

VII.

Die willkürliche Bewegung.

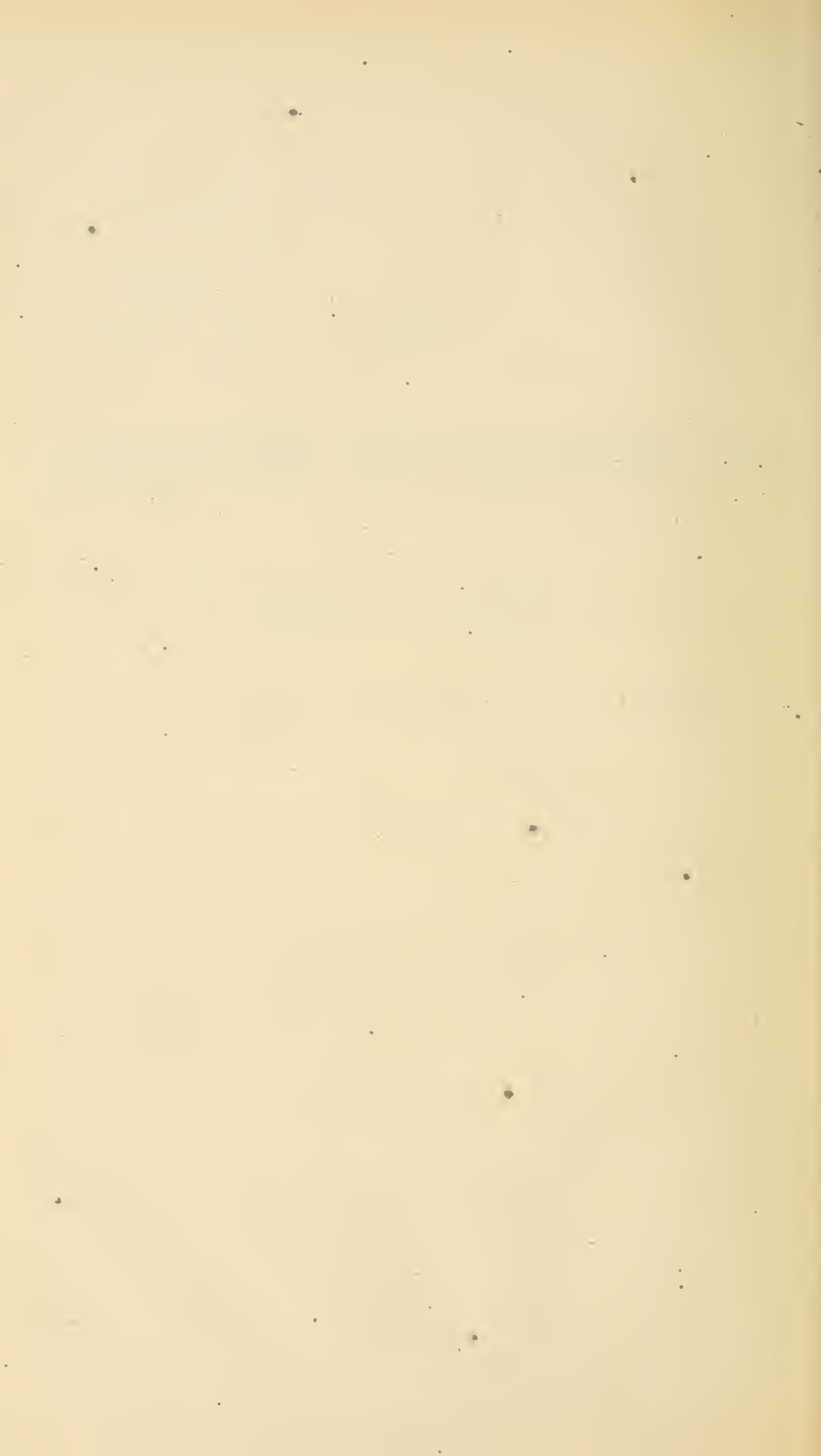
Populärer Vortrag

gehalten den 16. December 1871 in der Harmonie in Kiel

von

Dr. V. Hensen,

Professor der Physiologie in Kiel.



Der Körper, an welchen die Fähigkeit, unsere Glieder nach unserem Willen zu bewegen, gebunden ist, wird Niemandem unbekannt sein, denn es ist unser Fleisch, welches die betreffenden Bewegungen bewirkt. Da das Fleisch des Menschen nicht merklich anders beschaffen ist, wie dasjenige der Säugethiere, ja sogar mit dem der Amphibien und Fische noch grosse Aehnlichkeit hat, so braucht man nur der Beschaffenheit des rohen Fleisches dieser Thiere sich zu erinnern, um genau zu wissen, von welchem Körper die Rede sein soll. Auch die Lebensvorgänge, die zur Bewegung gehören, sind, wie gelegentlich vorgenommene directe Versuche ergeben haben, beim Menschen nicht anders wie bei allen Wirbelthieren gestaltet. Die kleinen Unterschiede, welche sich zeigen, beziehen sich namentlich auf den Grad der Schnelligkeit, Ausdauer und Kraft der Bewegung, zeigen aber nicht tiefer gehende Verschiedenheiten. Unter den Wirbelthieren zeichnen sich die Amphibien dadurch aus, dass ihr Fleisch lange Zeit nach dem Aufhören der Blutcirculation die Fähigkeit sich zu bewegen, bewahrt. Es ist daher am bequemsten, sich der abgetrennten Gliedmaassen eines dieser Thiere, z. B. eines Frosches, zu bedienen, wenn man die Lebensvorgänge bei der Bewegung studiren und zeigen will. Wir werden nachher demgemäss verfahren.

Ehe wir an die Versuche gehen, wird es nothwendig sein, die Art der Bewegung, mit der sich der heutige Vortrag zu beschäftigen hat, festzustellen.

Mit Hülfe unseres Fleisches bewegen wir unsere Gliedmaassen, biegen, strecken und drehen sie, wie uns gerade der Wille steht. Das Fleisch bewirkt also in diesem Falle einen unserer Willkühr unterworfenen Bewegungsvorgang. Zum Unterschiede von anderen Bewegungen in unserem Körper, welche ohne unseren Willen und unabhängig von ihm geschehen, bezeichnet man die dem Willen unterworfenen als »willkührliche Bewegungen.«

Das Schlagen des Herzens, die Zusammenziehung der Iris im Auge und der Eingeweide bieten Beispiele einiger, von dem Willen nicht abhängiger Bewegungen. Zuweilen ist auch dabei Fleisch gewöhnlicher Art Träger des Vorgangs (so im Herzen), meistens übernehmen weisslich gefärbte Häute, welche aus sogenannten organischen Fleischfasern bestehen, diese Function. Ein Beispiel solcher Bildungen ist die Darmhaut.

Beide Arten von Bewegungsorganen stehen durch besondere Fäden, die Nerven, mit dem Gehirn und Rückenmark in Verbindung. Diejenigen Fleischtheile, welche der willkürlichen Bewegung dienen, müssen direct mit dem Organ unseres Willens im Gehirn mit Hülfe von Nerven in Verbindung getreten sein, bei dem Herzen, der Iris und anderen unwillkürlich bewegten Theilen hat sich die letztere Verbindung nicht ausgebildet.

In dem vorhergehenden Vortrage ward erwähnt, dass jede unserer Bewegungen, es ward das Aufziehen einer Uhr angeführt, indirect von den Bewegungsstößen herrühre, welche die Sonne der Erde in der Form von Licht und Wärme zusendet. Sehr leicht ist einzusehen, dass die Erhaltung unseres Lebens nur mit Hülfe der Sonne möglich ist, denn die Nahrungsmittel, von welchen wir oder unsere Schlachtthiere leben, wachsen nur mit Hülfe der Sonnenstrahlen. Dass aber unsere Bewegungen auf die Sonnenkräfte zurückzuführen sind, dürfte weniger leicht zu verstehen sein. Ein genaueres Studium des Vorgangs der willkürlichen Bewegung wird uns dem Verständniss dieser Beziehungen näher bringen. Wir wollen damit beginnen, das vorhin über den Sitz der Kraft, welche die Bewegung bewirkt, Gesagte, durch Versuche selbst herauszufinden.

Es steht hier ein Präparat der Art, wie es zu Tausenden auf den Märkten Frankreichs und des südlichen Deutschlands für die Zwecke der Küche feil geboten wird, dasselbe Präparat, durch welches Galvani die Entdeckung des Galvanismus anbahnte, nemlich die enthäuteten Schenkel eines Frosches, welche von dem Vordertheil des soeben getödteten Thieres abgetrennt worden sind. Das Präparat (Fig. 1) ist auf einem metallischen Dorn in der Weise befestigt, dass die Füße dicht am Kopfe des Thieres liegen würden, wenn derselbe noch an dem Präparat gelassen wäre, eine solche Stellung kann das Bein nur einnehmen, wenn es vollkommen schlaff hängt, die geringste Anspannung giebt sich dann durch Hebung der Gliedmassen zu erkennen. Um die Bewegungen deutlicher zu machen, ist etwas Goldpapier an den Fusspitzen befestigt.

Wenn man diesen Schenkeln die Pole einer galvanischen Säule anlegt, so machen sie eine Bewegung, dasselbe geschieht, wenn man

die Pole wieder fortnimmt, es ist also das Entstehen und Vergehen eines galvanischen Stromes ein Reizmittel, mit dessen Hülfe wir noch an dem vom Thier entfernten Gliede Bewegung hervorrufen können. Da die Pole direct an die Schenkel gelegt wurden, kann man bei dieser Art des Versuches nicht die Ueberzeugung gewinnen, dass die Erschütterung durch die Berührung keine Rolle spiele, es ist daher richtig, den Versuch in anderer Form zu machen. Durch einen Inductionsapparat wird der Schluss und die Unterbrechung eines galvanischen Stroms in rascher Folge gesichert, man hört durch den ganzen Saal das Geräusch, welches unser kleiner Apparat macht, indem er zwei Metallplatten gegen einander stossen lässt und dadurch jedesmal den Strom schliesst. Mit diesem Apparat führt man besonders gut den thierischen Theilen die reizenden Ströme zu. Ich verbinde den einen Pol mit dem metallischen Dorn, den zweiten Pol befestige ich derart, dass ich ihn durch das Hinunterdrücken bestimmter Tasten mit bestimmten Theilen der Beine in Verbindung setzen kann. Die Einrichtung ist so getroffen, dass die galvanischen Ströme statt an verschiedene Theile des Beins zu gehen, an die verschiedenen Nerven, welche in das Bein eintreten, geleitet werden. Der Erfolg ist derselbe, als wenn die Ströme in das Bein selber eintreten, aber es wird bei dem eingeschlagenen Verfahren nicht nöthig, die Dräthe an das Fleisch zu hängen, wodurch die Bewegung des Beins zu sehr gehemmt werden würde. Werden nun die Tasten niedergedrückt, so erheben sich sogleich beide Schenkel grade nach oben, werden die Tasten gewechselt, so hebt sich bald das eine, bald das andere Bein, sie stellen sich horizontal oder senkrecht abwechselnd oder zusammen, je nachdem der Strom ihnen zugeführt wird und sie vollführen alle diese Bewegungen in demselben Rhythmus, in welchem ich die Tasten bewege. Da in diesem Versuch der übrige Körper des Thieres entfernt war und dennoch die Schenkel vielerlei Art Bewegungen ausführten, so müssen wir schliessen, dass in den Beinen selbst der Sitz ihres Bewegungsorgans ist. Man könnte einwenden wollen, dass doch vielleicht der benutzte galvanische Strom das Bein bewegt habe, jedoch dieser vermag nicht in jedem beliebigen thierischen Theil Bewegungen zu erzeugen, sondern nur im lebendigen Fleisch, und hier wirkt er nur als Reiz und kann durch die einfachsten Mittel, z. B. dadurch, dass ich den Nerven mit der Pincette kneife oder schlage, ersetzt werden.

Das Bein ist ein zusammengesetzter Apparat, es besteht aus Fleisch, Knochen und Knorpeln, sowie Sehnen, Adern und Nerven. Aus dem einen Beine eines zweiten Präparats sind alle Knochen entfernt worden, nur kleine Stücke, die des Zusammenhangs wegen erhalten werden mussten, sind noch darin geblieben. Auch die Gefässe

und die Nerven hätten der Hauptsache nach entfernt werden können, ohne den Versuch wesentlich abzuändern. Wenn dies Bein gereizt wird, macht es noch Bewegungen, jedoch diese haben eine andere Form angenommen, der Fuss wird an den Rumpf herangezogen, der ganze Schenkel wird kürzer, aber von den energischen Streckbewegungen und den Schwenkungen, welche das zweite Bein mit unverletzten Knochen zeigt, ist keine Rede. Dieser Versuch kann beweisen, dass in den Knochen der Sitz der Bewegungsorgane nicht zu suchen ist. Führt man in der angedeuteten Weise fort, das Bein zu zergliedern, so zeigt sich, dass auch die Sehnen nicht die Fähigkeit haben, sich zusammenzuziehen, dass dagegen selbst das kleinste Stück Fleisch, welches ausgeschnitten wird, sich auf Reiz bewegt, dass also wie gesagt wurde, wirklich das Fleisch das Organ der Bewegung in den betreffenden Theilen ist.

Wollen wir uns nun einem genaueren Studium der Wirkungsart des betreffenden Organes zuwenden!

Ein knochenloses Bein ist aufgehängt und an einem kleinen Windelbaum befestigt. (S. Fig. 2). Die kleine Winde trägt mit Hülfe eines um sie geschlungenen Fadens und einer an der Decke befestigten Rolle einen Pfeil. An ihrem Ende ist ein Zahnrad befestigt, an welchem einerseits ein Haken eingreift, der an einem, dem Bein angehängten, Hebel befestigt ist und gestattet, dass die Winde sich dreht, wenn das Bein sich verkürzt, andererseits ein Sperrhaken (in der Fig. nicht sichtbar) angebracht ist, welcher die rückläufige Bewegung der Winde hemmt. Sobald durch das Niederdrücken eines Telegraphenschlüssels die Verbindung des Beins mit dem Inductionsapparat hergestellt wird, verkürzt sich das Bein, die Winde dreht sich und der Pfeil wird in die Höhe gezogen, jedesmal, wenn ich den Schlüssel niederdrücke, wiederholt sich diese Hebung; da sich der Pfeil dabei um etwa ein Decimeter hebt, steht er bald einen Meter über dem Fussboden. Es ist nicht nöthig, dass ich selbst jedesmal eine Bewegung mache, damit das Bein zucken soll; wenn der Schlüssel dauernd niedergedrückt wird, arbeitet der Schenkel fortwährend und der Pfeil wird rasch bis zur Decke hinaufgewunden. Hierbei wird die Thätigkeit des Schenkels periodisch, es folgen sich in regelmässigen Abständen Verkürzung und Verlängerung des Beins. Diese Form der Bewegung wird dadurch zu Stande gebracht, dass der Schenkel selber die Oeffnung und Schliessung der Bahn, welche ihm den Reiz zuführt, übernimmt. Es ist die Leitung so eingerichtet, dass eine Verbindung der Leitungsdräthe nur dann stattfindet, wenn der Schenkel gestreckt ist und unterbrochen bleibt, so lange er sich in verkürztem Zustande befindet. Die Folge ist, dass jedesmal nach Vollendung einer Zuckung, gerade wenn der Ruhepunkt

eingetreten ist, eine neue Reizung erfolgt. Interessant war es mir bei dieser Art Versuch zu finden, dass der abgelöste Schenkel etwa ebenso rasch zuckt, wie ein eiliger Frosch zu springen pflegt.

Auf diese Weise ist der Pfeil etwa 4 Meter gehoben worden und dadurch hat das Bein vor unseren Augen eine Arbeit geleistet. Je schwerer der Pfeil ist und je höher er gehoben ward, desto grösser ist die geschlehene Arbeit. Während der Pfeil sich bewegte, strengte der Muskel seine Kräfte an, jetzt ist Ruhe eingetreten und die Arbeit ist vollendet. Fragen wir uns nun, ob diese Kräfteanstrengungen oder richtiger ob die Kraft, welche hier in Wirksamkeit trat, verschwunden ist oder wo sie blieb? Wenn das grosse Naturgesetz von der Erhaltung der Kraft allgemeine Gültigkeit hat, kann die Kraft nicht verloren gegangen sein und die Untersuchung muss ergeben, wo sie blieb. Während der Thätigkeit des Schenkels hat die Kraft ihren Ort gewechselt und eine neue Form angenommen, denn sie befindet sich jetzt (so weit sie nicht durch Reibung und Stoss zu Wärme ward) im Pfeil. Ich lasse ihn durch Lösung der Sperrhacken herunter gleiten, er treibt seine Spitze tief in den Fussboden. Dies konnte nur mit Hülfe der Kraft, welche ihm überkommen ist, geschehen, denn wenn er einfach auf dem Boden ruht, dringt die Spitze nicht ein. Man kann also sagen, dass die Kraft, welche der Pfeil soeben entwickelte, vom Beine her stammt, es bleibt aber nachzuweisen, dass sie letzterem verloren gegangen sei. Dieser Nachweis wird durch eine Fortsetzung unseres Experiments zu führen sein.

Das Bein wird wieder zu Zuckungen angeregt, es zieht an dem im Fussboden haftenden Pfeil, die Schnur spannt sich, wir hören fortwährend das Geräusch, welches das arbeitende Glied an dem kleinen Apparat macht, aber der Pfeil sitzt zu fest im Boden, er wird nicht herausgezogen. Ich bitte Herrn Dr. Behrens, der so freundlich ist, mir bei diesen Versuchen zu assistiren, den Pfeil aus dem Boden zu ziehen und jetzt vermag der Schenkel von Neuem den Pfeil aufzuwinden, aber — das geschieht viel langsamer, in kleineren Stössen — der Pfeil bleibt bald ganz stehen und schwankt nur noch auf und ab, in 5 Minuten wird jede Bewegung aufgehört haben. Es ist klar, dass dem Schenkel die Fähigkeit, sich auf den ihn in immer gleicher Weise treffenden Reiz, zusammenzuziehen, jetzt verloren gegangen ist. Man könnte noch durch besondere Methoden weitere Kraftäusserungen erzwingen, aber dies ändert an der Thatsache des stattgehabten Verlustes nichts. Füge ich hinzu, dass nach durchstehender Erfahrung ein solches Präparat noch viele Stunden hätte hängen können, ohne von seiner Fähigkeit Arbeit zu leisten, merklich einzubüssen, wenn es nur in Ruhe gelassen worden wäre, so ist der Satz, dass die Kräfte,

welche der Pfeil gewonnen hatte, von dem Froschschenkel verloren worden sind, wohl genügend wahrscheinlich gemacht.

Die Kraft also, welche dem Pfeil übertragen worden ist, ging dem Bein auf immer verloren; wir wollen ihr Schicksal etwas weiter verfolgen. Der Pfeil flog auf den Boden und hat damit seinerseits die ihm übertragene Kraft abgegeben. Er hat dadurch Holzfasern auseinandergetrieben und durch Reibung Wärme im Fussboden erzeugt. Die Holzfasern haben elastische Spannung gewonnen, welche sich dadurch zeigte, dass der Pfeil festgehalten wurde, und nicht von dem Schenkel wieder herausgezogen werden konnte. Als endlich der Pfeil herausgezogen ward, schloss sich das gemachte Loch und durch die Reibung beim Herausziehen entstand von Neuem Wärme, welche sich nun im Boden und in Saal verbreitet und schliesslich ins Weltall ausstrahlt. So hat sich die Kraft des thierischen Körpers, abgesehen von etwa in den Axen der Maschine abgeriebenen Metalltheilen, von der entstandenen Luftbewegung und der Zerreissung von Holzfasern, schliesslich in Wärme verwandelt.

Es wird vielleicht auffallen, dass der Froschschenkel den Pfeil zwar in den Boden mit Hülfe unserer Maschine treiben konnte, ihn aber nicht herauszuziehen vermochte. Es handelte sich, wird man denken, ja doch nur um ein und dieselbe Kraft! Es kommt jedoch gar nicht auf die Quelle der Kraft an, sondern nur darauf, wie viel Kraft in gewisser Zeit hervorsprudelte. Man kann erst die Kräfte in ihrer Wirksamkeit mit einander vergleichen und sie messen, wenn die Zeit berücksichtigt wird. Die Kraftmenge, welche abgegeben wird, ergibt sich aus der Leistung, hier der Hubhöhe eines Gewichts, und der Zeit, welche diese Leistung erforderte. Die Zeit, während welcher das Bein arbeitete, ist der Zeitraum, während dessen es sich zusammenzog, es zog sich etwa 25 Mal zusammen, um den Pfeil auf 4 Meter zu bringen, natürlich kann es nicht durch eine Zusammenziehung, also durch $\frac{1}{25}$ der Kraft den eingetriebenen Pfeil wieder herausziehen. Erst eine Einrichtung, welche mehrere Zusammenziehungen zu addiren vermag, würde dem Schenkel diese Wirkung gestatten. Ohne solche Einrichtung überträgt sich die Arbeit des Beins auf andere Körper, nicht auf die Hebung des Gewichts.

Bei diesen Versuchen hatten wir die Wirkung des Fleisches in seiner einfachsten Gestalt. Sie besteht nur darin, dass dasselbe sich, wenn es gereizt wird, in seiner Form ändert, es verdickt sich in der einen Richtung und verkürzt sich in der anderen. Dabei ist die Verkürzung diejenige Thätigkeit, welche zur Hervorbringung der Bewegung in Anspruch genommen wird. Die Verdickung wird niemals für den Mechanismus der willkürlichen Bewegung ausgebeutet.

Die Eigenschaft unseres Fleisches, dass es sich in bestimmter Weise verkürzen kann, wird benutzt um alle, selbst die verwickeltesten Bewegungen hervorzubringen. Dies vermitteln die Sehnen, Knochen und Gelenke. Wäre beispielsweise meine Hand nicht durch die Knochen des Unterarms von dem Oberarm getrennt, so würden die Fleischmassen, welche durch die Hülfe von Sehnen mit dem einen Ende am Oberarm, mit anderen an der Hand befestigt sind, diese bei der Verkürzung des Fleisches an den Oberarm heranziehen. Das geschieht nicht, weil die Unterarmknochen die Hand vom Oberarm fernhalten. Jedoch weil die Hand beweglich am Unterarm festsitzt, kann sie doch etwas dem Oberarm genähert werden. Verschiedene Orte der Hand werden durch Fleischparthien mit dem Oberarm verbunden, jede einzelne wirkt bei ihrer Zusammenziehung dahin, den Theil der Hand, an welchem sie festsitzt, dem Oberarm zu nähern, denn sonst würde sie nicht kürzer werden können. Da aber die Hand ein ziemlich fest verbundenes Ganze bildet, folgt sie dem jedesmaligen Zuge und nähert sich dabei bald auf diese bald auf jene Weise dem Oberarm. Die Fleischparthien, welche sich am Rücken der Hand festsetzen, biegen dieselben rückwärts zum Oberarm, die am Handteller festsitzenden biegen sie vorwärts, die der Daumenseite daumenwärts, die der Kleinfingerseite dorthin. Auf solche Weise wird der immer identische Verkürzungsvorgang des Fleisches für die mannigfaltigsten Bewegungen dienstbar gemacht, freilich oft unter grosser Herabsetzung der äusseren Arbeitsleistung.

Der Bewegungsvorgang dürfte wohl nach dem Gesagten im Ganzen und Grossen verständlich sein, nur ist nicht zu vergessen, dass seine Grundursache, der Vorgang der Verkürzung, einer näheren Würdigung sehr bedarf.

Was ist, fragen wir zunächst, denn eigentlich das Fleisch?

Es herrscht in der Laienwelt über diesen Begriff eine ebenso unnöthige, als die physische Selbstkenntniss störende Verwirrung. Jedermann weiss an den geschlachteten Thieren das Fleisch zu erkennen, an sich selber verwechselt jeder Laie fortwährend die Haut mit dem Fleische. Wenn man sich in den Finger schneidet und er blutet, heisst es gleich, man habe sich ins Fleisch geschnitten und doch ist an den Fingern überhaupt kein Fleisch vorhanden. Die Verwechslung hat ihren Grund in der rothen Farbe der Hautwunden, die an diejenige des Fleisches erinnert; auch tragen unsere Aerzte mit die Schuld daran, wenn sie die Wucherung der Haut dem Laien als wildes Fleisch bezeichnen.

Wirkliches Fleisch ist z. B. der dicke Ballen am Daumen unter der Haut, dessen Dickerwerden wir fühlen, wenn wir den Daumen anziehen

und den man mit dem Namen Maus bezeichnet. Nachdem gefunden war, dass alles Fleisch eigentlich aus solchen kleineren und grösseren Ballen bestehe, bürgerte sich allmählig für alles Fleisch der Name »die Mäuslein«, lateinisch »Musculi« ein. Dieser Name schliesst jedenfalls Verwechslungen aus und daher gebrauchte Jeder, der ein wenig vom Mechanismus des Körpers kennt, für Fleisch gerne den Namen Muskeln. Auch wir wollen uns fortan dieses Ausdrucks bedienen.

Jeder einzelne Muskel steht durch Nerven mit dem Gehirn in Verbindung und zieht sich zusammen, wenn ein Willensimpuls auf seine Nerven wirkt. Wir haben als Kinder in unseren ersten Lebensjahren durch eine lange Reihe von Erfahrungen gelernt, diese Bahnen richtig zu benutzen und diese Erfahrungen machen es uns möglich, zweckmässige Bewegungen auszuführen ohne von dem bewegenden Organ irgend etwas zu wissen. Wenn wir nun dennoch etwas Genaueres darüber erfahren wollen, wird es nöthig das Organ eingehender zu betrachten. Man sieht bei einfacher Beachtung eines gekochten Fleischstückes, dass der Muskel keine gleichartige Masse ist, sondern aus Fasern besteht. Diese Fasern verlaufen alle in derjenigen Richtung, in welcher der Muskel sich zusammenziehen kann, es ist ihre Verkürzung, welche die Bewegung bewirkt. Die Fasern liegen in Abtheilungen zu ziemlich dicken Strängen vereint, Abtheilungen welche man, die grösseren: tertiäre, die kleineren: secundäre Bündel benannt hat. Die Fasern von denen ich sprach und welche man leicht mit blossem Auge erkennt, heissen primäre Bündel, sie erweisen sich, wenn man mit der Loupe oder dem Mikroskop untersucht, noch wieder zusammengesetzt aus sehr dünnen spinnwebfeinen Fäden, welche in derselben Richtung verlaufen, in welcher auch die dickeren Fasern sich verfolgen lassen. Diese letzteren feinen Fädchen sind erst das wahre Element des Fleisches, denn jedes von ihnen besitzt noch alle die Eigenschaften und Fähigkeiten, welche dem ganzen Muskel innewohnen, nur ist die Kraft eines solchen Fädchens in einem ihrer Dicke entsprechenden Verhältniss geringer, wie die des ganzen Muskels. Diese Fädchen bezeichnen wir als Muskelprimitivfasern, sie sind von verhältnissmässig grosser Länge und hängen an ihren Enden mit der Muskelsehne fest zusammen.

Ein Primitivbündel mit seiner Sehne und eine Muskelfaser habe ich hier vergrössert dargestellt (Fig. 3). Selbst diese feinen Muskelprimitivfasern sind keine gleichmässige Masse, sondern sie enthalten eine Fülle zartester Architektonik. Ihre Substanz ist in frischem Zustand äusserst weich sie wird aber durch eine starke, sehr zarte Hüllhaut, das Sarkolemma, gestützt und umgeben. Die Masse der Faser besteht aus einer sehr grossen Anzahl von Scheiben, welche zweierlei Art sind, die einen sind dünner, klarer und weicher (Fig. 4a), die anderen dicker,

dichter und fester Natur (Fig. 4b). Diese Scheiben sind abwechselnd aneinander gelegt; dünne Scheibe, dicke Scheibe, dünne Scheibe u. s. w., wie Geld in einer Geldrolle. Dies Verhalten giebt der Faser ein regelmässig gestreiftes Ansehen, so dass man diese Muskeln mit dem Namen »quergestreifte« von anderen contractionsfähigen Fädchen unseres Körpers, die den Namen »glatte« Muskeln erhalten haben, unterscheiden konnte. Alle unsere willkürlichen Muskeln sind quergestreift.

Auch nach Längsrichtung der Fasern ist eine Struktur bemerkbar. Es finden sich kleine Abtheilungen in der Faser, die sie in Säulen sondern und diese lassen sich wieder in äusserst feine Fäserchen, die man als Fibrillen bezeichnet, zerlegen.

Damit ist unsere Kenntniss vom Bau der Primitivfaser noch nicht erschöpft. Es existiren noch eine Reihe zarter, regelmässiger Strukturverhältnisse, auch ist es unzweifelhaft, dass unsere optischen Hilfsmittel noch nicht ausreichen, diesen wunderbaren Bau völlig zu überschauen. Ich breche jedoch davon ab, bemerkend, dass Niemand von denen, welche selbst mit dem Mikroskop diesen Bau studiren, ohne Staunen und Bewunderung die Feinheit sieht, mit welcher die Naturgesetze hier arbeiten, um den für unsere Bewegungen nothwendigen Bau aufzuführen.

Die Leistungen dieses wunderbaren Organes zu untersuchen ist eine Aufgabe der Physiologie. - Der Zweck, den sie dabei verfolgt, ist, den Nachweis über die Art zu geben, wie die willkürliche Bewegung von den grossen allgemein gültigen Bewegungsgesetzen der Natur hervorgerufen und beherrscht wird.

Um zunächst genauer zu erfahren, wie der Muskel sich bewegt, ihn also mit anderen bewegenden Körpern vergleichen zu können, hat man verschiedene Wege eingeschlagen, die jedoch alle auf ein zeitmessendes Verfahren hinauslaufen. Wir müssen zu erfahren suchen, ob die Bewegung in gleichen Zeiten gleich gross ist, also gleichmässig verläuft, oder ob sie ungleichmässig, also in einem Zeittheilchen rascher wie in dem anderen, und in welcher Weise sie ungleichmässig ist. Wir wollen folgendes Prinzip für die Veranschaulichung der Muskelbewegung benutzen. Wenn ich auf die Linse des Pendels einer Uhr ein Blatt berusstes Papier befestige, so dass dasselbe die Schwingungen des Pendels mitmacht und dann mit der Fahne einer Feder in grader Richtung einen Strich von oben nach unten ziehe, so wird der Strich nicht grade, sondern zickzackförmig. Das Pendel schiebt nämlich das Papier während ich die Linie darauf ziehe hin und her. Eine so geformte Linie lässt sich allerdings auch ohne die Hülfe des Pendels herstellen, aber dabei ist doch ein sehr beachtenswerther Unterschied. Im ersteren Falle ist nämlich die Schnelligkeit meiner Bewegung gemessen, im zweiten Falle ist eine Messung ganz unmöglich. Macht

das Pendel seinen Hin- und Hergang in einer Sekunde, so hat jede volle Zacke der Linie zu ihrer Vollendung dieselbe Zeit gebraucht und das Ziehen der Linie hat soviel volle Secunden gedauert, wie volle Zacken auf dem Papier sind. Ferner wird sich die Federfahne da, wo die Zacken dichter aneinander liegen, langsamer abwärts bewegt haben müssen als da, wo sie weit von einander gerückt sind; v. Fig. 5. Es wird hier also durch eine Bewegung, deren Schnelligkeit wir kennen, eine andere uns unbekannt in Bezug auf ihre Geschwindigkeit gemessen.

Für den Muskel soll ebenso verfahren werden, nur wird statt des Pendels eine platte Feder (ein Sägeblatt), welche durch einen Elektromagneten hin und herschwingend gemacht wird, angewandt. Ferner soll der Muskel nicht auf einer berussten Platte schreiben, sondern wir wollen seine und die Bewegung der Feder mit Hülfe zweier Spiegel auf die Wand werfen. Ich möchte die Einzelheiten des dazu nöthigen Apparates nicht auseinander setzen. Dass man unter Anwendung von Spiegeln mit dem Lichte ebensowohl Figuren auf der Wand entwerfen kann, wie mit einem Schreibstifte, ist leicht zu verstehen. Man kann ja das Licht, z. B. der Sonne, durch entsprechende Neigung eines Spiegels an jeden Ort hinwerfen, kann also auch, freilich gleich wieder verschwindende, Figuren, z. B. ein Zickzack auf diese Art auf eine Wand schreiben. Letzteres kann geschehen durch complicirte Bewegung eines Spiegels, aber auch durch zwei Spiegel, von denen der eine dem andern das Licht hinwirft. Dreht sich der eine nach aufwärts, während der andere hin und hergedreht wird, so wird die vereinte Bewegung beider das auf die Wand fallende Licht in einer Zickzacklinie bewegen. Der Muskel hat den Lichtfleck, welchen wir sogleich sehen werden, aufwärts zu bewegen, während die Feder ihn hin und her werfen soll.

Da wir eine elektrische Lampe noch nicht besitzen, zu der, im Interesse dieser lernlustigen Zuhörerschaft, unsere Vorlesungen erst verhelfen sollen, wird es nöthig, uns der schwächeren und ziemlich misslichen Beleuchtung durch Magnesiumlicht zu bedienen.

Es ist mit Hülfe einer Linse das Magnesiumlicht auf einen weissen Schirm projicirt und liegt dort in Gestalt eines glänzenden bläulichen Flecks, die Feder wird in Bewegung gesetzt und breitet den Fleck zu einer Linie aus, jetzt reize ich den Muskel und das Licht fliegt, eine Zickzackcurve beschreibend, über den Schirm hin bis zur Decke hinauf. Im Anfange liegt wie bei der Wiederholung des Versuches vielleicht zu erkennen ist, die Zacke dicht über der ursprünglichen von der schwingenden Feder allein hervorgebrachten Linie, dann heben sich die folgende und die dritte bedeutend, während die späteren wieder mehr horizontal verlaufen.

Das ganze verläuft nur so kurze Zeit, dass es nicht leicht ist, die Bewegung, selbst bei öfterer Wiederholung, recht scharf zu erfassen. Man erhält dabei ein Bild von der Kürze einer zehntel Sekunde, denn länger dauerte die Bewegung nicht.

Um das Bild zu fixiren, kann man den Muskel direct auf einen regelmässig pendulirenden Apparat, z. B. eine Stimmgabel durch seine Zusammenziehung eine Linie schreiben lassen. Man erhält dann ein gezeichnetes Bild derselben Art, wie wir es so eben sahen, nur in sehr verkleinertem Maassstabe. Die Fig. 5 zeigt eine solche Linie, vergrössert dargestellt, welche auf eine Stimmgabel, die 100 Mal in der Secunde hin und herschwang, vom Muskel gezeichnet worden ist. Wir wollen diese Figur etwas näher betrachten.

Der Muskel ward in demselben Augenblick gereizt, in welchem er anfang zu schreiben, der Schreibstift hat aber erst nach einem Hingang der Gabel, das ist nach $\frac{1}{200}$ Secunden sich gehoben, denn bis dahin läuft die Linie horizontal, der Muskel bleibt also eine kurze Zeit nach der Reizung noch vollkommen in Ruhe.

Dies Verhalten beobachtet man immer wieder und der Zeitabschnitt der Ruhe nach der Reizung variirt unter normalen Verhältnissen nur sehr wenig. Diese einfache Thatsache nähert uns dem Verständniss der Muskelthätigkeit bedeutend, denn dadurch wird sie vergleichbar mit physikalischen und chemischen Vorgängen bestimmter Art. Eisen, welches durch den galvanischen Strom magnetisirt wird, braucht Zeit, ehe es eine ihm übertragene Arbeit, z. B. das Anziehen eines Eisenstückes beginnen kann. Das Pulver in einem Gewehrlauf setzt nicht momentan nach der Berührung durch Feuer die Kugel in Bewegung, sondern erst nach einiger Zeit. Vorerst muss sich die Pulvermasse erstens erwärmen und zweitens zersetzen, um die für das Ausstreuen der Kugel nothwendige Spannung zu bewirken. Die Spannung, einmal entstanden, wächst durch Entzündung immer neuer Pulverkörner ausserordentlich rasch an, so dass die Geschwindigkeit, mit welcher die Kugel aus dem Lauf fliegt, sehr gegen die Geschwindigkeit, mit welcher die Spannung im Laufe wächst, zurückbleibt. In einem Moment ist sie vielleicht im Stande, 100 Pfund zu heben, in dem zweiten 1000, im dritten würde sie schon den Lauf zersprengen, wenn die Kugel nicht weichen wollte. Daher fliegt die Kugel nur unmerklich später heraus, wenn sie sehr fest sass, als wenn sie locker liegt, aber ihre Wucht wird grösser, je höhere Spannung zu ihrer Bewegung erforderlich war.

Aehnliches hat sich auch für den Muskel ergeben. Wenn man ihn reizt, aber einige hundertstel Sekunden festhält und dann ihn loslässt, schleudert er ein angehängtes Gewicht mit viel grösserer Kraft in die Höhe, als wenn es ihm gestattet wird, sich gleich zu bewegen.

Die Aehnlichkeit der Contraction mit gewissen Vorgängen in der unbelebten Natur ist deutlich, alle erfordern Zeit und sind unseren Messungen unterworfen, daraus schliessen wir, für diese wie für jene, dass die allgemeinen Gesetze sie beherrschen. Ohne dies würden unsere Messinstrumente keinen Erfolg haben dürfen, denn das Einzige, was ausserhalb der Naturgesetze liegende Vorgänge charakterisiren könnte, würde sein, dass sie incommensurabel, dass sie der naturwissenschaftlichen Messung nicht zugänglich sein müssen.

Kehren wir zur Betrachtung der Curve zurück: Die Bewegung selbst dauerte in diesem Falle, wie sich aus der Zahl der vollen Zacken ergibt, $\frac{8}{100}$ Secunden. Wie man deutlich erkennt, hebt sich der Muskel zuerst langsam, in der zweiten und dritten hundertstel Secunde wird die Bewegung rascher, denn die Abstände der einzelnen Schwingungen nehmen zu, darauf werden die Abstände wieder geringer, bis zuletzt der Muskel nicht mehr höher hebt. Es liegt hier also der Fall vor, dass zuerst eine beschleunigte Bewegung entsteht, die ein grösstes Maass erreicht, um alsdann in eine verzögerte Bewegung überzugehen. Für die letztere ergibt die Messung, dass es nur eine einfache Wurfbewegung ist, wenn nemlich der Schreibstift auf irgend eine Weise mit entsprechender Geschwindigkeit in die Höhe geworfen wird, schreibt er genau ebenso. Solche Wurfbewegung hängt nur ab von der Masse des Apparats und der Erdanziehung; durch jede Kraft, die mehr mitwirkt, ändert sich die Bewegung, da hier keine Abänderung sich zeigt, hat der Muskel auf den Schreibstift keinen Einfluss mehr gehabt. Der Anfangstheil unserer Curve, also der Theil, in welchem die Bewegung an Schnelligkeit zunimmt, ist das eigentlich Charakteristische für die Bewegungsform. Es ist nicht gelungen, eine andere Bewegungsart aufzufinden, welche sich vollständig mit der vorliegenden vergleichen liesse. Man denkt in der Physiologie zunächst an eine Vergleichung mit einer durch elastische Kräfte hervorgerufenen Bewegung. Wir wollen in dieser Beziehung noch ein Experiment anstellen.

Nachdem wir die Zeit kennen gelernt haben, welche der Muskel zu seiner Zusammenziehung braucht, ist es nicht schwierig, denselben ebenso in Schwingung zu versetzen wie eine Feder. Der Muskel brauchte $\frac{2}{25}$ Secunden zu seiner Verkürzung, rechnen wir dieselbe Zeit zu seiner Verlängerung, so würde er 6 Mal in der Secunde zu reizen sein, um in fortdauernder Schwingung zu bleiben. Diese Schwingung können wir dann mit derjenigen der Feder vergleichen. Ich lasse die Feder nun schwingen, jedoch etwas langsamer, weil der Muskel bald träge wird, bei dem Ende jeder Schwingung hört man einen Schlag, dies ist der Augenblick, wo die Feder einen Platindrath

berührt und damit zugleich dem galvanischen Strom gestattet, den Muskel zu durchfliegen.

Jetzt stelle ich alle Verbindungen her, der Muskel dreht den ihm angehängten Spiegel auf und ab und nachdem im Anfang die Figuren etwas wirr durcheinander gingen, sahen wir eine leuchtende etwas ringförmige Figur auf dem Schirme stehen. Obgleich Muskel und Feder sich immerfort bewegen, steht doch die Figur fast ruhig, weil der Lichtfleck gezwungen ist, immer dieselbe Bahn rasch zu durchlaufen.

Die Figur (Fig. 6) sieht aus wie ein unregelmässig aufgetriebenes Brod und ist ziemlich unsymmetrisch. Wenn man nach dem Vorgange Lissajous statt dem Muskel einer zweiten Feder die Spiegel-drehung überträgt, so entsteht eine völlig regelmässige Ellipse, die sich halb umdrehen lässt, ohne anders aussehend zu werden. Diese Eigenschaft der Symmetrie und Umdrehbarkeit hat unsere Figur durchaus nicht, daher kann die Muskelbewegung nicht derselben Art sein wie diejenige der schwingenden Feder.

Wir haben so die Vergleichenngen zweier Bewegungen ausgeführt, welche ich Ihnen zu zeigen wünschte, eine Erledigung der aufgeworfenen Frage nach der Art der Muskelbewegung ist aber nicht geglückt. Jedoch bei unserem Versuch lässt sich noch etwas anderes beobachten. Wenn ich die Schläge*), welche den Muskel treffen (durch Verkürzung einer eingeschalteten Flüssigkeitssäule) verstärke, steigt die Curve ohne sich wesentlich zu ändern auf dem Schirm in die Höhe, um dann stehen zu bleiben. Der Muskel hat sich im Ganzen stärker contrahirt und lässt den Spiegel nicht mehr so tief fallen, schwäche ich die Schläge, so sinkt die Figur wieder tiefer, ohne sich sonst zu verändern.

Dies Verhalten ist wiederum ein Hinweis darauf, dass die Bewegung strenge von den auf den Muskel treffenden physikalischen Einflüssen abhängig ist.

Man könnte vielleicht glauben, dass die Bewegungsstösse, welche in Form von galvanischen Strömen das Präparat durchsetzen, mit Hülfe des Muskels ihre Form so ändern, dass eigentlich deren Kraft es wäre, welche den Spiegel hebt. Dies ist jedoch nicht der Fall. Die sehr schwachen und kurzen galvanischen Bewegungen würden nicht entfernt im Stande sein die Arbeit zu leisten, welche die Muskeln ausführten, sondern sie öffnen gleichsam nur mehr oder weniger die Thore, aus denen sich die Massen der im Muskel aufgespeicherten Kräften hervordrängen.

Wir können Einiges darüber aus einem Versuch direct ablesen. Wenn ich einem der früher gebrauchten Froschschänkel (Fig. 1) con-

*) Extrastrom, von dem treibenden Magneten abgeleitet.

tinuirlich die galvanischen Ströme zuführe, richtet er sich auf, steht eine Minute starr, sinkt dann aber langsam tiefer und tiefer hinab. Dies könnte nicht stattfinden, wenn die galvanischen Ströme dem Bein so unmittelbar die bewegende Kraft zuführten, wie dies etwa der wellenerzeugende Wind dem Wasser thut. Die Einwirkung derselben ist also jedenfalls indirect und complicirt, denn das Bein erlahmte, wie unser Arm müde wird und herabsinkt, wenn wir ihn dauernd horizontal ausstrecken, die Kräfte, welche durch den Inductionsapparat zugeführt wurden, blieben dagegen ganz unverändert.

Es handelt sich bei diesem Vorgang nicht um eine Erschöpfung der Kraftquellen des Muskels, wie es wohl den Anschein hat, sondern nur um eine vorübergehende Ermüdung, gleichsam um eine allmählig wachsende Verschlammung der Thore, aus denen die Kräfte des Muskels hervorbrechen. Wir finden, dass das Bein sich rasch wieder erholt hat, nachdem die Reizung aufhörte. Jetzt führe ich von Neuem die Ströme dem Präparat zu und wir sehen, dass es sich steil aufrichtet, an Kraft hat es nicht merklich eingebüsst.

Die Ermüdung ist jedoch nicht etwas Nebensächliches, die Thätigkeit des Muskels begleitendes, sondern eine Pertinenz der Zuckung und stets mit ihr verknüpft. Wie die Reizung der Zuckung vorhergehen muss, so folgt die Ermüdung derselben nach. Sie gehört zu dem Contractionsprocess und stellt das letzte und längste Stadium desselben dar, denn so lange noch die normalen Verhältnisse durch die zurückgebliebenen Spuren, so zu sagen Rauch und Schlacken, gestört sind, ist das Ende des Processes nicht erreicht.

Mit Hülfe dieses letzten Stadiums der Zuckung werden wir auf die chemischen Vorgänge in dem arbeitenden Muskel geführt; durch eine kurze Berücksichtigung dieser werden wir auf unseren Ausgangspunkt, die Sonnenkraft, zurückkommen.

Es ist entdeckt worden, dass die Ermüdung des Muskels durch Stoffe hervorgebracht wird, welche bei der Zusammenziehung in reichlicher Menge in ihm entsehen. Diese Stoffe behindern durch ihr Vorhandensein neue Zusammenziehungen, also auch das Entstehen neuer Körper ihresgleichen. Bringt man diese Substanzen, welche sich aus dem Fleische ausziehen lassen und daher z. B. in der Fleischbrühe sich finden, dadurch in das Innere des Muskels, dass man die Brühe in die Blutgefäße einspritzt, so wird selbst der frischeste Muskel, derjenige des lebenden Thiers, müde, ohne eine Bewegung gemacht zu haben. Verfährt man umgekehrt, wäscht man diese Stoffe aus dem, auf genannte Weise oder auf natürlichem Wege müde gemachten, Muskel aus, so wird er wie ein ganz frischer Muskel, während er ohnedies eine gewisse Zeit gebraucht haben würde, um diese Substanzen

durch weitere chemische Umsetzungen unwirksam zu machen und sich so selbst zu restauriren. Das Blut besorgt in unserem Körper dies Auswaschen und Umwandeln ziemlich prompt, daher bemerken wir die Muskelmüdigkeit nur bei grösseren Anstrengungen.

Diese bei der Zusammenziehung entstehenden Stoffe sind sämmtlich Körper, die als solche nur sehr spärlich genossen werden, dagegen durch theilweise Verbrennung der Nahrungsmittel im Innern entstehen. Die Nahrungsstoffe für die von uns verwandten Muskeln wurden offenbar in denjenigen Gräsern erzeugt, von denen die gebrauchten Frösche sich ihre Nahrung, Schnecken und Raupen, sammelten. Die Kraft der Sonnenstrahlen, welche die Gräser wachsen liess, ging daher in die Bestandtheile der vorliegenden Muskeln über. Es ist kaum ein Zweifel darüber möglich, dass gerade diese, von der Sonne gewonnene Kraft, für die Bewegung wieder dienstbar gemacht wird. Es gehen nämlich die Stoffe, welche mit Hülfe des Lichts und der Wärme durch die Sonne aus Kohlensäure und Ammoniak gebildet wurden, während der Muskel seine Kraft entwickelt, wieder ihrer früheren, einfacheren Form entgegen. Damit hört die Kraft, welche die Stoffe bis dahin in complicirter Form zusammenhielt, auf in ihnen zu existiren. Sie verschwindet uns für einen Moment, aber da wir aus den wiederholt hervorgehobenen Fundamentalgesetzen wissen, dass eine Kraft niemals verloren geht, können wir sie wieder auffinden, denn es wird genügen eine andere physikalische Kraft, daneben plötzlich auftretend, von nicht anderweit nachweisbarem Ursprung, aufzufinden, um zu wissen, dass die fraglichen Sonnenkräfte vorliegen. Diese Kraft zeigte sich uns als Contraction des Muskels.

Wir haben nemlich die Erfahrung gemacht, dass die Muskelthätigkeit in allen den Richtungen, nach welchen wir sie verfolgten, entweder sich als rein physikalischer Bewegungsvorgang erwies oder doch Aussicht gab, sich auf einen solchen zurückführen zu lassen. Auch alles Andere, was überhaupt am Muskel beobachtet worden ist, lässt auf das Spiel ausschliesslich physikalischer Kräfte, zu denen ich die chemischen hinzurechne, schliessen. Thatsachen, welche dem widersprechen, kennen wir nicht. Da keine andere Kraftquelle für die Muskelthätigkeit nachzuweisen ist, als die mit ihr gleichzeitig auftretende Umsetzung der vorhin erwähnten chemischen Stoffe, so zweifeln die Naturforscher nicht daran, dass die Kräfte der Nahrungsmittel es sind, welche als Muskelkraft auftreten. In der That ist die Wahrscheinlichkeit, dass es anders sei, sehr gering. Die genauere Form der in Rede stehenden Kräfteverwandlung ist bis jetzt noch nicht ergründet. Dort an die Wand hat aber der Muskel soeben in lichter Figur geschrieben, wie es sich verhält, wir sollten es nur lesen können! Das ist nun freilich noch

nicht möglich, wie denn überhaupt für die freie Verstandesübung und den Flug der Phantasie die Naturforschung wenig Raum giebt, unser Denken ist hier zu streng an die Beobachtung der Naturerscheinungen gebunden. Dafür muss uns entschädigen, dass das Studium dieser Vorgänge ein ewiger und unerschöpflicher Quell der Bewunderung und der Belehrung ist.

Sind wir einmal durch die neugefundenen Thatsachen belehrt worden, so erscheinen dieselben so selbstverständlich und folgerichtig, so »natürlich«, wie man es auszudrücken liebt, dass sie sich im allgemeinen sehr leicht in unsere anderweiten Naturanschauungen einfügen. Eine richtig erkannte und in uns aufgenommene Thatsache erweitert dann sogleich nach vielen Richtungen unsere Einsicht. Um die uns heute vorliegenden Thatsachen recht eindringlich zu machen und deren Aufnahme zu erleichtern, habe ich die z. Thl. einfachen Experimente vorgeführt. Haben Sie dadurch wirklich neue Kenntnisse des eigenen Körpers erworben, so wird Ihnen sogleich das Verständniss der uns umgebenden Natur erleichtert, und die gangbaren unklaren und unrichtigen Vorstellungen werden nicht mehr so störend wirken können.

Man pflegt den Begriff »Leben« und »willkürliche Bewegung« für identisch zu nehmen, sobald es sich um Thiere handelt. Dies ist, wie leicht genug einzusehen, verkehrt und störend. Sobald sich uns diese Begriffe in bewusster Weise gesondert haben, wird auch der mystische Begriff des Lebens selber, klareren Anschauungen weichen müssen. Wir werden die lebenden Wesen ohne willkürliche Bewegung, vergleichen mit denjenigen, welche dieselbe zeigen. Wir werden finden, dass dem Leben viele tiefgreifende Kraftäusserungen zu Grunde liegen; Säftebewegungen und Strömungen, Entwicklung, Metamorphosen und Wachsthum u. A. m.

Wir erfahren dann, dass Alles, wodurch sich das Leben uns wahrnehmbar macht, Bewegungsvorgänge, mehr oder weniger verwickelter Natur, sind, darunter verhältnissmässig selten willkürliche Bewegung.

Wieder werden sich aus diesen Erfahrungen neue Reihen von Beziehungen ergeben und unsere Wissbegierde anregen; gewonnen haben wir aber dann bereits eine befreundetere Stellung zur lebenden und unbelebten Natur, ja selbst zum Tod und dessen Folgen. Zu gleicher Zeit erfüllen wir mit der Beachtung und Verfolgung der Natur in und um uns eine Pflicht, welche uns durch die Begabung und Beweglichkeit unseres Denkvermögens überkommen ist, die Pflicht, geistig thätig zu sein und unsere Erkenntniss, damit aber auch diejenige der Anderen, namentlich der Jüngeren, der Kinder, stätig zu mehren. Denn auf diese Weise danken wir den vorangegangenen Geschlechtern

V. Hensen: Die willkürliche Bewegung.

Fig. 1.

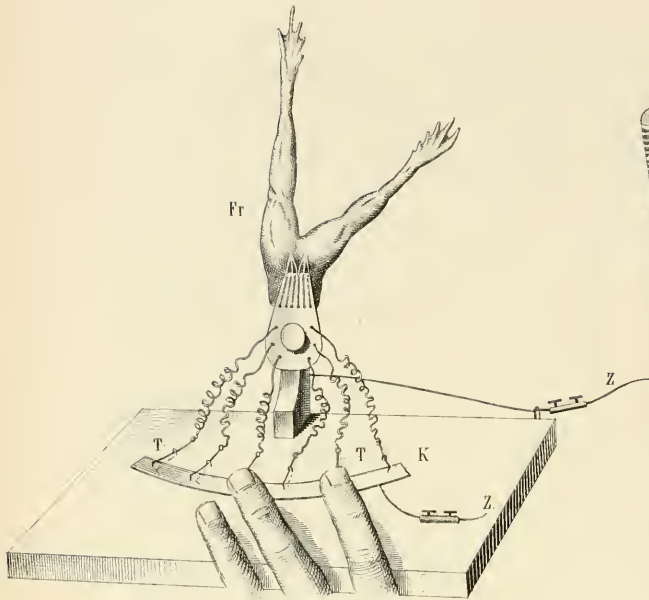


Fig. 3.

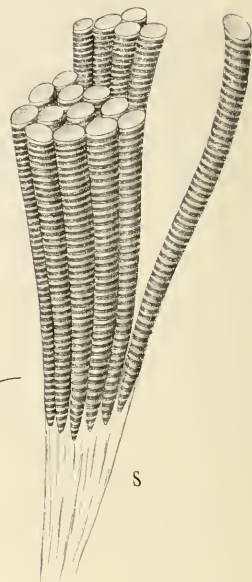


Fig. 5.



Fig. 2.

F

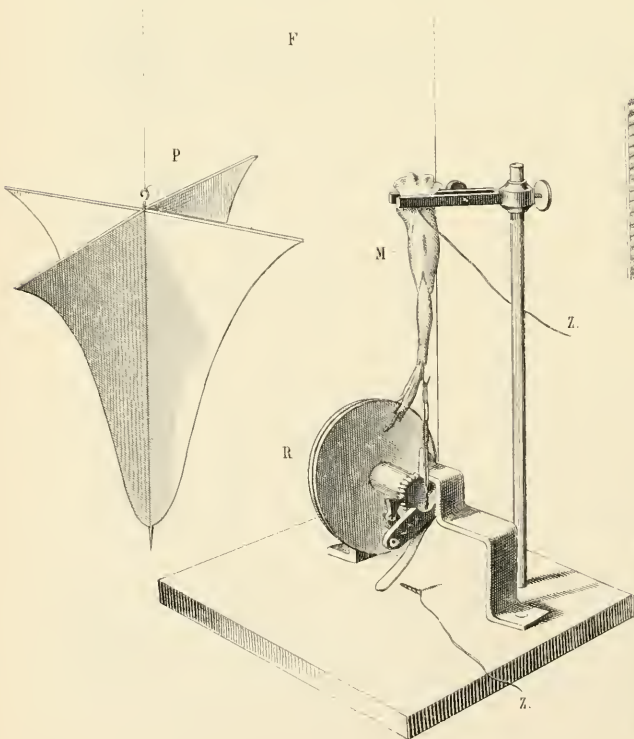
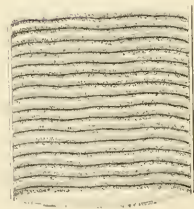


Fig. 4.



a
b

Fig. 6.



für die gewaltige Masse des uns übergebenen Wissens und Könnens, vor Allem aber tragen wir Sorge für die Erhaltung und den Fortschritt derer, die wir verlassen werden und in denen wir doch fortleben, ich meine für die späteren, die kommenden Geschlechter.

Erklärung der Figuren.

Taf. I.

- Fig. 1. Die Schenkel eines Frosches, umgekehrt aufgespiesst. Man sieht von ihm 6 herausgezogene Nervenstränge ausgehen, von denen zwei durch das Niederdrücken der zugehörigen Tasten T gereizt werden. K ein Kupferblech. Z Zuleitungsdrähte des Inductionsapparates, der nicht mit gezeichnet ist.
- Fig. 2. Versuch für die Demonstration der Muskelarbeit. P der Pfeil an einer hier nicht sichtbaren Rolle hängend und mit der drehbaren Walze und Rolle K durch den Faden F in Verbindung gesetzt. M der Muskel, Z die Zuleitungsdrähte.
- Fig. 3. Primitivmuskelbündel mit seinem Sehnenbündel S, 10mal vergrößert. Die Querstreifung ist weit gröber gezeichnet wie sie bei dieser Vergrößerung gesehen wird, da dieselbe doch nicht in entsprechender Feinheit darzustellen wäre.
- Fig. 4. Stück einer Muskelprimitivfaser, 350mal vergrößert, a die Zwischensubstanz, b die Querscheibe.
- Fig. 5. Bewegung des Muskels auf eine Stimmgabel, die 100mal die Secunde schwang, geschrieben. a Augenblick der Reizung, b Beginn der Bewegung.
- Fig. 6. Gestalt der Lichtcurve, welche von dem schwingenden Muskel auf der Wand entworfen ward.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein](#)

Jahr/Year: 1875

Band/Volume: [1](#)

Autor(en)/Author(s): Hensen Victor

Artikel/Article: [VII. Die willkürliche Bewegung. Populärer Vortrag 73-91](#)