

# **Die Arbeit durch Muskelkraft** **in ihrer Entstehung.**

Von

**DR. ALEXANDER ROLLETT.**

Populärer Vortrag, gehalten am 7. April 1862.



Was wir über die inneren Vorgänge in lebenden und arbeitenden Muskeln wissen, verdanken wir zum grössten Theile den Forschungen unseres Zeitalters.

Man findet zwar in mathematischen, technischen, nationalökonomischen Schriften aus viel früherer Zeit ein reiches Materiale über die Auswerthung der Arbeitskräfte des Menschen und der Thiere zusammengetragen.

Ueber die Muskelkraft erfährt man aber daraus wenig mehr, als dass sie die gedachte Ursache der von Menschen und Thieren ausgehenden mechanischen Effecte ist.

Die nutzbare Muskelarbeit hat durch den Tauschwerth, den sie besitzt und auf die unter ihrem Einflusse vielfach veränderten Rohproducte überträgt zu allen Zeiten eine tief eingreifende Rolle in dem wirthschaftlichen Leben der Culturvölker gespielt und als man einmal anfang mit den in der Technik angewendeten Kräften zu rechnen, war es zum praktischen Bedürfniss geworden, die Leistungsfähigkeit eines Menschen oder Thieres bei einem bestimmten Geschäfte und bei einer bestimmten Nahrung in ihrer

Abhängigkeit von der Zeit und der in der Zeiteinheit geleisteten Arbeitsgrösse empirisch festzustellen.

Wenn wir aber nach den inneren Vorgängen bei den Muskelleistungen fragen, können wir von der technischen Verwendung derselben absehen und sie im rein mechanischen Sinne als ein naturgeschichtliches Phänomen im Grossen auffassen.

Die Summe der vorhandenen Muskeln repräsentirt uns dann eine Kraftsumme, niedergelegt in eigenthümlichen Arbeitsorganen, die immer zugleich vorkommen, mit den natürlichen Maschinen, an welchen sie wirken.

Ein kurzer Ueberblick über die Muskelleistungen wird Ihnen diesen Standpunkt vollends klar machen.

Die Muskeln sind zunächst als die Motoren für den thierischen Haushalt angelegt.

So wie jeder Thierleib einem bestimmten Plane entspricht, so sind auch seine Muskeln nach bestimmten Gesetzen in das planvolle Ganze eingefügt.

Jeder Muskel bringt bestimmte bald mehr, bald weniger begrenzte Lagenveränderungen der an ihm befestigten beweglichen Theile hervor.

Es giebt Muskeln, welche ausschliesslich die naturgemäss an ihnen hängenden Lasten bewegen, z. B. die Muskeln, welche die Augen im wechselvollen Spiel der Blicke herumführen, andere Muskeln werden später und von aussen her neu belastet mit keiner grösseren und keiner geringeren Nothwendigkeit, als mit welcher ein Thier seinem Nahrungsbedürfniss nachgeht, seine Speisen kaut, den Bissen

verschlingt, verdaut, resorbirt, Athem holt, absondert, Eier legt, Nester baut u. s. w.

Die Muskeln liegen, um ihren Aufgaben gerecht zu werden, planmässig in den Wandungen von Hohlräumen, z. B. die Muskulatur des Darmschlauches oder sie sind strang- oder bandartig, einem bald mehr, bald weniger complicirten Hebelwerke angepasst. Solche Hebelwerke bestehen oft aus sehr zahlreichen kunstvoll in einander eingelenkten Stücken. Das menschliche Skelet mag Ihnen dafür ein Beispiel abgeben. Dass wir an jene Hebel, z. B. an unsere Arme, mit Absicht die verschiedenartigsten neuen Lasten anhängen, dass wir künstlich das Gewicht unseres Körpers durch Beladung des Rückens oder der Schultern vermehren, um mit dem Körper zugleich jene Lasten zu transportiren, dass wir zu ähnlichen Leistungen gezähmte Thiere ausnutzen, dass wir mit einem Worte den Muskeln Arbeit im volkswirtschaftlichen Sinne dieses Wortes abgewinnen, ist ein Tribut welchen der Verstand des Menschen den Muskeln auferlegt hat und für welchen wir den grössten Theil unserer Cultur eingetauscht haben, der Mensch beutet hier nur die natürlichen Arbeitskräfte, mit welchen er selbst und die Thiere ausgestattet wurden, zu speciellen Zwecken aus. Aber ohne alles menschliche Zuthun, haben jene Kräfte schon lange, bevor der Mensch diese Welt betrat, im Dienste der Natur gearbeitet und thun dasselbe noch heut zu Tage. Ich will Ihnen nun die Bedingungen, unter welchen

die Muskelleistungen aus dem in der Natur vorhandenen Kraftschatze producirt werden, das Leben der Muskeln übersichtlich schildern.

Ich werde mich aber auf die der Willkür unterworfenen Skelettmuskeln des Menschen und der Wirbelthiere beschränken.

Wo finden sich diese Muskeln? Wie sehen sie aus?

Es sind die unter der Haut gelegenen Weichtheile, welche man gemeinhin Fleisch nennt.

Wenn Sie die ganze Fleischmasse eines Menschen oder Wirbelthierleibes überschauen, so werden Sie bemerken, dass dieselbe in einzelne Portionen zerfällt, die zwischen bestimmten Punkten des Skeletes ausgespannt sind.

Nehmen wir eine solche Portion, einen Muskel heraus.

Wir sehen sogleich, dass sie wieder aus kleineren faserigen Portionen besteht.

Am gekochten Fleische ist dies gewiss schon jedem von Ihnen aufgefallen.

Wenn wir nun noch das Mikroskop zu Hilfe nehmen, so sehen wir, dass die äusserlich sichtbaren Fasern des Fleisches noch Bündel aus viel feineren Fasern sind. Diese letzteren sind im Allgemeinen cylindrisch gestaltet und bestehen aus einem elastischen Schlauch, in welchem ein Inhalt von äusserst complicirtem Bau steckt.

Der sichtbarste Ausdruck dieser Structur ist eine regelmässige Querstreifung, wenn wir mit gewöhn-

lichem Lichte beleuchten. Im polarisirten Lichte dagegen tritt unter bestimmten Bedingungen eine der Querstreifung entsprechende prächtige Farbenfolge auf. Dies kommt daher, dass die Substanz des Muskelfadens absatzweise einfach und doppelt lichtbrechend ist.

Ich kann nur andeuten, dass die Untersuchung im polarisirten Lichte Brücke auf eine sehr merkwürdige Molekularstructure der contractilen Substanz geführt hat, die schon jetzt mancherlei physiologische Anwendungen gestattet \*).

Die cylindrischen Fasern, an welchen wir die genannten Erscheinungen wahrnehmen, sind die Elementarorgane des Muskelgewebes. An jeder derselben wiederholen sich dieselben Eigenschaften. Sie besitzen beim Menschen im Mittel einen Durchmesser von  $\frac{1}{167}$ “, auf die Distanz einer Linie kann man also 167 solcher Fasern quer neben einander legen. Ein ganzer Muskel besteht aus einer Menge solcher Fasern und diese sind nach bestimmten Gesetzen durch ein aus feineren Fasern ganz anderer Natur bestehendes Gewebe zusammengehalten und mittelst dieses Bindegewebes an die planmässigen Ursprungs- und Ansatzpunkte angeheftet.

Was ich Ihnen so eben über die anatomischen Verhältnisse der Muskeln gesagt habe, war lediglich eine Orientirung auf dem Boden, auf welchem das

---

\*) Siehe die beigegebene Tafel und deren Erklärung

Spiel der Muskelkräfte abläuft. Ich hätte Ihnen die feineren anatomischen Verhältnisse noch viel ausführlicher mittheilen können, wie wir sie in der That kennen, es hätte uns aber wenig nutzbare Früchte getragen für die Erkenntniss der Thätigkeiten der Muskeln, ihrer Einwirkung auf die Aussenwelt, ihrer Reaction auf äussere Einflüsse. Wir können die letzteren noch bei weitem nicht mit den ersteren in Einklang bringen.

Wenn nun auch, wie die jüngsten Erfahrungen lehren, die feinere Anatomie noch lange nicht alle ihre Hilfsmittel erschöpft hat, so hat die Physiologie doch keine Ursache auf die ihr immerhin erwünschten Erfolge ihrer Schwester mit der Hand im Schoss zu warten.

Sie hat andere Wege betreten, dieselben, welche die Experimentalphysik einschlägt, wenn sie ihre Hebel und Schrauben ansetzt.

Nicht nur die Physiologie der Muskeln, sondern überhaupt die ganze Physiologie, als Physik der Organismen begründet zu haben, ist ein Verdienst, welches sich zum grössten Theile an die Namen deutscher Männer der Gegenwart oder jüngsten Vergangenheit knüpft und der Aufschwung, welchen die Wissenschaft vom physischen Leben des Menschen dadurch genommen hat, war ein mächtiger.

Man wird vielleicht dereinst in der Geschichte der Fortschritte auf diesem Gebiete einen wirksamen Contrast zu jenen Eindrücken finden, welche eine vorausgegangene weniger lichtvolle Periode deutscher

Naturwissenschaft hinterlässt, in welcher Männer, die auf richtiger Fährte Grosses zu leisten im Stande gewesen wären, eine Grundlage für die Erkenntniss der Natur des Menschen und der Dinge zu finden glaubten, wenn sie sich selber hemmend und beschränkend und über die nüchternen Beobachtungen früherer Zeitalter hinwegsetzend in die Irrgänge wüster Speculationen sich verloren, in der Hoffnung, dass sie irgend ein Flügelpferd fänden, welches sie emportrüge über die Welt der Erscheinungen. Diese Männer haben die echte Naturwissenschaft nicht gefördert. Denn Ursache an Ursache knüpfen kann der Mensch nur innerhalb der Natur, in welcher er geboren und aufgewachsen ist. Wer den Namen eines Naturforschers verdienen will, darf nicht nach Fäden haschen wollen, die er nicht greifen, die er sich nicht greifbar vorstellen kann. Für die echte Naturforschung ist nur die Welt der Erscheinungen da.

Was hat aber nun, um zu unserem Gegenstande zu kommen, die experimentelle Physiologie mit den Muskeln angefangen? Man hat auf gewisse Voraussetzungen hin Apparate mit den Muskeln in Verbindung gebracht, welche zur Erprobung der Elasticität und Cohäsion dienen, man hat sie auf Instrumente einwirken lassen, welche Temperaturveränderungen anzeigen, auf Instrumente, welche die Gegenwart elektrischer Ströme verrathen, man hat sie verschiedenen Gasen und Gasmengungen ausgesetzt, um die Existenz chemischer Verwandtschaften zu eruiren und

dies alles, nachdem man die Muskeln unter sehr verschiedene, willkürlich abgeänderte Bedingungen versetzt hatte, kurz man hat die Muskeln in der mannigfachsten Weise zu allerlei Bewegungsäusserungen gezwungen, um sie ihrem innern Wesen nach kennen zu lernen und Sie werden sehen, dass man auf diesem Wege die nothwendige Uebereinstimmung aller die Muskelleistungen beherrschenden Gesetze mit den allgemeinen Naturgesetzen sich anschaulich gemacht hat.

Wir wollen zuerst einen Muskel betrachten, der lebt, aber ruht, d. h. keine äusserlich sichtbare Bewegung macht.

Die Experimente an solchen Muskeln wurden dadurch erleichtert, dass die Muskeln auch nach ihrer Entfernung aus dem lebenden Organismus noch einige Zeit dem Tode trotzend, ihr eigenes Leben bewahren, reizbar bleiben, wie man sich auszudrücken pflegt.

In dieser Beziehung sind besonders die Muskeln kaltblütiger Thiere ausgezeichnet und unser harmloser Wasserfrosch hat durch den Eifer, mit welchem ihm die Physiologen nachstellen, um ein unübertreffliches Object für ihre Untersuchungen zu gewinnen, einen solchen Ruf erlangt, dass man ihn figürlich einen Märtyrer der Wissenschaft nennt. An ausgeschnittenen Froschmuskeln wurden zunächst die wichtigsten Entdeckungen gemacht und erst darnach hat man ihre allgemeine Giltigkeit festgestellt.

An ausgeschnittenen Froschmuskeln hat Eduard Weber seine epochemachenden Versuche über die mechanischen Eigenschaften der Muskeln begonnen. Ich werde noch später auf seine für die quantitative Auswerthung der Muskelleistungen wichtigen Resultate zurückkommen, hier hebe ich nur hervor, dass der Muskelfaden einem weichen, elastischen Bande zu vergleichen ist, welches in Beziehung auf seine Elasticität sich ähnlich dem Kautschuk verhält.

An ausgeschnittenen Froschmuskeln hat ferner du Bois durch eine ewig denkwürdige Arbeit die Existenz bestimmt gerichteter und messbarer elektrischer Ströme nachgewiesen.

Damit war die thierische Elektrizität zu einer unanfechtbaren Wahrheit geworden. Du Bois selbst hat seinem grossen Werke eine sehr anziehende Geschichte der thierischen Elektrizität vorangeschickt. Ahnung und Zufall führten zu ihrer Entdeckung, weltbewegende Streitigkeiten hat sie hervorgerufen, bis sie du Bois in sein Multiplicatorgewinde leitete, und die Magnetnadel jenes Zeugniß geben liess, gegen welches keine Widerrede aufkommt.

Nach du Bois kann man von jedem Muskel einen Strom ableiten, welcher vom Längsschnitt zum Querschnitt geht und den ganzen Muskel hat man sich als zusammengesetzt aus unsichtbar kleinen in feuchten Leitern eingebetteten elektrischen Theilchen, Molekülen, mit zwei negativen Polen und einer positiven Aequatorialzone vorzustellen.

Kein Muskel kann, wenn er leistungsfähig bleiben soll, dieser elektrischen Gegensätze entbehren.

So wie im Muskel elektrische Kräfte frei werden, ebenso wird in demselben auch Wärme producirt, es ist dies ein Antheil jener Wärme, welche die Eigenwärme der Thiere erhält, die sich bei Kaltblütern bekanntlich nur um einige Grade über die Temperatur der Umgebung, bei Warmblütern aber constant bis zu 37—40° C. erhebt.

Wir werden die Quellen dieser Elektrizität und Wärme später kennen lernen.

Wenn Sie zurückblicken auf das, was ich Ihnen vom ruhenden Muskel gesagt habe, so wird es Ihnen nicht entgehen, dass man einen lebendigen Muskel nur im uneigentlichen Sinne ruhend nennt, denn es gehen ja in jedem Moment Elektrizität und Wärme also atomistische Bewegungsvorgänge von demselben aus.

Man hat sich aber eben zu einer Zeit, wo man nur die mechanischen Kraftäusserungen der Muskeln kannte, gewöhnt, den verkürzten Zustand des Muskels den thätigen zu nennen, d. h. jenen Zustand, in welchen er durch eine mit den Augen zu verfolgende Thätigkeitsäusserung die Verkürzung (Contraction) gelangen kann.

Und jeder lebende Muskel kann sich, angetrieben durch äussere Einflüsse, in der Längenrichtung seiner Fasern verkürzen, dabei nimmt er in der Quere um eben so viel zu, so dass sein Volumen nahezu das-

selbe bleibt. Unter dem Mikroskop sieht man seine Querstreifen an einander rücken. Die doppeltbrechenden Abschnitte verkürzen sich. Sie verändern dabei ihre optische Dichte nicht, wie Brücke gezeigt hat. Namentlich diese letztere Thatsache nöthigte ihn zur Annahme, dass die doppeltbrechenden Eigenschaften der Muskeln herrühren von kleinen festen Körpern, welche eingebettet sind in eine einfachbrechende Grundsubstanz, die zwar ihre Anordnung, nicht aber ihre Grösse und Gestalt verändern können, und die er Disdiaclasten nennt.

Es handelt sich also hier um eine andere Anordnung der kleinsten Theilchen im Raume. Diese gehen in eine ganz neue Gleichgewichtslage über, während dieser Umlagerung seiner Theilchen und Veränderung seiner äusseren Form kann aber der Muskel an beweglichen Lasten die an ihm hängen, ziehen und seine Bewegung auf diese Lasten übertragen, wie dies der durch die Wärme gleichmässig ausgedehnte Wasserdampf durch den Druck auf den Kolben thut.

Diese Uebertragung findet nach bestimmten Gesetzen statt, welche von Eduard Weber auf sehr einfache Sätze zurückgeführt wurden.

Die Verkürzungsgrösse eines Muskels, also der Weg, welchen die angezogene Last zurücklegt, die Hubhöhe verhält sich wie die Länge des Muskels.

Die Kraft, welche ein Muskel ausübt, ist abhängig von der Zahl der Muskelfasern, welche auf seinem Querschnitt neben einander liegen.

Die Arbeitsgrösse, das Product aus der Last und dem Weg, über welchen sie befördert wurde, ist proportional dem Product aus Länge und Querschnitt, also der Masse des Muskels.

Eine grössere Muskelmasse wird also alles übrige gleichgesetzt mehr Arbeit produciren können, als eine kleinere.

Diese Sätze lassen uns einen verständigen Einblick in die Anordnung und Vertheilung der Muskelmassen an den verschiedenen Organen des Thierleibes thun.

Wir finden lange und dünne Muskeln dort, wo es sich handelt geringe Lasten über grosse Wegstrecken zu transportiren. Verhältnissmässig kurze und dicke Muskeln, wo bedeutende Lasten auf geringe Höhe zu heben sind. Grosse Muskelmassen an Gliedmassen, welche zufolge der eigenthümlichen Lebensweise eines Thieres grosse Arbeiten zu leisten haben. Die Plastik bedient sich schon längst der Muskeln, um gewisse Effecte zu erzielen.

Und man erwägt die Tragweite falscher Prämissen in der Wissenschaft, wenn man sieht, dass einer der besten und gewissenhaftesten Naturforscher des vorigen Jahrhunderts die Proportionalität zwischen Muskelmasse und Leistungen a priori verläugnen konnte, während man dagegen beim Anblick einer antiken Statue, die uns ein Symbol der Leibesstärke sein soll, wahrnimmt, mit welchem richtigem Tact der Künstler nicht das Colossale der Dimensionen über-

haupt, sondern gerade das in den Stein gemeisselte oft fast übertriebene Relief der dickbäuchigen Muskeln auf Aug und Sinn des Beschauers wirken lässt.

Fragen wir jetzt, ehe wir uns weiter mit der Muskelcontraction beschäftigen, welches sind denn die früher angezogenen äusseren Einflüsse, welche die Kraft der Muskeln aufwecken. Man nennt sie Muskelreize und ihre Natur ist sehr verschieden, sie stimmen aber alle darin überein, dass sie kaum messbar kleine Kräfte sein können und in den meisten Fällen auch wirklich sind.

Die Muskelreize, und das soll schon durch den Namen ausgedrückt sein, tragen die Kräfte, welche der Muskel auf ihren Antrieb entwickelt, nicht erst in denselben hinein, sie machen nur, dass Kräfte, die im Muskel schon vorhanden sind, mechanisch wirksam werden. Sie lösen Kräfte aus, wie man sagt.

Ein schwacher elektrischer Inductionschlag, der den Muskel durchfährt, Kneipen seiner Fasern, eine grosse Zahl von chemischen Substanzen, z. B. gewisse Säuren, Alkalien und Salze gehören hierher.

So lange die Muskeln im gesunden lebenden Organismus sich befinden, werden sie aber gewöhnlich durch einen ganz besonderen Reiz erregt, den wir specieller betrachten müssen.

Dieser Reiz ist der erregte Nerv. Die motorischen Nerven sind Fasern, welche oft weit von den Muskeln, in die sie eintreten, aus dem Hirn und Rückenmark entspringen. Sie laufen in bestimmten

Bahnen zu den einzelnen Muskeln. An der Oberfläche der Muskelfasern angelangt, durchbrechen sie den äussern Schlauch der Fasern und berühren zu eigenthümlichen Endknospen verbreitert, wie Kühne in neuester Zeit gezeigt, unmittelbar die contractile Substanz.

Die motorischen Nerven sind so wie die Muskeln mit sehr merkwürdigen und mannigfachen Kräften ausgestattet.

Sie lassen einmal den Muskel in Ruhe, ein anderes Mal reizen sie ihn zur Bewegung an. Man unterscheidet darnach auch am Nerven zweierlei Zustände, den ruhenden und den erregten. Im Nerven werden, so wie im Muskel Kräfte durch äussere Reize ausgelöst.

Die Reize sind den Muskelreizen sehr ähnlich. Aber nicht alle Reize, welche den Muskel bei directer Application angreifen, erregen auch den Nerven, diese Thatsache hat Kühne namentlich für viele chemische Reize festgestellt und ein Streit, welcher seit Albrecht v. Haller durch die physiologische Literatur geht, ob der Muskel an und für sich reizbar sei, oder ob er nur reizbar sei vermöge der Nerven, die in ihm sich verstecken, wurde auf diesem Wege zu Gunsten der selbstständigen Muskelirritabilität Haller's entschieden.

Ein Nerv, der das Hirn oder Rückenmark mit den Muskeln in Verbindung setzt, ist an seinem centralen Ende, an seiner Peripherie aber auch an jeder Stelle seines Verlaufes erregbar.

Also eine fortlaufende Reihe von Stationen existirt, von welchen die Befehle ausgehen können, die den Muskel sich zusammenzuziehen heissen.

Der Nerv selbst übernimmt aber die Aufträge nicht überall mit derselben Bereitwilligkeit. Es gilt vielmehr das Gesetz, welches Pflüger zuerst ausgesprochen, dass die Reize, je weiter man sich vom Muskel aus am Nerven aufwärts begiebt, immer kleiner werden können, um noch dieselben Effecte zu erzielen. Am reizbarsten ist der Nerv an jenem Ende, an welchem er während des Lebens zumeist erregt wird, im Rückenmark und Hirn.

Von den mannigfach verschiedenen Reizen, die ihn dort treffen können, hebe ich einen hervor, welchen ich Ihnen aber vorläufig bloß nennen kann. Es ist der räthselhafte Bewohner des Gehirns: Der Wille.

Wenn Sie das, was ich Ihnen über die Nervenleitung zwischen Muskel und Centralorgan eben erst gesagt habe, überlegen, so werden Sie finden, dass man sich dieselbe nicht einfach unter dem Bilde einer zwischen zwei Endstationen ausgespannten Telegraphenleitung vorstellen darf. Eine Unterbrechung der Leitung wird zwar in beiden Fällen dasselbe Resultat haben, die Depeschen werden nicht einlangen, der Einfluss des Willens auf den Muskel wird gelähmt sein.

Aber der Telegraphendraht verdankt seine Wirksamkeit nur der an seinem Ende aufgestellten Batterie. Der Nerv trägt in jedem Theile seines Ver-

laufes seine eigenen Kräfte in sich und diese wendet er nur auf, um jenen Impuls bis zum Muskel fort zu transportiren, welchen der Wille auf das ihm zunächst liegende Theilchen übertragen hat.

Wenn Sie sich an der Stelle des Nerven eine Reihe von Pulverkörnern oder einen Faden aus Schiessbaumwolle gesponnen vorstellen, ein Gleichniss, welches nach Pflüger's Vorgang schon oft gebraucht wurde, dann haben Sie ein weit zutreffenderes Bild, aber wohl gemerkt auch nur ein höchst einseitiges Bild.

Diesen Faden können Sie an seinem Ende entzünden, das wäre zu vergleichen mit der Reizung, das entzündete Theilchen wird explodiren, seine Kräfte werden ausgelöst, das wäre zu vergleichen mit der Erregung; die Wärmeentwicklung bei der Explosion des ersten Theilchens hat einen ähnlichen Vorgang im zweiten, im dritten u. s. w. zur Folge, das wäre zu vergleichen mit der Fortpflanzung der Erregung im Nerven, die eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt, und schliesslich auf den Muskel übertragen, in diesem eine ähnliche Auslösung von Kräften zur Folge hat.

In den hochorganisirten Theilchen des Nerven wird eine sehr complicirte Reihe von chemischen thermischen und elektrischen Kräften für die Besorgung seiner Thätigkeiten aufgeboden. Wir kennen dieselben erst theilweise. Es würde einen eigenen Vortrag erfordern, wollte ich Sie damit bekannt machen. Aber eine Folgerung muss ich aus unseren Betrachtungen ziehen.

Zwischen der Intention einer willkürlichen Bewegung und der Ausführung derselben muss eine gewisse Zeit verstreichen. Die Zeit, welche die Erregung braucht, um durch den Nerven zum Muskel zu gelangen.

Helmholtz hat die Geschwindigkeit der Fortpflanzung und Uebertragung der Nervenirregung direct gemessen.

Es ist dies einer der grössten und überraschendsten Fortschritte der Physiologie.

Helmholtz' Lehrer, der grosse physiologische Meister Johannes Müller zweifelte im Glauben an eine den Imponderabilien ähnliche Geschwindigkeit des Nervenprincipes, welche er mit der dagegen verschwindenden Kürze unserer Nervenbahnen zusammenhielt, noch zu Anfang der vierziger Jahre, dass es uns überhaupt möglich sein wird, eine solche Messung anzustellen.

Kaum zehn Jahre später stellte der Scharfsinn Helmholtz's zwei auf ganz verschiedenen Principien beruhende Instrumente zusammen und die Messung wurde möglich.

Das eine dieser Instrumente beruht auf der Messung kleinster Zeittheilchen mittelst des elektrischen Stromes und der Magnetnadel. Das andere auf dem graphischen Principe von Watt, welches Ludwig zuerst in die Physiologie eingeführt hat.

Beide Methoden ergaben ein nahezu übereinstimmendes Resultat und man weiss jetzt, dass die Leitungsgeschwindigkeit der Nervenirregung beim Frosch

27 Meter in der Secunde beträgt. Beim Menschen wurde sie 61·5 Meter in der Secunde gefunden.

Geschwindigkeiten, welche bei der Kürze unserer Nervenbahnen die Zeit, die zwischen Entschluss und Ausführung liegt, zwar immer noch auf Bruchtheilen einer Secunde erhalten, die aber mit den Geschwindigkeiten des Lichtes, der Elektrizität, die nach vielen Tausenden von geographischen Meilen messen, nicht zu vergleichen sind, ja selbst von der Fortpflanzung des Schalles in der Luft um Hunderte von Metern übertroffen wird \*). Die Stützen, die der Wunderglaube im Gebiet der Nervenwirkungen in der geheimnissvollen Schnelligkeit des Nervenprincipes zu sehen währte, sind in ihr Nichts zerfallen.

Bezold, Aeby, Munk haben sich seither der Helmholtz'schen Instrumente bedient, um wichtige physiologische Fragen zu beantworten.

Aeby, das muss ich hier besonders anführen, hat die Fortpflanzung der Erregung im Muskel selbst gemessen und gefunden, dass sie um Vieles langsamer ist als im Nerven, indem sie nur etwa 1 Meter in der Secunde beträgt.

Sie wissen nun, welche merkwürdige Verkettung von Bewegungserscheinungen in jedem Act willkürlicher Bewegung verborgen liegt.

---

\*) Licht: 42.000 g. M. nach Römer, 42.506 g. M. nach Fizeau; Elektrizität: 64.000 g. M. in Kupfer nach Wheastone; Schall: 332·05 Meter nach Moll und v. Beck.

Der Wille erregt das centrale Ende des Nerven, die primäre Erregung pflanzt sich im Nerven zum Muskel fort, wird auf denselben übertragen und zwingt diesen sich zu verkürzen. Wir haben schon früher von der Form und Elasticitätsänderung bei der Contraction gesprochen.

Damit haben wir aber die uns bekannten Veränderungen nicht erschöpft. Der verkürzte Muskel zeigt keine oder nur mehr sehr schwache elektrische Gegensätze.

Du Bois, welcher diese Erscheinung zuerst beobachtete, nannte sie die negative Stromesschwankung. Helmholtz hat gezeigt, dass das Verschwinden der elektrischen Gegensätze der Muskelverkürzung vorausgeht, nicht mit ihr zusammenfällt. Der verkürzte Muskel erwärmt sich ferner über seine Temperatur im ruhenden Zustande, wie Helmholtz mit der Thermosäule und dem Thermomultiplicator bewiesen hat. Es geht also mit der mechanischen Aeusserung der Muskelthätigkeit, mit der Entwicklung der Muskelenergie, wie Helmholtz sagt, eine Veränderung der elektrischen und thermischen Kräfte einher.

Woher stammen aber alle diese Kräfte, wie gewinnt sie der Muskel?

Ehe ich Ihnen diese Frage beantworte, werfen Sie einen Blick auf das Materiale, aus welchem die contractile Substanz zusammengebaut ist.

Es genügt für unsere Zwecke, dasselbe in folgende Gruppen zu bringen.

1. Eiweisskörper. Diese machen die grösste Masse aus, sie bestehen aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff und Schwefel, und haben alle nahezu dieselbe procentische Zusammensetzung wie ihr Prototyp, das Weisse im Hühnerei (dieses besitzt in einer Verbindung mit Kali nach Lieberhühn die Formel  $C_{72} H_{56} N_9 O_{22} S$ ). \*)

2. Kohlenstoffhydrate, welche aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehen und die letzteren Bestandtheile in einer Menge enthalten, dass sie vereinigt Wasser geben, sie gehören in dieselbe Gruppe von Körpern, in welcher auch der Rohrzucker und das Stärkemehl stehen.

### 3. Fette.

Die genannten Körper haben alle ein hohes Atomgewicht und sind dabei niedrig oxydirt. Ihr Sauerstoff reicht höchstens hin, den Wasserstoff zu oxydiren wie bei den Kohlenhydraten, bei den anderen reicht er nicht einmal dazu aus.

Diese Körper haben also einen grossen Vorrath an Atomen, die sich mit freiem Sauerstoff verbinden können. Sie geben also bei der Verbrennung grosse Wärmemengen frei.

Es kommen ferner ausser jenen hochzusammengesetzten Verbindungen im Fleische noch eine Reihe

---

\*) Bei der Darstellung des Kaliverbindung erleidet aber das Eiweiss schon eine geringe Veränderung.

theils stickstoffhaltiger, theils stickstoffloser Substanzen vor, welche unter der Einwirkung des Sauerstoffes gebildete Abkömmlinge, also Verbrennungsproducte der drei ersten Gruppen sind.

Endlich kommen Gase und Salze im Fleische vor.

Jeder Muskel, ob er ruht oder sich bewegt, wirkt verändernd auf die umgebende Luft. Er athmet. Der ausgeschnittene Muskel nimmt direct den Sauerstoff aus der Atmosphäre auf und giebt dafür Kohlensäure an dieselbe ab, wie namentlich aus Versuchen des jüngeren Liebig hervorgeht. So lange der Muskel noch im lebenden Körper enthalten ist, entzieht er dem Blut seinen Sauerstoff und giebt  $C O_2$  dafür an das Blut ab.

Das Blut, welches vom Herzen durch die im ganzen Körper verbreiteten Gefäße im fortwährenden Kreise herumgetrieben wird, passirt, nachdem es sich in den Lungen mit Sauerstoff gesättigt hat, auch die Gefäße des Muskels, die enge netzartig mit einander verbundene Kanäle zwischen den Muskelfasern bilden und auf endosmotischem Wege werden durch die Poren der Gefäßwände und des elastischen Schlauches der Muskeln die flüssigen und gasartigen Bestandtheile zwischen Blut und Muskel ausgetauscht.

Wie gesagt, für den Sauerstoff, den das Blut hergiebt, bekommt es vom Muskel  $C O_2$  zurück.

Es geht also im Muskel wirklich ein Verbrennungsprocess vor sich.

Das Brennmaterial ist die Muskelsubstanz selbst, die hochzusammengesetzten Verbindungen sind es, die wir früher aufgezählt haben. Wenn wir uns diesen Verbrennungsprocess möglichst handgreiflich versinnlichen, dann müssen wir sagen, dass zwischen jenen hochzusammengesetzten Verbindungen und dem Sauerstoff eine chemische Verwandtschaft besteht, sie wirken anziehend auf einander. So lange sie nebeneinander existiren, nur mit dem Streben sich zu vereinigen, sind sie gespannt, wie man sagt. Vereinigen sie sich wirklich, d. h. bewegen sie sich gegeneinander, dann hört in dem Maasse, als die Bewegungen eintreten, die Spannung auf. Mit andern Worten, es werden lebendige Kräfte auf Kosten von Spannkräften gewonnen und diese lebendigen Kräfte äussern sich wieder in verschiedener Weise als Wärme, Elektrizität, Massenbewegung.

Der Muskel gewinnt also auf Kosten seiner eigenen Substanz, die er mit Hilfe des atmosphärischen Sauerstoffes verbrennt, seine lebendigen Kräfte.

Gerade so wie wir in unseren Oefen die Wärme durch Verbrennung von Holz oder Kohle, in unseren Batterien die Elektrizität durch Verbrennung von Zink gewinnen, gewinnt der Muskel beide, und noch überdies bewegende Kraft in viel luxuriöserer Weise durch Verbrennung von Eiweiss, Zucker und vielleicht auch Fett. Im ruhenden Muskel, in welchem nur Wärme und Elektrizität erzeugt werden, ist der Stoffverbrauch geringer. Im thätigen Muskel,

also im Zustande, in welchem er mehr Wärme und überdies noch mechanische Leistungen producirt, ist der Stoffverbrauch grösser.

Das Princip von der Erhaltung der Kraft, für dessen Giltigkeit im Reich der Organismen Ihnen die eben mitgetheilte Kette von Erscheinungen ein schönes Beispiel liefert, fordert den erhöhten Stoffverbrauch bei der Muskelaction.

Es fehlt aber auch nicht an Versuchen und Beobachtungen, welche sich nur daraus erklären. Helmholtz hat gezeigt, dass man aus anhaltend thätig gewesenen Muskeln mehr feste Theile mit Alkohol auflösen kann und weniger mit Wasser als aus ruhenden Muskeln.

Der thätige Muskel scheidet mehr  $\text{CO}_2$  aus. Im thätigen Muskel hat du Bois eine Säure nachgewiesen, die im ruhenden fehlt, Liebig giebt an, dass im thätigen Muskel die Menge des Kreatin, eines festen stickstoffhaltigen Verbrennungsproductes der Eiweisskörper, grösser ist als im ruhenden.

Es geht aber aus allem dem hervor, dass der Muskel durch seine eigene Thätigkeit fortwährend Verluste erleidet.

Sein Kraftvorrath würde fortwährend abnehmen, er würde sich erschöpfen, wenn ihm nicht die Ausgaben wieder erstattet würden. Hier hilft wieder das Blut.

Mit den Schätzen beladen, die ihm durch die Verdauung und Aufsaugung der von Aussen einge-

fürten Nahrungsmittel zugebracht wurden, langt es im Muskel an und giebt an denselben brauchbares Materiale ab.

Es führt also einerseits den Sauerstoff, andererseits das Brennmaterial in das Laboratorium des Muskels hinein, damit dieser sie nach seinen Bedürfnissen verwende.

Das Gleichgewicht zwischen Verbrennung und Ersatz oder das Ueberwiegen des einen über den andern, der Anhäufung und die Fortschaffung der Schlacken und Verbrennungsproducte bedingen die verschiedenen Zustände des Muskels, die Grösse und die Dauer seiner Leistungsfähigkeit, seine Ermüdung, die Erholung aus der Ermüdung u. s. w.

Der Stoffwechsel im Muskel ist also die Quelle seiner lebendigen Kräfte.

Elektricität und Wärme entströmen ihm fortwährend, seine mechanischen Kräfte werden durch Reize ausgelöst.

Nun wissen Sie, dass man bewegende Kräfte auf Kosten von Wärme und Elektricität gewinnen kann. Wir dehnen den Wasserdampf durch die Wärme aus und bewegen damit den Kolben der Dampfmaschine und auch durch den elektrischen Strom kann man Maschinen in Bewegung setzen. Findet vielleicht im Muskel eine ähnliche Transformation seiner elektrischen und thermischen Kräfte statt, wenn er gereizt wird?

Dass der Muskel seine elektrischen Gegensätze einbüsst, wenn eine Massenbewegung in demselben eintritt, haben wir früher gesehen, ja man hat in neuester Zeit sogar den Versuch gemacht alle bewegendes Kräfte aus einer Transformation der elektrischen Kräfte herzuleiten. Aber dann dürfte der Stoffverbrauch im thätigen Muskel nicht grösser sein, als im ruhenden. Gegen eine solche Ansicht sprechen aber gerade alle eben angeführten Erfahrungen am ausgeschnittenen Muskel.

Wir müssen uns heute noch begnügen erkannt zu haben, dass die Muskeln ihre lebendigen Kräfte auf Kosten chemischer Verwandtschaftskräfte produciren.

Die Relation, welche zwischen Elektrizität, Wärme und Massenbewegung im Muskel existirt, war die Wissenschaft noch nicht in der Lage vollständig zu enthüllen.

Bisher haben wir zwei Zustände des Muskels kennen gelernt, den ruhenden oder verlängerten und den erregten oder verkürzten, und lange Ausholungen waren nothwendig, um Ihnen ein Bild von den physiologischen Bedingungen zu entwerfen, unter welchen der eine in den andern übergeht.

Wenn Sie aber Zeit und Gelegenheit hätten, selbst an den Quellen zu schöpfen, wenn Sie all den Scharfsinn, all die Anstrengungen, all den stillen Fleiss genau kennen würden, wodurch die Muskellehre auf den Standpunkt gelangte, welchen sie jetzt

einnimmt, Sie würden mir vielleicht eine Zusammenzwängung des Materiales vorwerfen und ich könnte mich nur damit entschuldigen, dass ich in einem Vortrag, dem eine so kurze Spanne Zeit zugemessen ist, nur die Hauptresultate der Forschung vorbringen konnte, noch überdies mit dem Bemühen sie den Erkenntnisskräften eines weiteren Zuhörerkreises nahe zu legen.

Wir sind aber eben an der Schwelle neuer Einsichten angelangt, welche wir jetzt verfolgen müssen, um die mechanischen Leistungen der Muskeln, wie sie uns im täglichen Leben vor die Augen treten, richtig zu würdigen.

Eine einmalige Muskelcontraction ist gleichsam nur ein Element einer Arbeitsleistung.

Durch einen einmaligen Flügelschlag kann sich ein Vogel nicht in die Lüfte schwingen. Er muss die Flügelschläge wiederholen.

Das Herz, dieser nimmermüde Treiber des Kreislaufes, kann seiner Aufgabe den Blutstrom zu unterhalten, nicht durch einen einzigen Schlag gerecht werden, es muss immer wiederholt schlagen.

„Der andauernd und gleichmässig erregte (verkürzte) Muskel, sagt Helmholtz, bringt durch die erschöpfendste Anstrengung keine Arbeit im Sinne der Mechanik hervor, er bewirkt nur, dass die Körpertheile in einer neuen Gleichgewichtslage ruhend verweilen. Um eine Arbeit zu leisten, Bewegungen des eigenen Körpers oder Veränderungen in der

Aussenwelt hervorzubringen, muss der Muskel zwischen Ruhe und Erregung wechseln und die Grösse seiner Arbeit wird wesentlich von der Geschwindigkeit des Wechsels abhängen.“

Aus diesem Gesichtspunkte müsse man die einmalige Muskelzuckung auf einen Reiz von verschwindend kleiner Dauer studiren und Helmholtz hat dieses Studium begonnen und uns den zeitlichen Verlauf einer Muskelzuckung kennen, und dort noch Perioden zu unterscheiden gelehrt, wo man bis dahin nur von Augenblicken sprach.

Ich muss mich mit dieser Andeutung begnügen.

Die einmalige Contraction muss, wie gesagt, oft und rasch hintereinander wiederholt werden, wenn die Muskeln einen Nutzeffect ergeben sollen.

Die Erfahrungen, welche man in dieser Beziehung besitzt, wurden ausschliesslich am intacten Gesamtorganismus grösstentheils am Menschen eingesammelt, weil er allein uns sagen kann, was er will, und was er empfindet.

Wie die tägliche Erfahrung lehrt, müssen grössere Arbeitsperioden auch von anhaltenden Ruhepausen unterbrochen werden, wenn die Muskeln aus dem ihnen zugeführten Ersatzmateriale sich restauriren sollen, die Ernährung jener Muskelgruppen, welche wir vorzugsweise zum Arbeiten verwenden, ist nicht so geregelt, dass sie sich während der fort-dauernden Arbeit auch fort-dauernd leistungsfähig er-

halten könnten, sie ermüden vielmehr und werden endlich arbeitsunfähig.

Gleich am Eingange meines Vortrages habe ich darauf hingewiesen, wie man in technischen Interessen bemüht war, die Arbeitsfähigkeit eines Menschen für bestimmte gegebene Bedingungen festzustellen.

Wenn man in einem gegebenen Falle das Maximum des Nutzeffectes von einem Arbeiter erzielen will, so gilt als allgemeines Gesetz die Arbeit auf möglichst viele seiner Muskeln gleichmässig zu vertheilen. Dies begreift sich a priori. Wenn eine grosse Anzahl von Muskeln zu einem Zwecke thätig ist, verbraucht jeder einzelne in der Zeiteinheit weniger, als wenn dieselbe Arbeit aus dem Verbrauch einer geringeren Anzahl von Muskeln gedeckt werden soll. Die Ermüdung bei dem bestimmten Geschäfte muss im ersteren Falle später eintreten als im letzteren.

Brücke führt in seinen Vorlesungen ein sehr treffendes Beispiel hierfür an. Als man anfang in der Landwirthschaft Maschinen in grösserer Ausdehnung anzuwenden, erschien den Oekonomen neben den neuen Maschinen, die alte Häckselschneidemaschine als plumpes Geräth ihrer Altvordern. Der Knecht muss sie bekanntlich mit Händen und Füssen bearbeiten.

Man suchte sie durch eine neue, wie man meinte zweckmässigere zu ersetzen, deren Messer mit Hülfe

einer Kurbel also nur mit den Händen in Bewegung gesetzt werden konnte.

Allein es zeigte sich, dass jetzt derselbe Knecht in derselben Zeit viel weniger Häckerling schneiden konnte als mit der alten Maschine.

Der Grund ist nach dem, was ich Ihnen oben gesagt habe, klar.

Der Wechsel zwischen Ruhe und Erregung, der für die Arbeitsleistungen der Muskeln von so grosser Bedeutung ist, wird von dem Centralorgane des Nervensystemes aus geregelt.

Wir wollen dieses Eingreifen des Willens jetzt näher betrachten. Ludwig äussert sich darüber in seinem scharfgedachten Lehrbuch folgender Maassen:

„Die Kraftsumme, welche der muskulöse Apparat des menschlichen Körpers unter dem Einfluss des willkürlich erregenden Principis entwickelt oder zu entwickeln vermag, kann unter günstigen Umständen einen sehr beträchtlichen Werth erreichen. Diese Thatsache gab in früherer Zeit zu der Meinung Veranlassung, dass die erregenden Hirntheile selbst grosse Kräfte entwickeln, indem man glaubte, dass alle die Kräfte, welche von unseren Muskeln zur Bewegung des Skeletes oder der an dasselbe angehängten Gewichte und zur Ueberwindung von allen den Widerständen, die in den Muskeln und den Skelettheilen der Bewegung entgentreten, verwendet werden, von den willkürlich erregenden Hirntheilen ge-

rade zu auf die Bewegungswerkzeuge übertragen würden. Es ist diese Annahme, so weit die Erfahrungen reichen, mit vollkommenem Rechte in ihr Gegentheil umgeschlagen. Wir glauben jetzt, auch ohne die von den erregenden Hirntheilen direct entwickelbaren mechanischen Kräfte gemessen zu haben, behaupten zu dürfen, dass die in jedem kleinsten Hirntheilchen entwickelten erregenden Kräfte des Willens sehr klein sind.

Diese Behauptung ergibt sich augenblicklich, wenn man sich die Art des Aufbaues und Zusammenhanges der Muskeln und Nerven in das Gedächtniss ruft. Muskeln und Nerven waren Gebilde, die auf eine sehr verwickelte Weise zusammengesetzt sind, und zwar aus Stoffen, welche bei ihrer Umsetzung beträchtliche mechanische Kräfte frei machten.

Zugleich waren diese Stoffe innerhalb der genannten Gebilde unter solchen Bedingungen enthalten, dass es nur unbedeutender Veranlassungen bedurfte um die Zersetzungen einzuleiten. Denn wir erfuhren ja, dass Einflüsse von kaum mehr messbaren mechanischen Effecten, die sogenannten Erreger, die Muskel- und Nervenkräfte auslösen konnten.

Die Zusammenordnung der Muskeln und Nerven hatte aber in der Art statt, dass sich die Erregbarkeit der Gebilde vom Muskel durch den Nervenstamm bis in das Rückenmark fortwährend steigerte. Denn es wurde durch dasselbe Erregungsmittel ein geringerer Effect erzeugt, wenn es gerade zu auf

den Muskel, ein grösserer, wenn es durch den Nervenstamm und ein noch beträchtlicherer wenn es durch das Rückenmark auf den Muskel wirkte. Auch war noch dazu festgestellt worden, dass nur innerhalb sehr beschränkter Grenzen mit der steigenden Stärke des Erregers die entwickelten Muskelkräfte wuchsen, so dass, wenn einmal ein gewisser meist sehr niedriger Grad der Erregerstärke erreicht war, eine weitere Erhöhung derselben keine Steigerung der Muskelkräfte bedingte.

Da nun das willkürlich erregende Princip die Muskelzusammenziehung von einem sehr geringen bis zu einem beträchtlichen Werth steigern kann, so muss dasselbe, wenn es nicht vollkommen sinnlos angelegt ist, sehr geringe motorische Effecte, irgend welcher Art (Stösse oder Anziehungen) entwickeln. So gering sie aber auch sein mögen in jedem Augenblick, so beträchtlich muss die Summe der im Verlaufe der Zeiten entwickelten Anregungen werden.

Zu einer weiteren Definition der Kräfte des willkürlich erregenden Principes scheint nur noch hinzugefügt werden zu können, dass ihr Maximalwerth mit gewissen körperlichen Zuständen schwankt.“

Wenn wir die Herrschaft des Willens über die sogenannten willkürlichen Muskeln näher betrachten, so finden wir, dass sie keine absolute ist.

Wir bringen es zwar dahin, einzelne Muskeln für sich zu contrahiren, d. h. einen Willensimpuls nur auf jene Nervenfasern wirken zu lassen, welche

diesen Muskel versorgen, wir können aber niemals einzelne Abtheilungen eines Muskels, einzelne Fasern desselben isolirt willkürlich contrahiren.

Auch die Herrschaft des Willens über einzelne Muskeln ist im Allgemeinen keine ursprüngliche, angeborne. Es sind vielmehr bestimmte Muskelgruppen z. B. die der Arme, der Beine in einem bestimmten Rapport und wir lernen erst im Laufe der Zeit gewisse Muskeln aus diesen Gruppen zu isoliren.

Das Kind lernt den Gebrauch seiner Glieder allmählig.

Diejenigen unter Ihnen, welche musikalische Instrumente spielen, erinnern sich aus ihrer Lehrzeit gewiss, dass sie neben den Griffen und Anschlägen, wie sie ihnen der Meister vormachte, eine Menge anderer unnöthiger und störender Bewegungen ausführten und wie sie erst nach und nach die letzteren zu vermeiden lernten.

Dies war eben in dem Grade der Fall, als Sie lernten ihre Willensimpulse zu isoliren.

In demselben Maasse, als Sie die für Ihre Zwecke unnöthigen Mitbewegungen vermieden, ermüdeten Sie aber auch weniger.

Das, was eben auseinander gesetzt wurde, gilt aber überhaupt für die Erlernung aller Fertigkeiten.

Es kommt vor, dass gewisse Menschen ihr ganzes Leben hindurch nicht lernen, die intendirten Bewegungen allein auszuführen. Sie bringen es nicht zur gewöhnlichen Geschicklichkeit des täglichen Lebens,

machen eine Menge unnöthiger Anstrengungen und verfehlen oft ihre Zwecke, man nennt sie linkisch.

Die Dressur unserer zahmen Arbeitsthierc zielt wenigstens theilweise auf die Ertheilung jener Geschicklichkeit ab, welche zu ausdauernden Muskelarbeiten so nothwendig ist.

Man hat in Fabriken die Beobachtung gemacht, dass Arbeiter, welche zu den tüchtigsten gehörten, so lange sie zu einer gewohnten, längere Zeit gepflogenen Arbeit verwendet wurden, nicht mehr mit derselben Ausdauer und mit demselben Nutzeffect arbeiteten, wenn ihnen plötzlich eine andere Arbeit zu Theil wurde.

Der Grund davon ist klar, sie mussten hier eine neue Lehrzeit durchmachen.

Auch das Turnen, namentlich beim Militär, wird man aus unserem Gesichtspunkte betrachten müssen.

Wenn der Soldat im Handgemenge auf schwierigem Terrain seinem Feinde Mann an Mann gegenübersteht, wird der Geschicktere nicht nur den Vortheil der schnelleren Wendungen voraus haben, sondern, was noch mehr in Betracht kommt, der Geschicktere wird, weil er unnöthige Bewegungen neben den intendirten, wie von selbst vermeidet, auch um Vieles später ermüden.

Diese Beispiele liessen sich noch vervielfältigen.

Ich will aber die ganze Reihe unserer Betrachtungen abschliessen.

Blicken Sie zurück auf Alles, was ich Ihnen über die Muskelleistungen gesagt habe und wenden Sie dasselbe auf einen bestimmten individuellen Organismus an.

Dann wird Ihnen sogleich klar sein, dass die Muskelleistungen desselben, eine der bekannten Wärmeproduction im Thierleibe ganz ähnliche Production bewegender Kräfte voraussetzen.

So wie für die Wärme, so macht das Individuum auch für seine Muskelleistungen beständige Ausgaben.

Es verbrennt seine eigene Substanz und muss diese Verluste von Aussen her bedecken durch Aufnahme von Nahrungsmitteln.

In letzter Instanz sind also diese das Brennmaterial, sie müssen alle zur Ausgleichung der Verluste nothwendigen Bedingungen in sich tragen und damit stimmt die Erfahrung auch durchaus überein.

Der Organismus ist der Herd für die Verbrennung der Nahrungsmittel. Wärme und bewegende Kraft werden gewonnen. Die Oxydationsproducte welche dabei entstehen, werden in den Lungen als  $\text{CO}_2$ , in den Nieren als Harnstoff, Harnsäure, Hippursäure, Kreatin, Kreatinin, Milchsäure und wie die Harnbestandtheile alle heissen aus dem Organismus entfernt.

Die Principien, nach welchen wir den Haushalt eines Individuums im Interesse der Physiologie, der

Diätetik, Medicin, der Volkswirthschaft u. s. w. abzurechnen hätten, sind damit klar vorgezeichnet.

Wir müssten erforschen, welche Kraftsumme (latente Wärme) es in einer bestimmten Zeit mit der Nahrung einführt.

Als Einheit würden wir uns bei unserer Rechnung der Wärmemenge bedienen welche 1 Gr. Wasser von 0<sup>o</sup> bis 1<sup>o</sup> C. erwärmt, der ein mechanisches Aequivalent von 420 Metergrammen entspricht.

Wir müssten ferner feststellen, wie viel von der aufgenommenen latenten Wärme den Organismus als solche wieder verlässt, denn die früher aufgezählten Harnbestandtheile sind selbst noch verbrennlich und nicht die letzten Oxydationsproducte organischer Substanzen.

Wir müssten ferner erfahren, wie viel von der verbrauchten Kraftsumme zur Erhaltung der Eigenwärme verwendet wird, wie viel etwa zur Erzeugung elektrischer Kräfte, wie viel endlich zur Erzeugung von bewegender Kraft.

Der praktischen Wichtigkeit halber müssten wir vielleicht sogar noch kennen lernen, wie viel von der letzteren nicht den Zwecken des Organismus allein, dem Kreislauf, der Athmung etc. gedient hat, sondern gegen einen bestimmten Tauschwerth von dem Arbeiter zum Nutzen des Arbeitgebers verwendet werden kann.

Dass die Wissenschaft solche Ziele anstrebt, dafür liefern zahlreiche Versuche, welche oft mit einer bewundernswerthen Ausdauer angestellt sind, den Beweis.

Allein die Schwierigkeiten, welche sich entgegenstellen sind unendlich gross und es wird vielleicht noch lange Zeit dauern bis hier jene glückliche Vermählung zwischen Theorie und Praxis stattfinden kann, die auf anderen Gebieten so herrliche Früchte getragen.

Hier befinden wir uns noch ganz auf dem Felde der Empirie.

In theoretischer Beziehung haben wir nur einen Ausblick in die Zukunft offen, wie er sich uns schon früher auch in einer anderen Richtung eröffnen konnte, als wir während unserer Betrachtungen über die Muskeln einen Streifzug auf das Gebiet der Nervenlehre unternehmen mussten.

Kaum drei Decennien genügten, um dort grosse Entdeckungen zu machen, wo man früher gar nichts wusste.

Und die Physiologie rückt noch heute bewaffnet mit dem Rüstzeug der exacten Wissenschaft immer weiter vor.

Wie weit wird sie den Menschen in der Erkenntniss seiner eigenen Lebensvorgänge führen?

Geben Sie die Zeit nicht verloren, die uns zu solchen Fragen gebracht; die Stunde in der wir so eben über das Walten der Naturkräfte in unserem eigenen Leibe nachgedacht haben.

---

## Tafel - Erklärung.

Die beigegebene Tafel ist ein schwaches Abbild einer der prachtvollsten mikroskopischen Erscheinungen. Sie ist die Copie eines Farbendruckes, welchen Brücke seiner Abhandlung über die Untersuchung der Muskelfasern im polarisirten Lichte (Denkschriften der kais. Akademie der Wissenschaften. Mathem. naturw. Klasse Bd. XV.) beigegeben hat. Es sind Muskelfasern von unserem hier einheimischen pechschwarzen Wasserkäfer (*Hydrophilus piceus*).

Die Muskelfasern des Menschen und der Wirbelthiere stimmen in allen wesentlichen Punkten mit ihnen überein.

Die Farbe des Grundes ist die Farbe einer dünnen doppeltbrechenden Platte (Glimmerplatte), welche sich zwischen gekreuzten Nicol'schen Prismen auf dem Tisch des Polarisations-Mikroskopes befindet, sie dient als Objectträger. Liegt ein einfach brechender Körper darauf, so ändert dieser die Farbe des Grundes nicht. Liegt hingegen über der Glimmerplatte ein doppeltbrechender Körper, so werden die optischen Wirkungen desselben je nach seiner Lage auf der Glimmerplatte einer Vermehrung oder Verminderung der Dicke der Glimmerplatte gleichkommen. Da aber von der Dicke einer doppeltbrechenden Platte die Farbe abhängig ist, welche sie bei einer bestimmten Orientirung im polarisirten Lichte zeigt, so wird sich dort, wo ein doppeltbrechender Körper auf der Glimmerplatte liegt, die Farbe ändern.

Demgemäss erscheinen in unserem Bilde die doppeltbrechenden Abschnitte der Muskelfasern blau, die einfach brechenden in der Farbe des Grundes. Lägen die Fasern senkrecht zu ihrer jetzigen Richtung, so würde die Farbe

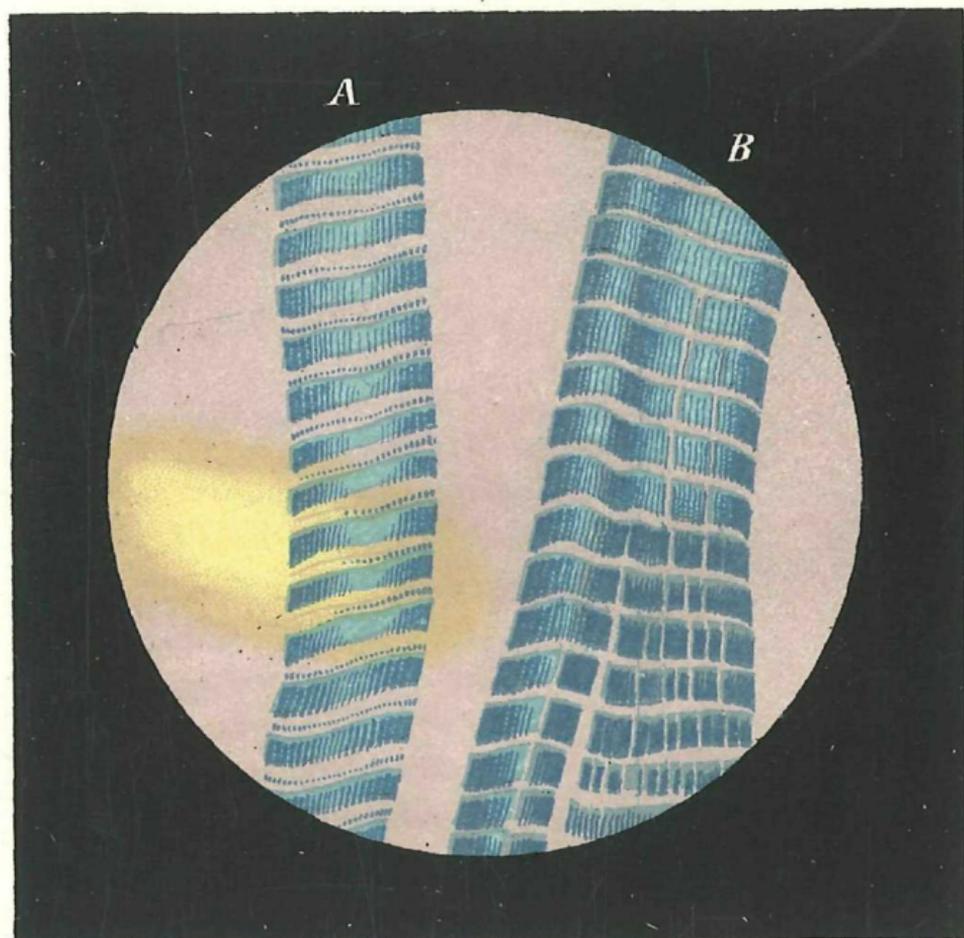
des Grundes im entgegengesetzten Sinne geändert, die doppeltbrechenden Abschnitte würden uns gelb erscheinen. Dies ist angedeutet durch den länglichen gelben Fleck in der Figur, er entspricht einer Muskelfaser, welche unter dem blauen liegt, auf welche das Mikroskop nicht gleichzeitig scharf eingestellt werden konnte, daher sie nur ein verwaschenes Bild lieferte.

Man sieht ferner, dass die doppeltbrechenden Abschnitte des Muskels eine Längsstreifung erkennen lassen, dies rührt her von der Zusammensetzung jener Abschnitte aus kleinen prismatischen Stückchen, welchen der englische Physiologe Bowman den Namen „sarcous elements“ gegeben hat.

Diese sarcous elements sind in verschiedenen Muskelfasern verschieden gross. Käfer zeichnen sich durch die Länge ihrer sarcous elements aus. Ihre Grösse wechselt aber auch in verschiedenen Muskeln desselben Thieres, ja es folgen oft in demselben Muskel kürzere und längere aufeinander. (Siehe A). Oft zeigt ein Abschnitt einer Faser ein anderes Schema, als ein anderer. Wenn der Muskel sich contrahirt, verkürzen sich die sarcous elements, dabei werden sie nicht stärker lichtbrechend.

Aus diesen und noch einigen andern Beobachtungen folgert Brücke, dass die sarcous elements ihren Namen eigentlich nicht verdienen, da sie selbst noch aus kleineren doppeltlichtbrechenden Körperchen zusammengesetzt gedacht werden müssen, für welche er den Namen Disdiaklasten eingeführt hat. Die verschiedenen sarcous elements sind verschieden angeordnete Gruppen dieser noch kleineren Körperchen.

---



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1863

Band/Volume: [2](#)

Autor(en)/Author(s): Rollett Alexander

Artikel/Article: [Die Arbeit durch Muskelkraft. \(1 Tafel\) 433-472](#)