

Sitzungsberichte

der

königl. bayerischen Akademie der Wissenschaften

zu München.

Jahrgang 1860.

München.

Druck von J. G. Weiss, Universitätsbuchdrucker.

1860.

—
In Commission bei G. Franz.

482

3) Von Herrn Harless eine Abhandlung

„Zur innern Mechanik der Muskelzuckung und Beschreibung des Atwood'schen Myographion.“

Auf den Wunsch der Classe soll in dem Nachstehenden eine vorläufige Mittheilung meiner am 10. Nov 1860 eingereichten Abhandlung „zur inneren Mechanik der Muskelzuckung, und Beschreibung des Atwood'schen Myographion“ dem heutigen Sitzungsbericht beigegeben werden, indem der Druck der Abhandlung in den Denkschriften erst in Monaten beginnen kann. Die Natur des Gegenstandes verlangt, dass ich mich an diesem Ort nur mit dem principiellen Theil und allgemeineren Resultaten beschäftige, die Zahlennachweise aber der grösseren Abhandlung selbst vorbehalte.

Bei der Construction eines neuen Myographion, wozu ich einerseits durch gewisse Fragstellungen, welche sich mit dem Helmholtz'schen Instrument nicht leicht erledigen lassen, andererseits durch den mir zur Disposition gestellten Etat meines Instrumentariums gezwungen wurde, kam es darauf an, einen Apparat zu erfinden, welcher möglichst einfach und doch vollkommen seinem Zweck entsprechend ist. Die Arbeiten von Helmholtz hatten bereits scharf alle Punkte präcisirt, welche dabei berücksichtigt sein wollten, und es kam nur darauf an, mechanisch das vollendet ausführen zu lassen, was, wie aus einzelnen Andeutungen hervorgeht, Helmholtz selbst anfänglich vorgeschwebt haben mochte.

Die grösste Schwierigkeit bei dem Bau des Instrumentes liegt in der Herstellung einer ganz gleichmässigen Geschwindigkeit, welche die Schreibfläche gewonnen haben muss, wenn sich die Curve des zuckenden Muskels aufzeichnet. Es ist diess vor mir durch sehr complicirte Mittel: Uhrwerk, Schwungscheibe und Kegelpendel erreicht worden — ich habe mich auf die Gesetze des Falles allein verlassen, und bei der Construction auf die Hilfe schwerer Massen vertraut, um mich dadurch vor den Störungen der wenn auch möglichst verkleinerten Reibung zu bewahren. Das Princip des Apparates beruht also auf dem der Atwood'schen Fallmaschine, wesshalb ich auch den Namen „Atwood'sches Myographion“ beibehalten habe. Der ganze Apparat besteht aus Eisen und es wird durch das fallende Gewicht die fast 2000 Grm. schwere plane Schreibfläche längs einer Schienenbahn auf ihren sehr sorgfältig gearbeiteten Rollen vor dem Schreibapparat des Muskels vorbeigezogen.

Ist die Reibung möglichst eliminirt, so bewegen sich bekanntlich

die beiden gegeneinander genau balancirten Gewichte, deren verbindende Schnur über eine Rolle läuft, mit gleichförmiger Geschwindigkeit, wenn man momentan das Gleichgewicht gestört hat. Die Störung des Gleichgewichtes geschieht durch ein Uebergewicht auf der einen Seite, wodurch zunächst eine beschleunigte Geschwindigkeit hervorgerufen wird; diese ist aber von dem Augenblick an gleichförmig, in welchem das Uebergewicht entfernt wird, und ihr Maass entspricht der Endgeschwindigkeit, welche das System in dem Moment erlangt hat, in welchem das Uebergewicht entfernt ist. Diese Endgeschwindigkeit hängt für den gleichen Punkt der durchlaufenen Bahn ab vom Verhältniss der Summe der gegeneinander abgeglichenen Gewichte zu dem Gewicht, welches als Uebergewicht anfänglich die beschleunigte Geschwindigkeit hervorgerufen hatte. Sie kann also in weiten Grenzen variirt werden.

In meinem Instrument wird das Uebergewicht nicht bloss zur Erzeugung der Bewegung, sondern im Moment, in welchem es durch eine Art Gabel aufgefangen wird, zugleich zur Auslösung eines sehr fein eingestellten Mechanismus benützt, welcher bei der leisesten Berührung sofort eine galvanische Kette öffnet, oder schliesst. In dem Augenblick also, in welchem die gleichförmige Bewegung hergestellt wird, in demselben Augenblick und immer genau zur gleichen Zeit wird der Muskel durch einen Schliessungs- oder Oeffnungsschlag gereizt. Das ist bekanntlich die zweite Anforderung, welche an jeden derartigen Apparat gestellt werden muss. Der Muskel selbst wird in einem Gehäuse vor jedem Wasserverlust geschützt und in messbarer Weise erwärmt oder abgekühlt der Reizung ausgesetzt, wobei seine Verkürzung einen den Ausschlag circa fünfmal vergrössernden vollkommen balancirten, leichten und fast ohne Friction sich bewegenden Hebel dreht, dessen fein einstellbare umgebogene Spitze die Curve auf der vorüberfliegenden, plangeschliffenen Spiegelplatte aufzeichnet. Der Muskel kann mit verschiedenen Gewichten gleichzeitig belastet sein, und wie erwähnt mit grosser Bequemlichkeit in den mannichfachsten Apparaten eingeschlossen, allen möglichen äusseren Umständen willkürlich ausgesetzt werden.

Die Geschwindigkeit der gleichförmigen Bewegung kann je nach der Grösse des Uebergewichtes bei meinem Apparat zwischen 0,3 und 2 Meter variirt werden, ohne dass dabei Fehler durch wachsende Friction, oder Erschütterung noch bemerkbar werden. Ausserdem aber lässt sich der Apparat mit einem Uhrwerk in Verbindung setzen, welches mit gleichmässigem Gang der Schreibfläche eine Bewegung von 30 oder 72

Stunden, oder auch von $\frac{1}{4}$ Stunde pro Meter mittheilt. Es lässt sich also das Instrument für Aufzeichnung auch der langsamsten Veränderungen in der Länge des Muskels benützen.

Ob bei der Ausführung diejenige Genauigkeit erreichbar war, so dass eine dem Princip entsprechende Leistung auch wirklich zu Wege gebracht werden konnte, ist nur auf dem Weg des controlirenden Versuches zu entscheiden gewesen. Dieser lag nahe, wenn man an die Regelmässigkeit einer Pendelschwingung dachte, und sich vorher überzeigte, dass die Reibung der schreibenden Spitze erst nach vielen Schwingungen eine Störung verursache, während man nur eine halbe aufzeichnen liess. Der Hebel, welcher die Zuckungcurve schreiben sollte, wurde mit einer schweren Linse unter seinem Hypomochlion so versehen, dass er sehr rasche Schwingungen machte; ferner wurde er in der gleichen Winkelstellung bei jedem Versuch durch einen Elektromagnet gehalten, so lange die Kette geschlossen blieb. Beim Aufschlagen des Uebergewichtes verschwand der Elektromagnetismus in Folge des Oeffnens der Kette, deren Strom stets auf gleicher Höhe erhalten wurde, und der Pendel schrieb seine Schwingung auf. Der Classe wurden schon im Winter 1859/60 derartige Curven vorgelegt, und zwar z. B. solche, an welchen ein siebenfacher Versuch so genau zu dem stets gleichen Resultat geführt hatte, dass sich sämmtliche sieben Curven vollkommen deckten. Das setzte voraus, dass jedesmal dieselbe Geschwindigkeit statt gehabt hatte, dass genau auf denselben Zeitmoment die Unterbrechung des Stromes fiel, dass der Elektromagnetismus zu seinem Verschwinden immer die gleiche Zeit in Anspruch nahm, dass der Pendel ohne variable Reibung im Lager und an der Spitze seine Schwingung von der gleichen Anfangsstellung aus schrieb. 1 Millim. Weg wurde dabei in 0,001208 Sekunden zurückgelegt. Nun wurde die Geschwindigkeit auf 0,2 Meter per Sekunde herabgesetzt, und zweimal Schwingungscurven von der gleichen Winkelstellung aus, aber bezogen auf die Schienenbahn des Apparates mit Wechsel ihres zeitlichen Beginnes aufgezeichnet; dabei erhielt man am obersten und untersten und mittleren Punkt der ganzen Schreibfläche paarweise Curvenstücke, deren Distancen genau unter einander harmonirten; was bewies, dass die Bewegung gleichförmig bleibt, so lange sich überhaupt der schreibende Hebel im Bereich der Schreibfläche befindet, also auf einer Strecke von fast 4 Decimeter.

Zur Bestimmung der absoluten Geschwindigkeit lassen sich zwei

Methoden anwenden, welche sich gegenseitig controliren, weil sie auf zwei ganz verschiedenen Principien beruhen. Die eine Methode ist die der Wägung, die andere die der Zählung. Bei der Wägung wird das zum Balanciren der Schreibfläche nothwendige Gewicht bestimmt, welches dann gleich ist dem der Schreibfläche, plus dem, welches der Kraft der Reibung in der Ruhe entspricht, und sein doppelter Werth verglichen mit dem des Uebergewichtes. Weiter wird der Weg bestimmt, welchen die Gewichte durchlaufen haben in dem Moment, in welchem das Uebergewicht aufgefangen wird; daraus berechnet sich nach den bekannten Formeln die Endgeschwindigkeit in diesem Moment, und damit die gleichförmige Geschwindigkeit, mit welcher die Fläche den Rest ihrer Wegstrecke zurücklegt.

Die zweite Methode besteht darin, dass man mit der Tertienuhr die Dauer der ersten 3—5 Schwingungen eines schweren Pendels zählt, welche derselbe von einer bestimmten Winkelstellung aus macht. Man nimmt dann aus einer Reihe solcher Zählungen, welche man auf die möglichst kleine Anzahl von Schwingungen zu reduciren sucht, das Mittel, bestimmt die Zeitdauer für eine halbe Schwingung, lässt dann die Curve der Schwingung über der Abscisse für die Ruhelage des Pendels aufschreiben, und misst die Länge der Abscisse zwischen den zwei Schnittpunkten mit der Curve. Diese Distance gibt den Weg, welcher in dem ermittelten Zeitraum einer halben Schwingung von der schreibenden Fläche zurückgelegt wurde, und somit das Maass für die Bewegungsgeschwindigkeit. Beide Methoden liefern vollkommen übereinstimmende Resultate. Mittler Weile ist auch ausser von meinen hiesigen Fachgenossen und vielen Aerzten der Apparat von den Herrn Collegen Bezold, Meissner, Kühne, Greger, Vintschgau und Anderen in Augenschein genommen worden. Der Apparat wird vom Herrn Mechanikus Stollenreuther dahier um den Preis von 97 fl. geliefert.

Die der Classe vorgelegten Curven zeigen, dass die absoluten Zeitangaben des Instrumentes für die latente Reizung unter verschiedenen Umständen und für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den Nerven mit den Angaben des Helmholtz'schen Myographion vollkommen übereinstimmen. Damals schon wurden der Classe die höchst merkwürdigen Aussagen der Curven über die Wirkung der Wärme und Kälte in Beziehung auf Verkürzungsweise und Leistung des Muskels im Original mitgetheilt, worüber ich ausführlich in der nächsten Sitzung zu berichten habe.

Zuvörderst aber habe ich eine mehr allgemeine Aufgabe in's Auge gefasst und diese in der der Akademie gegenwärtig vorgelegten Abhandlung zu lösen gesucht.

Der Gedanke, welcher mich bei der Untersuchung leitete, war der, dass man durchaus auf die Differenz der Gewebmassen in den Muskeln Rücksicht nehmen müsse, und sie nicht mehr in Bausch und Bogen als elastische Massen betrachten dürfe, aus deren allgemeinsten Eigenschaften man die Erscheinungen bei ihrer Thätigkeit theoretisch ableiten könne. Meine und Kühnes Studien an der Muskelflüssigkeit und Muskelsubstanz haben mich mit Nothwendigkeit zu der Fragstellung getrieben: Ist die Zuckungscurve der Ausdruck des Conflictes von Kräften in ein und derselben Gewebmasse, oder der Conflict von Kräften, deren Resultanten innerhalb differenter Gewebmassen gegeneinander in's Spiel gesetzt, schliesslich zu dem verwickelten Phänomen der Zuckungsform führen. Da der zweite Theil der Frage nichts weniger verlangt als eine Lösung des ganzen Problems der Muskelzuckung, so habe ich mich zuerst mit der Lösung der ersten Hälfte der Frage begnügen zu müssen geglaubt, und demgemäss dieselbe so formulirt; „können die Aussagen der Zuckungscurven mit der einfachsten Annahme vereinbart werden, nämlich mit der, dass sie aus dem Conflict zweier Kräfte in ein und demselben System organischer und zwar elastischer Massen entspringen?“

Diese Frage zu lösen hätte auch auf analytischem Wege theoretisch allein versucht werden können; ich habe aber den experimentellen Weg eingeschlagen, welcher nebenbei die Bestätigung einer theoretisch-mechanischen Beweisführung brachte, auf die Schellbach in seinen Elementen der Mechanik p. 216 ff. geführt wurde.

Mein Bestreben ging dahin, durch künstliche Mittel aus dem Conflict bekannter und messbarer Kräfte Bewegungsformen zu erzeugen, deren graphischer Ausdruck in relativen und absoluten Werthen dem gleich gemacht werden konnte, welcher dem zeitlichen Verlauf der Muskelzuckung entspricht.

Ich musste mir vor Allem das Princip von der Erhaltung der Kraft vergegenwärtigen, um das tertium comparationis bei dem schematischen Versuch auf den ersten Wurf zu treffen. Jenes Princip sagt aber aus, dass in keinem materiellen System durch irgendwelche Mittel Kräfte erzeugt werden können, sondern dass es nur Störungen des Gleichgewichtes durch Uebertragung von Bewegungen geben könne. Dabei

wirkt die bewegende Ursache als bewegtes entweder in der Zeit noch fort, oder die Störung des Gleichgewichtes ist eine momentane, und wir beobachten weniger die Störung als die in messbarer Zeit wahrnehmbare Abgleichung oder Ausgleichung nach der Störung.

Da der Impuls eines Oeffnungsschlages mit Fug und Recht ein momentaner genannt werden darf, die Zuckung aber im Zeitraum von 0,3 Sekunden und mehr ihre erste Phase durchläuft, so kann vernünftiger Weise keine andere Annahme gemacht werden als die, dass wir es dabei mit einem Ausgleichen der momentanen Störung zu thun haben. Denn der momentane Impuls kann unmöglich über seine Zeitdauer hinaus dem Muskel eine Kraft hinterlassen, die er vorher noch nicht besessen hatte. Denken wir uns also ein einfaches Massensystem und sehen dasselbe irgend wie momentan aus seiner Gleichgewichtslage gebracht, zugleich aber in ihm Kräfte nachweisbar, welche ohne weiteres Zuthun einer äusseren Kraft das ursprüngliche Gleichgewicht wieder herzustellen streben, so sind wir anzunehmen gezwungen, dass schon vor dem Antrieb zur Bewegung, wie während deren Ausführung, einander entgegengesetzt gerichtete Kräfte thätig sein müssen und zwar solche, welche sie zu verkleinern streben. In der Gleichgewichtslage, also in der Ruhe vor und nach der Verkürzung, ist ihre Wirkung in Beziehung auf die Aenderung von L gleich Null, ihr Verhältniss also auch constant $= 1$.

Der absolute Werth der einander entgegenwirkenden Kräfte kann unendlich variiren, ihr Verhältniss bleibt aber für jede Gleichgewichtslage dasselbe. Das Gleichgewicht mag momentan wie immer gestört sein durch Verkleinerung der einen oder Vergrösserung der anderen Kraft oder Aenderung beider: es müssen stets Oscillationen um die Gleichgewichtslage herum schliesslich wieder zur Herstellung des Gleichgewichtes führen, wobei es aber auf Nebenumstände ankommt, ob das erste L oder ein anderer Werth dieser Grösse schliesslich erreicht wird. Ein solcher Fall ist, wie leicht einzusehen, bei einer elastischen Feder gegeben, deren Rückschwung von der elastischen Kraft der Feder, also ihrer Spannung und dem entgegengesetzt wirkenden dehnenden Gewicht zugleich abhängig ist. Die plötzliche Auslösung der vorher willkürlich und messbar gross gemachten Spannkraft veranlasst die Störung im Gleichgewicht zwischen den dehnenden Kräften und der Elasticität der Feder, deren Ausgleichung in der Form von Oscillationen erfolgt, welche um die Gleichgewichtslage herum schwanken.

Es ist klar, dass die Zuckungscurve durch gleiche äussere Umstände in gleicher Weise umgeändert werden müsste, wenn sie der Ausdruck eines solchen einfachen Conflictes von Kräften wäre, wie sie bei der schwingenden Spiralfeder gegeneinander in's Spiel treten. Es ist aber auch weiter klar, dass man nur einen solchen Conflict in den Muskeln voraussetzen kann, wenn man sie als einfache elastische Gewebsmassen betrachtet, in welchen ein momentaner Impuls, wie thatsächlich eine verhältnissmässig langsame oscillirende Formveränderung hervorzurufen im Stande ist. Ob man sie also schlechthin als einfache elastische Gewebsmassen betrachten darf, in welchen der Conflict verkürzender und verlängernder Kräfte anhebt und aufhört, muss sich umgekehrt aus der Aehnlichkeit oder Unähnlichkeit des Zuckungsvorganges mit der Schwingungsform gedehnter, elastischer (Spiral-) Federn oder Fäden entscheiden lassen.

Dem Muskel wurden demnach in den Versuchen sehr verschiedene metallne Spiralfedern substituirt, welche mit verschiedenen Gewichten beschwert in Schwingung geriethen, sobald ein Elektromagnet zu wirken aufhörte, dessen Anker die Feder mit einem gemessenen und variirten Grad von Ueberspannung gedehnt hielt. In allen Fällen entsprach das graphische Resultat genau dem von Schellbach hiefür rein theoretisch entwickelten Gesetz, dass die Schwingungsdauer ein und derselben Feder unabhängig von der Schwingungsweite, aber abhängig von der ursprünglichen Ausdehnung durch das angehängt bleibende Gewicht ist. Die absolute Schwingungsdauer ist aber noch abhängig von der Elasticität und Natur der Feder, Schellbachs Formel

$$T = \pi \sqrt{\frac{a}{g}}$$

(wobei a = Dehnung durch das spannende Gewicht) verlangt also noch eine Constante, indem bei der einzelnen Spiralfeder die Axenverlängerung a mit ihrem verschiedenen Werth nicht den verschiedenen Werth der elastischen Kraft involvirt. Das zweite Gesetz ist, dass mit dem Werth von a , also mit der Grösse des angehängten Gewichtes die Schwingungsdauer wächst. Hier genügt es bloss auf diese beiden Gesetze hinzuweisen, weil mit ihrer Hilfe allein schon die aufgestellte Frage entschieden werden kann. Wir sehen nämlich aus den in der grösseren Abhandlung mitgetheilten Curven und Messungen, dass für die Muskelzuckung gerade das Gegentheil gilt. Wird nämlich bei dem Muskel die

Belastung gleich gelassen (10 Grm.) und die Intensität des Reizes gesteigert, so wächst mit der Elongation die Schwingungsdauer; wird ferner der Reiz gleich gelassen und zwar das Maximum des Reizes gewählt, wodurch jedenfalls immer die volle, also immer die gleiche Energie des Muskels in Anspruch genommen ist, und wird dabei die Belastung des Muskels variirt, so ändert sich wieder Elongation und Dauer, aber im umgekehrten Verhältniss zur Belastung, d. h. die Schwingung wird immer kürzer, je grösser die (zwischen 10 und 50 Grm.) variirte Belastung ist. Beiläufig gesagt, steigert sich auch innerhalb dieser Belastungsgrenzen die auf die Zeit bezogene Arbeitsgrösse des Muskels, wie Weber auch ohne Rücksicht auf die Zeit gefunden hatte.

Daraus ist zu entnehmen, dass die Muskelzuckung nicht nach Analogie des Rückschwunges beschwerter und elastischer Federn entsteht und dass nach dem Obigen aus demselben Grund auch unsere in Frage gestellte Voraussetzung unhaltbar ist.

Der Beantwortung des zweiten Theiles unserer aufgeworfenen Frage will ich nicht mehr als eine hypothetische Bedeutung beilegen, deren Wahrscheinlichkeit sich auf Kühnes „Beobachtung des Porret'schen Phänomens an Muskeln“¹ stützt. In Analogie mit diesem Phänomen fand nämlich Kühne, dass der Inhalt der Muskelschläuche, welchen ich mit ihm für zähflüssig und nicht fibrillär halte, unter dem Einfluss eines constanten Stromes gegen den negativen Pol wogt und sich dort anhäuft, dabei den elastischen, umhüllenden Schlauch dort ausdehnt im ganzen aber verkürzen muss, wenn äusserer Widerstand diess nicht verhindert. Was man dabei mit dem Auge während des längeren Zeitraumes verfolgen kann, findet sicher momentan bei jeder Zuckung mit grosser Geschwindigkeit statt. Ich betrachte also den momentanen Reiz als gleichbedeutend mit einem Stoss auf die unelastische Inhaltsmasse des elastischen Schlauches und das Phänomen der Zuckung zusammengesetzt aus der hin- und herlaufenden Bewegung des Inhalts und der damit zusammenhängenden und gleichsam hinter der bewegten Masse entstehenden Schlauchwelle, deren Anfangstheil nothwendig negativ sein muss. Daraus erklärt es sich, wie bei grösserer Spannung des Schlauches die Schwingung niedrig und kurz, bei grösserer Schlaffheit (geringerer Belastung) höher und länger werden muss. Man sieht ein wie die Welle höher und länger wird, wenn bei schlafferer Wandung der

(1) Kühne in Reicherts- und Du Bois-Reymond-Archiv 1860, Heft 4.

Stoss eine grössere Menge Inhalt fortschleudert, um so mehr als der chemische Process der Reizung, je intensiver er mit dem Maass der Reizung wird, um so mehr und rascher die Elasticitäts-Verminderung des Schlauches begünstigen muss. Diese Vergrösserung der Schwingungsdauer in Folge des stärkeren Reizes ist gar nicht mit den Schwingungsgesetzen der Federn zu vereinen, wenn der Anfangstheil der Zuckungcurve nicht unter die Abscisse herabsinkt, der Muskel sich anfänglich verlängert. Denn nach der Formel könnte sich die Schwingungsdauer nur vergrössern, wenn über die Zeit der Reizung hinaus die verlängernden Kräfte das Uebergewicht gewinnen, so dass ihr Verhältniss zu den verkürzenden Kräften, bezogen auf die anfängliche Gleichgewichtslage, grösser geworden wäre als zu jener Zeit. Bei der mit der Entwicklung der Curve beginnenden Ausgleichung der momentan veranlassten Störung müssten also die verlängernden Kräfte zuerst als überwiegend erscheinen, die Curve zuerst unter die Abscisse sinken, was doch niemals nach momentanem Reiz geschieht.

Ich stelle mir also vor, die unelastische Inhaltsmasse ist entsprechend den allgemeinen Formverhältnissen und Spannungsgraden des Muskels in den elastischen Schläuchen in der Ruhe vertheilt. Die elastische Wandung erfährt eine Spannung, deren Maass von deren äusseren Kräften einerseits und von dem inneren Druck des Inhaltes nach aussen abhängt. Sobald durch irgendwelche Veranlassung ein Theil des Inhaltes plötzlich gezwungen wird seinen Ort zu verlassen, so wird an dieser Stelle der elastische Schlauch eines Theils seiner Spannung entledigt und einen Rückschwung ausführen, welcher noch während die Inhaltsportion auf ihrer Wanderung begriffen ist, auf der Curve der Gleichgewichtshöhen gleichsam hin- und herschwankt, und dadurch die abwechselnd concaven und convexen Stellen vor dem Culminationspunkt der Curve bildet, welcher selbst durch das erreichbare Ziel jener Wanderung des Inhaltes herbeigeführt wird, gerade so wie man im absteigenden Theil der Curve die Schwankungen allein aus der elastischen Nachwirkung abzuleiten gesucht hat.

Doch ich will schliesslich alles Hypothetische wieder bei Seite legen und mich allein an die positiven Resultate der Untersuchung halten. Es ist abgesehen von diesen an sich sehr unverständlich, wie in einer Masse, deren Längenabnahme unter Bewältigung sehr grosser Gewichte von Statten gehen kann, und zwar in Folge zeitweiligüberwiegender Attractionskräfte, zwischen ihren kleinsten Theilen, bei der Verkürzung nicht nur

keine Volumsabnahme (Verdichtung), sondern sogar eine Elasticitätsabnahme auftreten soll. Die Vergleiche mit den elastischen Spiralfedern haben aber noch mehr die Ansicht erschüttert, als handle es sich bei der Muskelzuckung nur um die Abgleichung einer Störung, welche das Verhältniss so einfacher Kräfte in ein und demselben System durch den momentanen Reiz erfahren habe. Da aber erwiesener Maassen elastische Kräfte den Muskeln und zwar jedenfalls einzelnen Gewebselementen desselben innewohnen, so musste man schon wegen gewisser Aehnlichkeiten zwischen den Schwingungen elastischer Federn und der Zuckung diese für betheiligt bei der Entwicklung der Curve halten, aber nicht primär sondern sekundär. Die Aehnlichkeit der Schwingungsdauer bei Muskeln in ihrer Abhängigkeit vom Spannungsgrad mit dem Gesetz, nach welchem gespannte Saiten zwischen zwei fixen Punkten schwingen, auf der anderen Seite die Abhängigkeit der Schwingungsweite und Schwingungsdauer von der Intensität des Impulses lässt als eine alle Erscheinungen erklärende und alle Widersprüche aufhebende Annahme schliesslich nur die bestehen, dass wir die elastischen Gewebmassen als die Widerstand leistenden betrachten, und einen ausser ihnen und auf sie erst wirkenden weiteren Impuls voraussetzen, dessen Effekt aus der angeregten Bewegung irgend einer Masse im Conflict mit der elastischen Gegenwirkung einer zweiten resultirt; so allein kommen wir aus dem Dilemma, in welchem man sich immer befinden musste, wenn man sich dachte, durch den Reiz würde der Vorrath von Spannkraft nur ausgelöst, und doch sah, wie zwischen der Menge des ausgelösten Vorraths und der Intensität des Reizes ein gewisses Verhältniss aufrecht erhalten blieb.

Da wir den weiteren Erfolg von Kühne's Arbeiten abzuwarten und zu hoffen haben, dass er die von ihm entdeckte Analogie zwischen dem Porret'schen Phänomen und der Muskelverkürzung auch noch auf den einfachen Zuckungsvorgang werde ausdehnen können, so habe ich mit dem Vorstehenden nur gelegentlich und mehr in hypothetischer Form seiner Grundanschauung eine weitere Stütze geben, mir selbst aber den Beweis liefern wollen, dass die Muskelzuckung niemals primär auf den Conflict zweier Kraftsysteme in ein und demselben Formelement zurückgeführt werden könne.
