hat. Der innere Cylinder ist aus möglichst dünnem Kupferblech gearbeitet, der äussere aus sehr starkem. Dieser besitzt ausserdem noch einen Ueberzug von dickem Rindsleder. In den Raum zwischen dem äusseren und inneren Cylinder führen von aussen die gebogenen 0,4 Cent. weiten Messingröhren A und E, an welche Kautschukschläuche befestigt werden können. Der eine Schlauch verbindet E mit einem grossen Wasserreservoir; der Schlauch, welcher an A befestigt ist, gewährt dem Wasser einen bestimmten Abfluss. Senkrecht auf die Cylinderaxe führt durch die Mäntel beider eine kurze Röhre herab, in welcher mit Kork ein Thermometer Th aufgestellt werden kann. Das cylindrische Gefäss desselben ragt frei durch das Metallrohr in den inneren Cylinderraum herein, in welchem der Muskel befindlich ist. Zur Befestigung des Muskelhalters H dient eine auf der einen Bodenfläche des Gehäuses aufgelöthete Hülse h mit Stellschraube. Gleichzeitig sieht man ein dünnes Messingröhrchen z diese Bodenfläche schief durchbohren. Sie dient dazu, einen feinen Strahl von irgend welcher Luftart in das Gehäuse von aussen hereinzublasen. Auf der entgegengesetzten Seite hat der innere Cylinder statt des Bodens einen durchbohrten Deckel D. Bei dem Beginn des Versuches wird ein Cylinder von Fliesspapier, welcher den Muskelraum austapeziert, mittelst einer Spritzflasche benetzt. Die Knochenfragmente des Kniegelenkes werden im Muskelhalter fixirt; derselbe wird mit dem isolirten gastrocnemius in den Hintergrund des Gehäuses zurückgezogen, seine Sehne in das gablige Endstück (ga) der Stange Sta gelegt, und mittelst einer kleinen Nadel festgehalten. Diese wird nämlich durch die Löcher der

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

platten Gabelzinken und den knorpligen Theil der Sehne gestossen. Ist diess geschehen, so wird der Deckel D, welcher so lange an der Stange Sta gehangen hatte, vorgeschoben. Die Stange Sta steht, wie früher schon angegeben wurde (Fig. 9), mit dem Ende des schreibenden Pendels in beweglicher Verbindung und setzt sich gleichsam von da aus in den geschmeidigen aber festen Faden Fa fort, welcher über die Rolle R läuft, und die 8—10 Grmm. schwere Waagschaale W trägt. Der Elektromagnet El Fig. 9 ist natürlich jetzt beseitigt.

In Fig. 8 sieht man die ganze Aufstellung der Apparate bei dem Reizversuch im Grundriss; aber auch hier fällt der Elektromagnet El weg.

Wir wollen den Strom vom Grove'schen Becher E aus verfolgen. Vom Zink aus geht die Drahtleitung α über den Stativarm Ar weg zur Unterbrechungsstelle auf dem Tischchen tr der Fallmaschine (Fig. 5). Von da verbindet der Draht β, indem er ebenfalls über den isolirenden Arm Ar weggeht, die Klemmschraube k' des Unterbrechungsapparates mit dem Elektromagneten des Du Bois'schen Schlittens DB. Von dessen oberer Klemme führt der Draht α zum Platin. Der Inductionsstrom, welcher beim Oeffnen oder Schliessen dieses Kreises entsteht, nimmt seinen Weg aus der secundären Spirale z. B. durch δ nach dem Gyrotrop G; von da aus über η nach dem Träger St des Pinselhebels (Fig. 7), durch die Spitzen des Lagers ll zum Hebel, und von dessen Hacken h längs der Stange Sta (Fig. 8) zum Muskel. Jenseits des Muskels geht er auf dem Muskelhalter zur Drahtklemme kl (Fig. 10), zum Gyrotrop auf dem Draht ε, und von da über γ zur secundären Spirale. Alle diese Vorrichtungen sind ausnahmslos von einander durch starke Spiegelplatten, auf welchen sie stehen, isolirt.

Die Reihenfolge, in welcher die einzelnen Akte jedes Versuches sich stets wiederholen, ist diese: der Rollenrahmen mit der Schreib-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

fläche hat seinen höchsten Stand; die Waagschaale W wird, wie es der Versuch verlangt, belastet; nachdem die elastische Nachwirkung vorüber ist, wird der Rollenrahmen E durch Emporheben des Gegengewichtes langsam herabgelassen und die Abscissenaxe gezogen. Jetzt ist der Rollenrahmen unten, und arretirt (durch die Vorrichtung Fig. 4). Sofort wird der Gyrotrop (G Fig. 8) so gestellt, dass der Inductionsschlag durch sein Metall vor dem Muskel vorbeigeht. Dann wird der primäre Kreis durch die Vorrichtung Fig. 5 geschlossen. Ist diess geschehen, so dreht man den Gyrotrop so, dass beim Oeffnen des primären Kreises der Inductionsstrom durch den Muskel fährt. Während man dann die grosse Rolle W auf dem Gipfel der Säule (Fig. 1 und 2) mit der Hand regiert, und die untere Arretirung (Fig. 4) des Rollenrahmen lüftet, bewegt man die Schreibfläche langsam aufwärts, und um jene Zeit so langsam als möglich, in welcher sich die Uebergewichtshülse dem Stecher (Fig. 6 st) nähert. Sowie jene diesen berührt, öffnet sich der primäre Kreis und die Zuckung schreibt sich an der Stelle, an welcher diess geschieht, in Form eines kurzen Striches auf. Dieser Strich ist also die Marke für den Zeitpunkt, in welchem der momentane Reiz den Muskel trifft. Sofort wird die Tafel wieder etwas herabgeschoben, der Gyrotrop zurückgestellt und mittelst des Triebes T Fig. 11 am Schlitten des Muskelgehäuses die Pinselspitze wieder auf den obersten Punkt der Abscissenaxe zurückgeführt, falls nach der Zuckung eine geringe Verlängerung oder Verkürzung des Muskels sollte zurückgeblieben sein. Ist diess geschehen, so wird der Rollenrahmen ganz niedergelassen, das etwa schwingende Gewicht mit der Hand rasch beruhigt, und die untere Arretirung wieder gelüftet. Die Tafel fliegt empor, und die Zuckungscurve wird dabei gezeichnet. Diese wird an zwei Punkten mit einer Marke oder Nummer versehen, und die Umstände notirt, unter welchen sie geschrieben worden. Man kann nun entweder zwei und mehr Curven über ein und derselben Abscissenaxe entstehen lassen, oder man kann das Muskelgehäuse nach jeder Zuckung etwas verschieben und so jede

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

neue Curve über einer neuen Abscisse aufzeichnen. Das Letztere ist zu empfehlen, wenn die Curven voraussichtlich sehr ähnlich werden, das Erstere, wenn man grössere Unterschiede voraussetzen darf. Entsprechend den Versuchen mit den Spiralfedern wurden die Versuche an Muskeln variirt. Bei jeder Gruppe wurden dieselben Umstände, unter welchen die erste Curve geschrieben worden, am Ende zum zweitenmal genau wieder hergestellt und verglichen, ob diese letzte Curve von der ersten eine Abweichung zeigte. Nur die von zwei gleichen Curven eingeschlossene Gruppe diente zum Ausgang der Vergleichung aller ihrer Curven unter einander, weil man dadurch allein die Sicherheit hatte, dass die verschiedenen Zuckungsformen nur durch Veränderungen der äusseren Umstände und nicht gleichzeitig durch unbekannte und unberechenbare Abweichungen in den inneren Zuständen der Muskeln hervorgerufen waren.

In der nachstehenden Tabelle sind zwei solche Versuchsreihen zusammengestellt, welche so angestellt worden waren, dass in der einen Gruppe immer grössere Belastungen in Anwendung kamen, während die Stromstärke gleich blieb (Curventafel Fig. 4); in der anderen (Curventafel Fig. 5) so, dass die Belastung gleich blieb und die Intensität der Ströme geändert wurde.

Im ersten Fall waren die Rollen des Inductions-Apparates vollkommen über einander geschoben und dadurch ein Reiz erzeugt, welcher weit die Stärke übertraf, die zur Erzeugung des Zuckungsmaximums nothwendig gewesen wäre, wie besondere nachträgliche Versuche an demselben Muskel lehrten. Man war also gewiss, dass jedesmal die *ganze* Energie des Muskels in Anspruch genommen wurde, und durfte annehmen, dass die Intensität des Reizes gleich, und dabei das *gleiche* Maximum der inneren Spannkraft des Muskels in allen Versuchen der einen Gruppe ausgelöst worden. Im zweiten Fall wurde die Intensität des Reizes durch die Verschiebung der secundären Rolle erzeugt, und es bedeutet in der Tabelle 0 die ganz über einander geschobenen Rollen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

8, 8,5 etc. die Abstände ihrer ersten Windungen in Centimetern. Es sind nun in der Tabelle folgende Grössen bestimmt: 1) die Elongation der Schwingung = s, also der Maximalwerth der Verkürzung; 2) die Zeit, welche bis zu diesem Punkt verstreicht t, und zwar vom Moment der Reizung an gemessen; 3) die Zeit, welche von da ab verstreicht, bis die Curve zur Abscissenaxe zurücksinkt t'; 4) die Länge der latenten Reizung lt.

Tabelle I.

I. Gruppe. Maximum des Reizes, variirte Belastung. (Fig. 4.)

Belastung in Gr.	s in Meter.	t in Secunden.	t' in Secunden.	ganze Schwingung t+t' in Secunden.	$\frac{t}{t'}$	lt
10	0,0032	0,111321	0,09709	0,208411	1,147	0,018
20	0,002057	0,086184	0,052402	0,138586	1,644	0,0209
30	0,00188	0,081795	0,048146	0,129931	1,700	0,0227
50	0,001583	0,0798	0,042427	0,122227	1,882	0,0247

II. Gruppe. Gleichbleibende Belastung mit 10 Grmm., variirte Reiz-Intensität. (Fig. 5.)

Rollen-Distance in Cent.	s	t	t'	t+t'	$\frac{t}{t'}$	lt
0	0,0032	0,111321	0,09709	0,208411	1,147	0,018
8	0,0028	0,108528	0,0798	0,188328	1,36	0,02593
8,5	0,002409	0,10507	0,075411	0,180481	1,39	0,02793
9,4	0,00103	0,09709	0,056126	0,153216	1,73	0,03059
0	0,0032	0,111321	0,09709	0,208411	1,147	0,018

Beide Gruppen von Curven sind somit durch drei ganz unter einander übereinstimmende eingeschlossen und es darf, da sie alle von ein

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

und demselben Muskel gewonnen sind, mit Sicherheit behauptet werden, dass ihre Unterschiede allein von den willkürlich eingeführten Bedingungen abhängig sind.

Um noch weitere Vergleichungspunkte der Curven unter einander zu gewinnen, habe ich von der, wenn auch nicht ganz streng giltigen Voraussetzung aus, dass nämlich der Gipfelpunkt der Elongation mit gleichförmig beschleunigter Geschwindigkeit erreicht werde, die Arbeit L des Muskels berechnet. Da es mir dabei nicht auf die absoluten Werthe ankam, sondern nur auf einen Ueberblick über die Richtung der Reihe, so habe ich weder eine Reduction auf die Querschnitts- und Längen-Einheit vorgenommen, noch das kleine Gewicht mit in Anschlag gebracht, welches die horizontale Schwebe des Muskels zu erhalten in Anwendung kommen musste.

Die Berechnung geschah nach der für die beschleunigte Geschwindigkeit geltenden Formel, wodurch dann die Arbeit $L = \frac{2\,5}{t^2}\,Ms$ wird, wenn M die Masse $= \frac{G}{g}$ bedeutet. Wir erhalten also:

Tabelle II.

I. Gruppe. Rollen-Distance = 0.			II. Gruppe. M constant = 1,019.	
Belastung in Grammen.	M	L	Rollen-Distance.	L
10	1,019	0,001684	0	0,001684
20	2,018	0,0022991	8	0,001356
30	3,058	0,0032309	8,5	0,0010713
50	5,097	0,0040106	9	0,0001147

Die Zahlen für L beziehen sich auf Gramm und Meter.

Wir entnehmen dieser Tabelle das Gesetz, dass die bei einer einzelnen Zuckung geleistete Arbeit innerhalb der Grenzen von 10—50

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Grmm. mit der Belastung zunimmt, ebenso wie mit der Verstärkung des momentanen Reizes.

Werfen wir schliesslich noch einen Blick auf die beiden Curvengruppen (Fig. 4 und 5), so sehen wir bei der ersten den ganzen Büschel fast wie aus einem einzigen Stiel hervorgehen, d. h. die Anfangsstücke der Curve liegen da, wo sie sich über die Abscissenaxe erheben, dichter hinter einander als bei den Curven der zweiten Gruppe. In der letzteren würde man ein Bild für das Anfangsstück jeder nächstfolgenden Curve erhalten, wenn man die Abscissenaxe parallel mit sich selbst gegen die erste vorschöbe. So würden, von der mit der grössten Stärke des Reizes erzeugten an, immer längere und längere Strecken des flach concaven Anfangstheiles in der Abscisse vergraben werden und die Dauer der latenten Reizung in dem oben angegebenen Verhältniss wachsen. Das fällt natürlich bei unseren Curven mehr auf, weil ihre Längen zwischen 148 und 102 Millim. absoluter Messung der Abscisse liegen. Ich gehe jetzt zu den

Schlussfolgerungen

aus beiden Versuchsreihen am Atwood'schen Myographion über.

Die allgemeinste Voraussetzung, welche für beide Reihen gemacht wurde, war die, dass die gezeichnete Curve der Ausdruck von dem Conflict zweier einander entgegenwirkender Kraftsysteme sei. In der ersten Reihe konnten diese Kräfte bestimmte Namen, Elasticität und beschleunigende Kraft der Schwere einerseits, zu bewegende Masse, also Gewicht, andererseits erhalten; in der zweiten Reihe musste man bei der aus dem Resultat des Vorgangs allein abgeleiteten allgemeinen Bezeichnung „verkürzende und verlängernde Kraft" stehen bleiben. In beiden Fällen führt der wirkliche Conflict dieser Kräfte zu einer sehr rasch erfolgenden Abgleichung in Form etwelcher Oscillationen, unter welchen die Wirkung des einmaligen momentanen Impulses verklingt. Die Formen der Curven, ihr zeitlicher Verlauf nach absolutem Maass, die Grösse der

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Elongation, das Verhältniss der zeitlichen Entwicklung ihrer einzelnen Abschnitte -- alles das liess sich unter geeigneten Umständen im allgemeinen bei den zwei Reihen ganz gleich machen. Welcher Natur in den beiden Fällen die Kräfte waren, kann uns vollkommen gleichgiltig sein, das Resultat muss in seinem gesetzlichen Ausdruck bei dem Muskel, wie bei der Feder gleich sein, wenn die zweite Voraussetzung, welche für die Feder ewiesener Massen gilt, auch auf den Muskel seine Anwendung findet. Diese zweite Voraussetzung ist aber die, dass für beide einander entgegenwirkende Kräfte die Angriffspunkte in ein und derselben Atomgruppe oder mit anderen Worten in ein und demselben homogenen Massenelement liegen.

Unsere ganze Untersuchung dreht sich um diesen Punkt, ob nämlich jene Voraussetzung den Resultaten der Versuche nach richtig sein kann, oder falsch sein muss.

Ich setze der Kürze wegen die Gesetze, welche aus der I. Versuchsreihe gewonnen wurden, neben die, welche wir der II. Reihe entnehmen müssen.

Gesetze für die Federn aus Reihe I.	Gesetze für die Muskeln aus Reihe II.
1) Mit der Zunahme des Widerstandes, also der primären Dehnung der Feder nimmt bei gleicher Spannkraft (Sp) die Leistung zu.	Mit Vergrösserung des angehängten dehnenden Gewichtes nimmt die Arbeitsgrösse des Muskels zu.
2) Mit Zunahme der Spannkraft (Sp) bei gleichbleibendem Widerstand (W) nimmt die Leistung der Feder zu.	Mit Verstärkung des Reizes wächst bei gleichbleibender Belastung die Leistung des Muskels.
3) Bei gleich grossem Werth von Sp nimmt mit dem Wachsen der	Bei gleicher Stärke des Reizes, wodurch jedenfalls die ganze Energie

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Widerstände durch die Belastung bei gleicher Elasticität der Feder die Länge der Curve (ihre Schwingungsdauer) *zu*.	des Muskels in Anspruch genommen wird, also bei grosser und immer *gleicher* Verkürzungskraft nimmt die Länge der Curve (Schwingungsdauer) mit der Zunahme der Belastung *ab*.
4) Bei gleichbleibender Belastung und ungleich grossem Impuls zur Schwingung ändert sich nur die Elongation, nicht aber die Schwingungsdauer.	Bei gleichbleibender Belastung wächst mit der Intensität des Reizes Elongation *und* Dauer der Schwingung.
5) Je grösser der Impuls (Sp) im Verhältniss zum gleichen Widerstand (W) ist, desto rascher erhebt sich die Curve über ihre Abscisse.	Je grösser der Impuls im Verhältniss zum gleichen dehnenden Gewicht ist, desto kürzer ist die Dauer der latenten Reizung.
6) Je grösser die durch W und Elasticität der Federn erzeugte innere Steifigkeit, desto rascher erhebt sich die Curve über die Abscisse.	Je grösser die durch die Gewichte erzeugte erhöhte innere Steifigkeit des Muskels, desto grösser ist die Dauer der latenten Reizung.
7) Das Verhältniss von $t' : t$ wächst im Allgemeinen mit der Grösse von W und bei gleichem W mit der Grösse von Sp.	Das Verhältniss von $t' : t$ wächst mit der Belastung und nimmt ab mit der Intensität des Reizes.
8) Bei starken Federn (mit grosser innerer Steifigkeit) ist die zweite Hälfte der Curve immer grösser als die erste.	Bei dem Muskel ist wegen seiner Weichheit, so lange die Elasticitätsgrenze durch dehnende Gewichte nicht überschritten wird, die zweite Hälfte der Curve ausnahmslos kleiner als die erste.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Aus diesen Parallelsätzen greifen wir den vierten heraus, überzeugt, dass wir unsere Voraussetzung fallen lassen müssen, wenn trotz der grössten Anzahl von zutreffenden Analogien in Beziehung auf andere Reihen von Punkten, in Beziehung auf nur Einen offenbarer Widerspruch zu Tag kommt.

Unsere Voraussetzung ist: Im Muskel herrschen längs eines Systems homogener Massenelemente zwei Kräfte, welche in entgegengesetzter Richtung die Länge des Systems zu ändern streben. Ihre sichtbare Wirkung muss Null sein, so lange beide gleich gross sind, und umgekehrt müssen, so lange sich die einmal gegebene Länge des Muskels constant erhält, beide Kräfte gleich gross sein. Der Reiz, welcher auf einen Muskel wirkt, und Contraction erzeugt, kann die Verkürzungskraft nicht *erzeugen,* sondern nur das Gleichgewicht zwischen beiden stören, und er kann diess in verschiedener von seiner Intensität abhängigen Grösse thun. Im Ganzen sind drei Möglichkeiten gegeben: entweder der Reiz paralysirt kleinere oder grössere Bruchstücke der verlängernden Kräfte, oder er wirkt einfach als Zuwachs zu den verkürzenden, oder er wirkt auf beide Kräfte zugleich.

Jeder momentane Impuls, wie der Oeffnungsschlag der Inductionsvorrichtung, kann in einem solchen System nur momentan das Gleichgewicht stören, und alles, was *nach* diesem Moment erfolgt, ist nur ein Abklingen oder Ausgleichen der Störung, dessen Form sich nach dem Maass der Störung einerseits und nach den absoluten gegenseitigen Werthen der Kräfte *vor* dem Reiz richten muss. Wie immer der Muskel vor diesem Moment beschaffen sein mag, ob durch grosse oder sehr kleine Gewichte gespannt — in der Ruhe sind beide Kräfte gleich, also die verkürzende Kraft gleich der verlängernden. Ihr absoluter Werth mag steigen oder fallen: ihre relative Grösse bleibt immer $= 1$. Es ist gleichgiltig, ob man sich die Bewegung primär erzeugt denkt durch eine momentane Schmälerung der ausdehnenden oder der verkür-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

zenden Kraft, es lässt sich darüber nicht entscheiden, weil dieser Moment viel kürzere Zeit ausfüllt, als die latente Reizung; unmittelbar darauf muss das ursprüngliche Verhältniss sich wieder herzustellen streben, oder der Reiz muss ausser der unmittelbaren Folge des Stosses noch eine weitere erkennbare Nachwirkung auf die Vermehrung oder Verminderung der einen oder anderen Kraft hinterlassen, während die Zuckung erfolgt. Geschieht das Erstere, so muss nach dem allgemeinen Gesetz der Schwingung, sowie wir es auch an den elastischen Federn wieder erkannt haben, die Schwingungsdauer unabhängig von der Elongation sein. Wächst mit der Elongation die Dauer, so kann, wenn unsere Voraussetzung beibehalten werden soll, das ursprüngliche Verhältniss nur so gestört sein, dass die dehnende Kraft auf einige Zeit das Uebergewicht über die spannende erhalten hat. Findet diess aber statt, so muss die Curve mit einem Schwung unter die Abscissenaxe beginnen, d. h. mit einer Verlängerung, was niemals nach momentanem Reiz stattfindet. Somit kann unsere Voraussetzung, dass die Muskelzuckung auf dem Rückschwung solcher einfacher elastischen Massen beruhe, in welchen das Gleichgewicht verkürzender und verlängernder Kräfte momentan gestört worden ist, nicht mehr beibehalten werden und wir haben uns sofort umzusehen, welche andere Voraussetzung mit den Zuckungscurven und dem, was wir sonst über den Zuckungsvorgang wissen, in Einklang zu bringen ist.

Dass im Muskel elastische Massen vorhanden sind, kann Niemand leugnen, dass in ihnen Ausgangs- *und* Endpunkt des Zuckungsvorganges liegt, haben wir zurückweisen müssen. Dass der Ausgangspunkt der Zuckung nicht in ihnen liegen kann, weil unter gewissen Umständen der Anfangstheil der Curve trotz der Zunahme ihrer Länge bei gleicher Belastung nicht unter die Abscisse sinkt, was geschehen müsste, wenn in der elastischen Masse der Ausgangspunkt der Bewegung läge, ist ebenfalls klar. Der primäre Anstoss zur Verkürzung muss also aus-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

serhalb der elastischen Massen liegen, und die ganze Form der Zuckung aus der Wechselwirkung einer gestossenen und einer elastischen, Widerstand leistenden Masse abzuleiten sein.

Wie immer man den Bau des Muskels betrachten will: die Annahme elastischer Schläuche in ihm kann nicht widerlegt werden. Denken wir uns diese Schläuche in einem von ihrem Aggregatzustand und von dem an ihnen ziehenden Gewicht abhängigen Spannungsgrad, gleichzeitig erfüllt mit einer Masse, welche durch Stoss in Schwankung gebracht werden kann, so werden in dem Schlauch Wellen verlaufen, deren Form und Dauer von der Heftigkeit des Stosses und der Spannung der Wand abhängen. Je schlaffer die Wandung, desto langsamer und mit grösseren Elongationen schreitet die Welle fort; je stärker gespannt die Wandung ist, desto schneller und flacher ist der Wellenzug. Diese Wellen der Wandung laufen zwischen den beiden fixen Punkten des Schlauches hin und her. Jetzt denken wir uns den elastischen Schlauch aufgehängt, und nur an seinem oberen Endpunkt befestigt. Ein Theil seines Inhaltes soll plötzlich gegen das obere Stück des Schlauches ansteigen; so wird sich dieses Stück erweitern und die ganze Länge entsprechend abnehmen. Die Spannung der Wand ist wegen des nicht comprimirbaren Inhaltes abhängig von dessen Menge und dem äusseren durch Gewichte regulirbaren Zug, welchen wir am freischwebenden Ende durch Belastung erzeugen können. Wird der Inhalt im Schlauch mit einer gewissen Geschwindigkeit deplacirt, so wird plötzlich dem Theil des Schlauches, aus welchem Inhalt austritt, ein Theil der davon abhängigen Spannung genommen; der Rückschwung ist zwar um so kleiner, je grösser die Belastung ist, aber um so kräftiger, wie bei der Feder, je grösser die Anfangsspannung war. Mit dieser zusammenhängend kann bei gleicher Stosskraft nur weniger Inhalt deplacirt werden, als bei schlafferen Wandungen; die Verkürzung des Schlauches bleibt also auch weniger ausgiebig in jenem, als in diesem Fall. Wächst

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

die Heftigkeit des Stosses, so kann um so mehr Inhalt deplacirt werden, je schlaffer die Wandungen sind; je mehr aber die Masse des zu deplacirenden Inhaltes anwächst, desto längere Zeit verstreicht, bis diess geschehen ist, desto grösser wird mit der Elongation die Schwingungsdauer. Die letztere muss aber um so mehr wachsen, wenn, wie erwiesen, die Elasticität in einem gewissen Verhältniss mit der Heftigkeit der Zuckung abnimmt.

Man hat sich bisher noch keine genaue Rechenschaft davon geben können, wie diese Elasticitätsabnahme mit der Verkürzung zusammenhängt. Es lässt sich zeigen, dass diess Phänomen nicht an die Zeitdauer der Zuckung gebunden ist, sondern dieselbe noch überdauert. Es kann also auch nichts mit der plötzlichen Gleichgewichtsstörung der supponirten Kräfte zu thun haben, sondern wird als eine secundäre Erscheinung aufgefasst werden müssen und zwar so, dass sie im Zeitraum der sogenannten latenten Reizung, d. h. in der Zeit, welche nothwendig ist, die Trägheit der gestossenen Masse zu überwinden, in Folge des Processes zu Wege gebracht wird, welcher den Stoss veranlasst. Die chemischen Vorgänge, welche erwiesenermassen beim Tetanisiren im Muskel vor sich gehen, müssen, wenn auch minutiös, aber doch nicht wirkungslos bei jeder einzelnen Zuckung zu Stande kommen. Dass dort Elasticitätsänderungen der Schläuche hervorgerufen werden, lässt sich experimentell nachweisen; sie müssen also auch hier auftreten. Wie die Bewegung der Masse eingeleitet, und wodurch die Elasticität dabei geändert wird — darüber will ich meine Meinung nicht äussern; auch wird man es entschuldigen, dass ich über den ganzen mechanischen Vorgang nur allgemeine Ansichten ausgesprochen habe, statt sie weiter durch Experiment oder Calcul zu unterstützen. Denn ich will meine Meinung hierüber vorläufig nicht für mehr ausgeben, als was sie ist: eine wahrscheinliche Hypothese in ihrer Durchführung, welcher nur ein allgemeiner Satz zu Grunde liegt, welchen ich allein von Anfang an zu entscheiden im Sinn gehabt habe, nämlich der, dass die Schwingung der

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

elastischen Muskelmasse, welche sich graphisch aufzeichnet, ein secundärer Process ist, angeregt durch den Stoss einer Masse auf diese elastischen Theile, wobei also Trieb- und Widerstandskraft nicht in ein und demselben System homogener Moleküle gelegen sein kann.

Dass ich hypothetisch die Muskelcontraction in ihrer Curvenform als den Ausdruck einer negativen Schlauchwelle betrachte, mag durch die Untersuchungen Kühne's[1] gerechtfertigt sein, welcher das von Porret entdeckte Phänomen der Flüssigkeitsbewegungen durch galvanische Ströme bereits mit der Muskelzuckung in Zusammenhang gebracht hat. Da von ihm hierüber weitere Mittheilungen zu erwarten sind, so begnügte ich mich, eine der am nächsten liegenden Voraussetzungen zurückgewiesen und damit der Ansicht von Kühne über den Zuckungsvorgang sowie über den Bau des Muskels eine weitere Stütze gegeben zu haben.

Anhang.

Ohne der Mittheilung einer ausgedehnten Untersuchung über den Einfluss der Temperatur auf die Form der einfachen Zuckung und auf die tetanischen Zuckungsreihen vorgreifen zu wollen, seien hier vorläufig nur einzelne Beispiele der graphischen Aufzeichnungen mitgetheilt und in der Kürze ihre Ergebnisse mit der durch gegenwärtige Abhandlung gewonnenen Erfahrung verglichen.

Die Methode der Untersuchung ist im Wesentlichen beibehalten. Die Temperatur der feuchten Luft in dem Muskelgehäuse wird durch

---

1) Kühne: über das Porret'sche Phänomen am Muskel. Reichert und Du Bois-Reymond's Archiv 1860 Heft IV.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

die Speisung seines Calorimeterraumes C a Fig. 10 aus einem grossen Reservoir mit Wasser bewerkstelligt. Um die Temperatur rascher oder langsamer zu ändern, steht die Zuflussröhre E Fig. 10 mit einem Doppelhahn in Verbindung, welcher mit weiter Oeffnung die Communication des Raumes C a entweder mit einem Reservoir für heisses oder für kaltes Wasser leicht herstellen oder aufheben lässt. Der Thermometer zeigt in der kürzesten Frist die Temperatur an, welche der Muskel in seiner ganzen Masse angenommen hat.

Soll die Luft in der Umgebung des Muskels unter Null abgekühlt werden, so benützt man ein Gefäss, dessen Form man sich leicht vorstellen kann, wenn man sich den Mantel des äusseren Cylinders in C a wegdenkt. Dieser Apparat befindet sich dann in einem entsprechenden Metallgefäss, welches die Kältemischung enthält.

Sollen die Tetanuscurven vom Muskel geschrieben werden, so wird als Uebergewicht die leere Hülse auf das Gewicht gesetzt, um die Bewegung des Rollenrahmen zu verlangsamen. Um die tetanisirenden Ströme jedesmal in demselben Zeitmoment der Fallbewegung in den Muskel hereinbrechen zu lassen, ist folgende Drahtverbindung hergestellt. Vom Element direkt zum Elektromagnet und der Säule der Feder am Du Bois'schen Schlitten; von der secundären Spirale die Drähte $\gamma\delta$ (Fig. 8) zum Gyrotrop wie gewöhnlich; vom Gyrotrop weg ε und η wie sonst; gleichzeitig aber von diesen aus Zweigbahnen zu den Klemmen k k′ (Fig. 5). So lange durch die nach vorn niedergedrückte Walze W (Fig. 5) der Contact ihrer Federn s s′ mit den Klemmen erhalten ist, gehen die Stösse der fortwährend mit gleich schneller Unterbrechung spielenden Inductionsvorrichtung auf der metallischen Bahn vor dem Muskel vorbei. Ist jener Contact durch die herabfallende Uebergewichtshülse aufgehoben — dann erst finden die elektrischen Ströme den Weg zum Muskel.

Aus den Curven, welche durch einfache Zuckungen (Curventafel

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Fig. 6) aufgezeichnet worden, ersieht man, dass von der mittleren Temperatur an (15°) nach abwärts die Schwingungsdauer immer länger und länger wird, dabei wächst bis zu + 3° die latente Reizung oft bis zum vierfachen ihrer Dauer an; die Elongation wird bei gleicher (kleiner) Belastung und gleichem (starkem) Reiz kleiner; steigt die Temperatur wieder, so treten die ursprünglichen Curvenformen sehr rasch wieder hervor. Die Schwingungsdauer und latente Reizung wird immer kleiner, die Elongation bleibt bis + 28° C. im Wachsen, dann aber und zwar sehr rasch nimmt Elongation und Dauer ab und bei 35° C. ist im höchsten Fall noch eine sehr rasch und schwach ablaufende Zuckung zu erhaschen.

Merkwürdiger Weise kann aber bei Verbindung des Muskels statt mit der Waagschaale mit einem Myodynamometer die Ueberzeugung sehr leicht gewonnen werden, dass häufig bei + 3° und bei + 28° die von der Verkürzungskraft bewältigten Gewichte genau gleich gross sind. Da die Schwingungsdauer im ersteren Fall aber viel länger als im letzteren ist, so sieht man, dass die Leistung (s P) in der Wärme grösser, aber weniger nachhaltig ist, als in der Kälte; dort wird das Maximum des Gewichtes kaum $^1/_{1000}$ Secunde in der Höhe gehalten, hier dagegen oft über $^3/_{100}$ Secunden.

Lässt man Tetanus-Curven schreiben (Curventafel Fig. 7), so beobachtet man, dass von + 6° an die Hubhöhe wiederum bis + 28° C. steigt; während sie aber dort erst nach $^9/_{10}$ Secunden erreicht wird, wird dieselbe hier schon nach $^1/_{900}$ Secunden erreicht. In Temperaturen über + 13° zerfällt die Curve in lauter Schlangenlinien, deren Krümmungen immer grösser werden, je mehr sich die Temperatur dem 35ten Grad nähert, während von + 10° an abwärts die Curve, nach langsamen Ansteigen, der Abscissenaxe ganz parallel läuft. Allen Curven, welche mit starken Schlangenbiegungen anfangen, ist aber gemeinschaftlich, dass auch sie schliesslich in fast ganz gerade Linien übergehen, obwohl die Schwingung der Feder am

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Schlitten continuirlich den genau gleichen Ton hören lässt, also die Unterbrechungsgeschwindigkeit gleich bleibt.

Wären die tetanischen Contractionen nur der Ausdruck von immer auf's neue und mit der gleichen Geschwindigkeit sich folgenden Gleichgewichtsstörungen, so müssen während der ganzen Dauer des Tetanus wie am Anfang die Oscillationen in der Curve bemerkbar bleiben, und könnten nicht nach und nach die einzelnen Gipfel derselben zu einer Geraden zusammenfliessen. Unter der Annahme aber, dass, wie beim constanten Strom in Kühne's Versuch auch beim Tetanus, je länger er dauert, je mehr Inhaltsmasse an einem Querschnitt der Schläuche angehäuft werde, erklärt sich das Entstehen der Curve einfach. Der Ort der Anhäufung wird hier aber nicht unmittelbar von der Applicationsstelle der negativen Elektrode abhängen, weil dieser immer wechselt, sondern von anderen Verhältnissen, welche auch bei der einfachen mechanischen Reizung wirksam sein müssen, wenn die Annahme einer Deplacirung des Inhaltes innerhalb der Muskelschläuche eine allgemeine Giltigkeit haben soll.

Behalten wir die Hypothese für die Erklärung der einfachen Zuckungsform bei verschiedenen Temperaturen bei, so würden wir sagen: in der Kälte bietet die zu bewegende Masse einen grossen Widerstand und wird bei grosser Trägheit ihrer Bewegung, welche sie in Folge des ersten Stosses erlangt, nur sehr langsam im Schlauch fortgeschoben, so dass z. B. bei + 4° C. nur eine sehr langgestreckte Schlauchwelle zu Stande kommt, welche hinter der bewegten Masse entsteht. Die Curve gibt dann nur das Bild von dem langsamen Hin- und Herwandern des Inhalts. In den mittleren Temperaturen entwickeln sich die Schlauchwellen wegen der grösseren Beweglichkeit immer mehr, ihre Excursionen werden bis zum 28ten Grad hin immer ausgiebiger, weil die Wandung zugleich immer schlaffer wird. Gegen den 30ten Grad hin und darüber hinaus nimmt die Elasticität der Wandung rasch zu, ihre Span-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

nung vergrössert sich und die Schwingung muss desshalb kürzer und niedriger werden. Diess hängt wieder mit den chemischen Veränderungen im Muskelsaft zusammen, welche der Entwicklung der Wärmestarre vorausgehen, wovon ich anderwärts ausführlich gehandelt habe.

Erklärung der Abbildungen.

I. Maschinen-Tafel.

Fig. 1. Aufriss des Atwood'schen Myographion von der Seite.

Fig. 2. Dasselbe von hinten. 1/6 der wirklichen Grösse.

Fig. 3. Grundriss des Schienenrahmen R, und des Rollenrahmen E mit einem Stück der Glastafel in der Mitte ihrer Länge; wirkliche Grösse.

Fig. 4. Die untere Auslösung des Rollenrahmen: A von der Seite, B von hinten.

Fig. 5. Der Mechanismus der Stromunterbrechung beim Auffallen der Uebergewichtshülse: A von oben, B von hinten.

Fig. 6. Die Auslösung für die Stromunterbrechung in Fig. 5 A in der Nische N sichtbar; wirkliche Grösse.

Fig. 7. Der Pinsel tragende Schreibhebel.

Fig. 8. Die Aufstellung der Apparate beim Reizversuch, von oben gesehen.

Fig. 9. Die Bewegung des Zeichenhebels durch den sich verkürzenden Muskel.

Fig. 10. Durchschnitt der Muskelhülse und ihres Calorimeterraumes A. Befestigungsweise der Muskelsehne an der Stahlstange B.

Fig. 11. Der Schlitten zur Verschiebung der Muskelhülse.

Fig. 12. Der Ammenpinsel in natürlicher Grösse.

II. Curven-Tafel.

Fig. 1 und 2. Curven des schwingenden Pendels zur Ermittlung der Geschwindigkeit des Falles.

Fig. 3. Curven der kurzen Spiralfeder: 1 und 2 mit kleiner und gleicher Spannung und ungleich grosser Ueberspannung; 3 und 4 mit grosser und gleicher Spannung und ungleich grosser Ueberspannung.

Fig. 4. Gruppe von Curven durch Muskelzuckung bei starkem und gleichem Reiz, und Wechsel der Belastung.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Fig. 5. Gruppe von Curven durch Muskelzuckung bei gleicher und kleiner Belastung (10 Grammen) und Wechsel der Reizstärke.

Fig. 6. Einfache Zuckungscurven bei verschiedenen Temperaturen, Maximum de Reizes und kleiner gleichbleibender Belastung.

Fig. 7. Gruppe von Tetanuscurven bei gleichbleibender Arbeit des Hammerwerkes an der Inductionsvorrichtung, gleicher Belastung und variirter Temperatur.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Inhalt.

Seite

Ueber einen neuen Respirations-Apparat von Dr. *Max Pettenkofer*. Mit drei Tafeln 229

Monographie der fossilen Fische aus den lithographischen Schiefern Bayerns. Bearbeitet von Dr. *Andreas Wagner*. Erste Abtheilung: Plakoiden und Pyknodonten (mit 4 Tafeln) 277

Zur innern Mechanik der Muskelzuckung und Beschreibung des Atwood'schen Myographion von Prof. Dr. *E. Harless*. Mit einer Figuren- und einer Curventafel 353

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

BRITISH MUSEUM NATURAL HISTORY

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

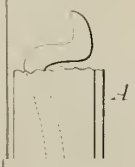
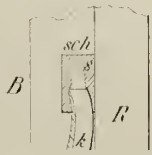


Fig. 6.



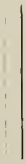
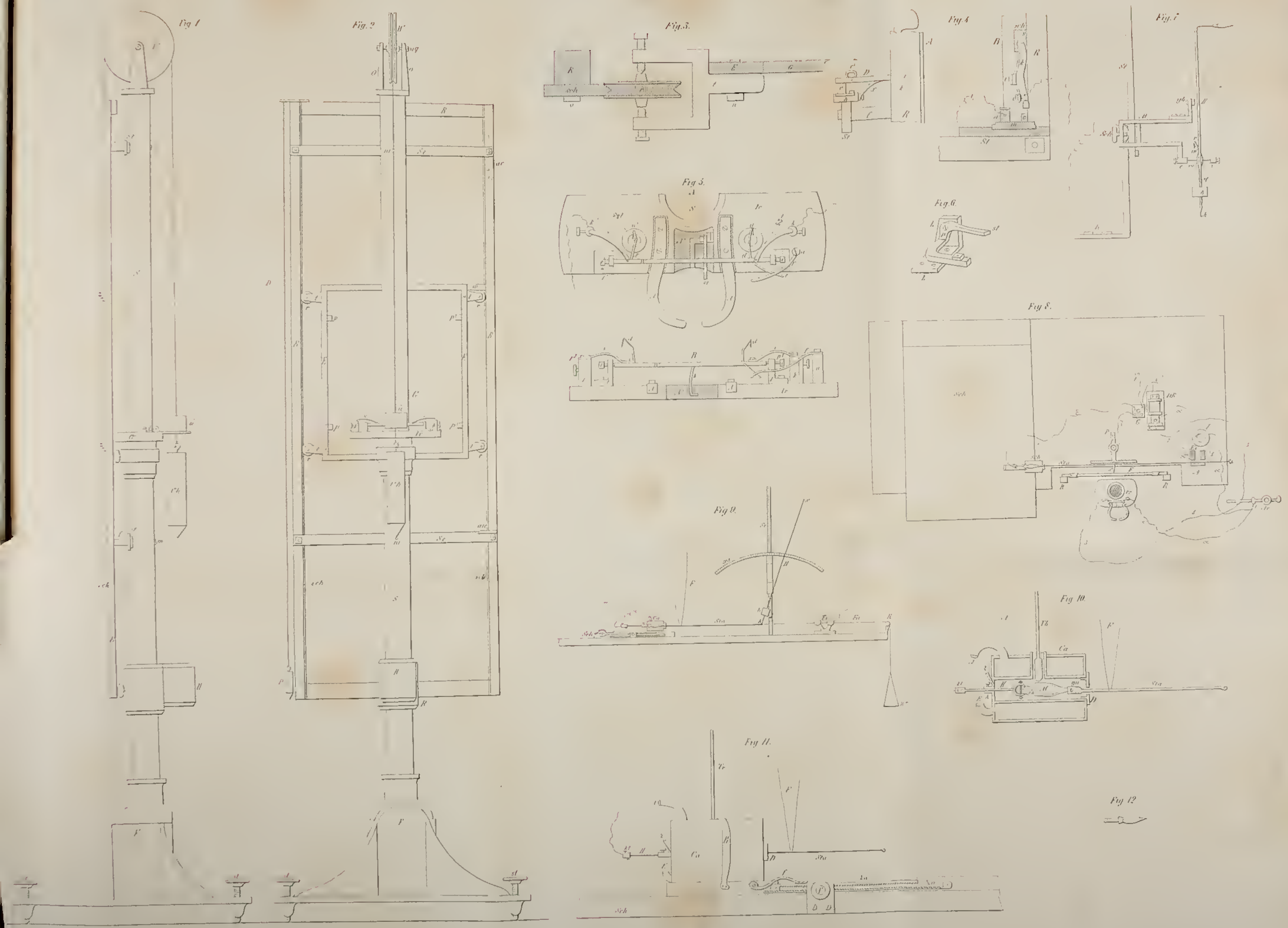
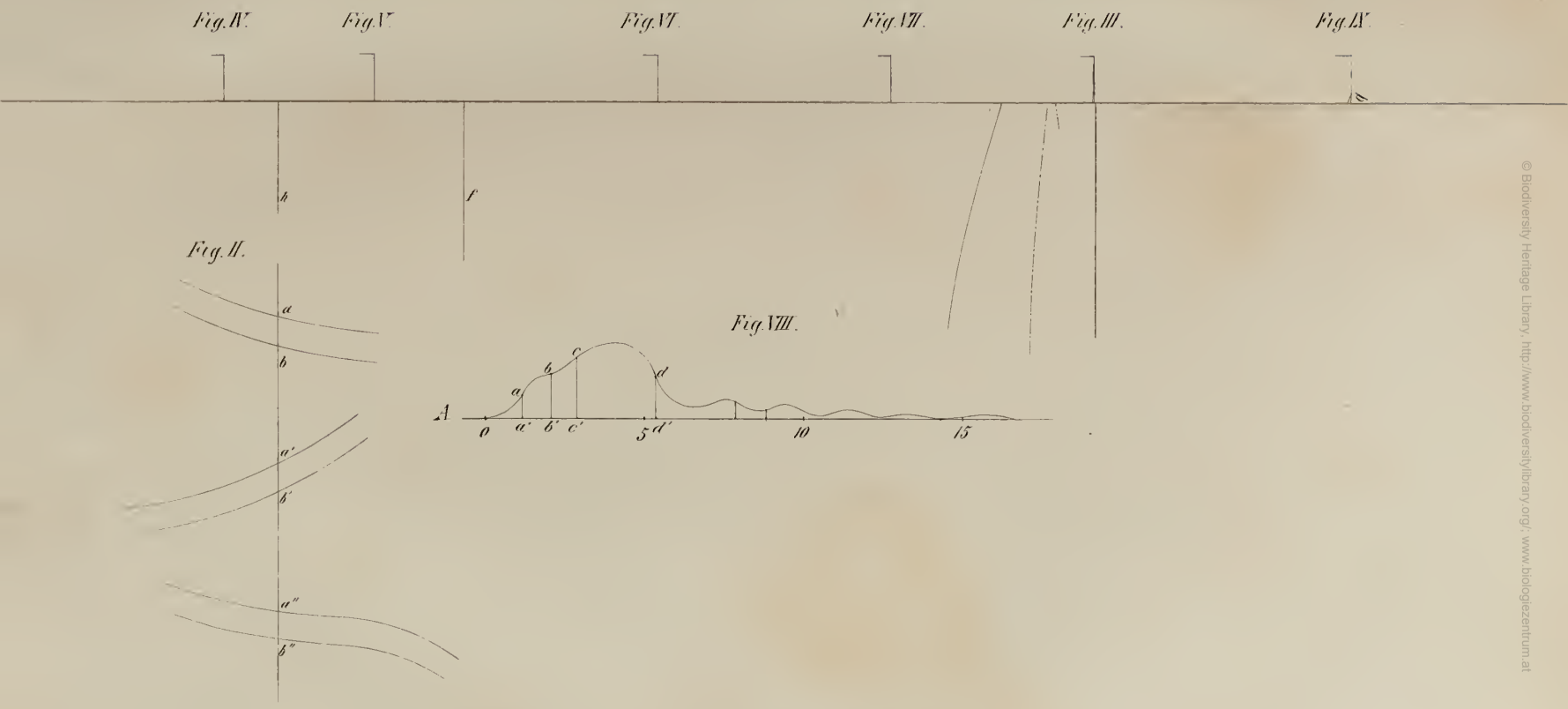


Fig. 7.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at





Abh. d. math. phys. Classe Band IX. Abth. 2.

Hartel's: Zur innern Mechanik der Muskelzuckung etc. etc. Tab. 2.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Abb. VI. Fig. 1 neuen Mechanismus der Alte Entwicklungsweise etc. Tab. 2.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Abhandlungen der Bayerischen Akademie der Wissenschaften - Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1863

Band/Volume: 9

Autor(en)/Author(s): Harless Emil

Artikel/Article: Zur inneren Mechanik der Muskelzuckung und Beschreibung des Atwood'schen Myographion. 353-418