

Ueber Mosso's Ergographen

mit Rücksicht auf seine physiologischen und
psychologischen Anwendungen.

Von

Robert Müller.

Mit Tafel I.

Im Jahre 1890 beschrieb Mosso¹⁾ einen Apparat, den er als Ergographen bezeichnet, und der ganz im allgemeinen den Zweck hat, zur Untersuchung der Leistungen von Muskeln am lebenden Menschen zu dienen. Der Apparat wurde wiederholt in der experimentellen Psychologie benutzt, um die Verhältnisse auch bei psychischen Leistungen und Ermüdungsvorgängen zu untersuchen. Vor allem glaubte man für die Anwendung des psychologischen Experiments in den Schulen ein geeignetes Instrument gefunden zu haben, um aus dem Ergogramm, der graphisch mittelst dieses Instrumentes aufgezeichneten Arbeitscurve, und seinem Verlaufe Rückschlüsse zu ziehen auf das Zustandekommen und den Grad der Ermüdung. Da der Ergograph leicht anzuwenden und die Durchführung einer größeren Anzahl von Versuchen ohne allzugroßen Zeitaufwand möglich ist, da ferner die aufgezeichneten Curven, wie es von vornherein scheinen möchte, über eine Anzahl der wesentlichsten in Betracht kommenden Factoren Aufschluss geben, so wäre der Ergograph ein sehr brauchbares und vielfältig anwendbares Instrument.

Da aber anderseits die physiologischen Verhältnisse der in Betracht kommenden Bewegungsvorgänge ziemlich verwickelte sind, so

1) Mosso, Archives italiennes de biologie. XIII. p. 123—186. 1890. — Archiv für Anatomie und Physiologie. 1890. Physiolog. Abtheilung. S. 89. — Reale Accademia dei Lincei. Série 4^e. vol. V. 1888.

schien es wünschenswerth, beim Arbeiten mit dem Ergographen immerhin auf dieselben zu achten, und beim weiteren Arbeiten drängten sich auf Grund der Beobachtung eine Reihe von Bedenken auf, welche der Inhalt der folgenden Auseinandersetzungen sind.

Die Frage, die im vorliegenden Falle zum Experimentiren mit dem Ergographen geführt hatte, war eine recht eigenartige. Bekanntlich ist zur Zeit das Interesse der Psychologen der Frage zugewandt, wie die willkürliche Arbeitsleistung der Muskulatur zu rhythmischen Eindrücken sich verhalte. So interessant diese Frage sein mag, so liegt hier doch eine ganze Reihe psychologischer Probleme vor, welche auf die Relationen der Gehörsvorstellungen zu Bewegungsvorgängen, Bewegungsempfindungen und Bewegungsvorstellungen sich beziehen, und unter diesen Beziehungen ist vor allem eine, welche culturhistorisch wie psychologisch und musiktheoretisch gleiches Interesse besitzt, die Frage nach der psychologischen Grundlage der »Neumen«¹⁾. Bekanntlich griff das Mittelalter bei der Aufzeichnung von Melodien nicht zu der griechischen Notenschrift, die ihm doch sicherlich bekannt war, sondern benutzte zur Niederlegung der Normen des liturgischen Gesanges in der Kirche eine Zeichenschrift, die ganz anderen Ursprunges war und als »Neumenschrift« bezeichnet wurde. Diese hatte im Mittelalter weite Verbreitung: so fand sie sich im 5.—7. Jahrhundert bei Juden, Griechen, Römern, Germanen und Slaven und wird überall in den kirchlichen Vortragsbüchern angewandt. Schon das Wort »Neuma« weist auf den Ursprung dieser Zeichen aus Ausdrucksbewegungen hin, aus Willens- oder Gefühlsäußerungen, wie der Freude und der Furcht, die durch Geberden der Hände, des Gesichtes, oder durch die ganze Körperhaltung zum Ausdruck gebracht werden. In diesem Sinne gebraucht noch Notker von St. Gallen im XI. Jahrhundert des öfteren die Worte: »Freude zeigen mit Neumen, wie wir es mit Worten nicht können«²⁾, und diese Bedeutung hat das Wort Neuma bis zur Gegenwart im Spanischen behalten³⁾. An den Neumen lässt sich verfolgen, in welcher Weise aus diesen Ausdrucksbewegungen zunächst

1) Oskar Fleischer, Neumenstudien. 2 Bde. Leipzig 1895.

2) Vergl. Graff, Althochdeutscher Wortschatz. Berlin 1836. II. p. 1089 ff.

3) Diccionario nacional von Don Ramon Joaquin Dominguez. Madrid 1857.

ein kunstvolles System willkürlicher Bewegungen wurde, um den Chor, der auch im Gottesdienste auftrat¹⁾, richtig zu vertheilen und zu lenken und mittelst Bewegungen der Hand den Gang der Melodie anzudeuten. Aus dieser Cheironomie sollen dann, wie Fleischer darzulegen sucht, die Neumen entstanden sein. An der Hand von Fleischer's Darstellung über die Neumen lässt sich deutlich verfolgen, wie aus Ausdrucksbewegungen eine Geberdensprache und aus dieser sich ein System von Schriftzeichen entwickelte. Es ist hier nicht der Ort, auf diese Darlegungen und den mehrfachen heftigen Widerspruch, den sie gefunden haben, einzugehen, sicherlich haben dieselben das Verdienst, von einem großen zusammenfassenden Gesichtspunkte aus die vorliegende Frage in Angriff zu nehmen.

Die Lehre von den Ausdrucksbewegungen und die Entstehung eines willkürlichen Zeichensystemes in dem vorliegenden Falle legte weiterhin ganz im allgemeinen die Frage nahe nach den Beziehungen von Ausdrucksbewegungen zu Gehörsvorstellungen. Direct schien aber diese Frage zunächst schwer in Angriff zu nehmen, die Fragestellung war daher eine viel bescheidenere, sie ging dahin: ob und in welcher Weise die Rhythmisirung von Metronomschlägen die Arbeitsleistung von Muskeln in sicher constatirbarer Weise beeinflusse und wie sich diese Vorgänge der psychologischen Selbstbeobachtung darstellen. Zum Aufzeichnen der Arbeitsleistung wurde Mosso's Ergograph benutzt; mit diesem wurde dann von bestimmten Gesichtspunkten aus eine größere Anzahl von Curven gewonnen. Es sollen aber diese vorläufig nicht näher in Betracht gezogen werden, da zunächst die Leistungen des Apparates selbst eine kritische Besprechung erheischen.

Zu diesem Zweck wurden im psychologischen Institut zu Leipzig im Sommer 1900 Versuche ausgeführt, an denen die Herren Köhler, Bergemann, Dr. Möbius und Claus theilnahmen, denen ich auch hier gerne für ihre Theilnahme Dank sage. Dass die Arbeit in der vorliegenden Form nicht auf die unmittelbare Initiative von

1) Fleischer, I, S. 28. »In der That war daher bei den Griechen der »Tanz ein Theil des Gottesdienstes, und die ältesten Christengemeinden, besonders des Orients, nahmen, auch hierin die Hellenen nachahmend, ebenfalls den »Tanz mit in ihren Gottesdienst auf. Hat doch unser kirchlicher »Choral, cantus choralis, seinen Ursprung im χορός, chorus der Alten.«

Herrn Professor Wundt zurückgeht, möchte ich besonders erwähnen, da ich für den polemischen Inhalt derselben allein verantwortlich bin. Die Arbeit Mosso's wird im Folgenden nach den Archives italiennes de biologie XIII citirt werden.

Der Theil des Apparates, der zur Festlegung des Armes diente¹⁾, wurde am Tische angeschraubt parallel und am Rande der Tischkante. Die Schreibvorrichtung war so aufgestellt, dass der zu den Rollen und zum Schreibstifte gehende Faden in derselben Ebene lag wie die Saite, welche die zu hebende Belastung trug. Dadurch war die Reibung so gering wie möglich, der Schreibstift folgte allen Bewegungen und zeichnete dieselben in ihrer wahren Größe auf. Zur Aufnahme der Curven diente eine durch ein Gewichtsuhrwerk in Bewegung gesetzte Kymographiontrommel von 50 cm Umfang; gearbeitet wurde stets mit verticaler Achsenstellung der Trommel. Die Schreibung war eine tangentielle und orthogonale, indem der Schreibstift in einer vertikalen Führung ging. Die Reibung des Stiftes an der Schreibfläche, als welche berußtes weißes Glanzpapier diente, konnte so weit vermindert werden, dass sie die Curven nicht im mindesten verunstaltete; bei einigermaßen sorgfältigem Arbeiten waren Fehler, die aus der Art der Aufschreibung herrührten, bequem zu vermeiden.

Um den Arm zu fixiren, wurde die Abduction des Oberarmes im Schultergelenke so gewählt, dass derselbe mit der Sagittalebene einen Winkel von etwa 60° bildete. Bei diesem Grade der Abduction bleibt das Schulterblatt im wesentlichen in seiner ursprünglichen Lage stehen, bei diesem Grade der Abduction zeigt auch das Schlüsselbein keine nennenswerthe Abweichung aus der Ruhelage, ebenso wenig zeigte sich eine functionelle Lordose der Wirbelsäule. Der Oberarm befand sich mit seiner Achse ungefähr in der durch die Gelenkköpfe gelegten Frontalebene. Bei dieser Oberarmstellung ist dann ein bestimmteres Urtheil möglich über die Bewegungsgröße und Bewegungsrichtung, welche die am Oberarm inserirenden Muskeln leisten können. Die Stellung des Armes im Ellenbogengelenke war eine wechselnde zwischen stumpfwinkliger und spitzwinkliger Beugung, es zeigte sich, dass dieser Umstand von

1) Vgl. Mosso S. 125. 126.

wesentlichem Einfluss werden kann. Der Unterarm war mittelst eines ersten Riemens über die Ellenbeuge, mittelst eines zweiten über seine Mitte gelegten, und mittelst eines dritten Riemens, der wenig entfernt vom Carpus lag, fixirt. Ein weiterer Riemen war über den Handrücken gelegt, der zweite und vierte Finger waren in den entsprechenden Haften, und der Mittelfinger in der Fingerhülle befestigt. Die Application dieser Fingerhülle muss mit einiger Sorgfalt erfolgen, sie muss genau bis in die Mitte der Grundphalange vorgeschoben werden; schiebt man sie weiter vor, so klemmt sie bei starker Flexion die Hautfalten zwischen den Fingern; sie muss aber bis zur Mitte der Grundphalanx vorgeschoben werden, um den Effect der Beugung im ersten Interphalangealgelenk auszuschließen. Um ein Abrutschen der Fingerhülle zu verhüten, muss dieselbe ziemlich fest angezogen werden; das hat zwei Bedenken, einerseits wird die Sehne mitfixirt und so an ihrem vollständigen Gleiten verhindert — wenn man den später zu besprechenden Mechanismus der Fingerbeugung bedenkt, kann diese Störung keine ganz unbedeutende sein — anderseits wird durch die starke Compression die Circulation des Fingers gehemmt, was daran erkenntlich ist, dass nach längeren Versuchen der Finger cyanotisch wird und sich kühl anfühlt.

Der erste wesentliche Gesichtspunkt, von dem aus gegen den Ergographen Einwände erhoben werden können, besteht nun darin, dass nicht ein Muskel oder eine kleine scharf bestimmte Muskelgruppe bei der Entstehung des Ergogramms thätig sind, sondern eine ganze Anzahl von Muskeln.

Auch Mosso geht davon aus, dass die Isolirung eines Muskels Voraussetzung für diese Versuche ist: »Les difficultés, que je dus surmonter, sont essentiellement les deux suivantes: la première consiste à bien isoler le travail d'un muscle de manière qu'aucun autre muscle ne puisse l'aider, lorsqu'il est fatigué; la seconde à tenir bien fixe une extrémité du muscle, tandis que l'autre inscrit les contractions. J'ai essayé avec les fléchisseurs du pouce, avec l'adducteur de l'index, avec le biceps brachial, avec le deltoïde, avec le gastrocnémus, avec les masséters. Mais c'est seulement avec les fléchisseurs des doigts de la main (*M. flexor digitorum communis sublimis* et *profundus*) que j'ai obtenu des résultats satisfaisants«. Es wird nun nachzuweisen sein, dass die erste Schwierigkeit durch die Con-

struction des Ergographen keineswegs überwunden ist, dass sich vielmehr durch unmittelbare Beobachtung, wie an der Hand der Litteratur der Nachweis führen lässt, dass Mosso's Annahmen über die physiologischen Vorgänge bei der Fingerbeugung und -streckung theils unzulänglich, theils falsch sind. Mosso hat keine genügende Analyse der in Betracht kommenden Bewegung gegeben, alles was er eigentlich darüber sagt, ist: »On comprend, qu'il y a, isi, deux muscles qui travaillent en même temps: le fléchisseur profond et le fléchisseur superficiel des doigts, et que les muscles interosseux ne sont pas absolument exclus«. Demjenigen, der zum ersten male ohne genügende Vorsicht und Vorkenntnisse an die Benutzung des Ergographen herantritt, könnte es scheinen, als ob dies zutrefte, als ob das Werthvolle der Versuchstechnik mit dem Ergographen darin bestehe, dass die Isolirung der langen Fingerbeuger durchgeführt sei, dass also die Verhältnisse in der Weise vereinfacht seien, wie wenn man an einem isolirten Froschgastrocnemius arbeite. Dem ist aber nicht so.

Wenn man nämlich während der Flexion aufmerksam den Handrücken betrachtet, dann sieht man, abgesehen von dem Spiele der langen Extensorensehnen, in den Interstitien der Metacarpalknochen Bewegungen, die nach ihrem Aussehen weder auf eine passive Mitbewegung durch die Haut oder durch die Extensorensehnen zu beziehen sind, die man demgemäß als von einer Betheiligung der Interossei herrührend anzusehen hat. An der Hohlhand sieht man nichts derartiges. Das ist nicht verwunderlich, wenn man die anatomischen Verhältnisse der Subcutis und der Palmaraponeurose und der darunter liegenden Gebilde bedenkt. Natürlich ist es unmöglich, aus den Bewegungserscheinungen in den Metacarpalinterstitien auf Grund des bloßen Zusehens einen bindenden Schluss auf die Betheiligung der Interossei und eventuell auch der Lumbricales zu ziehen. Dass thatsächlich der Flexor sublimis und profundus gar nicht die alleinigen Fingerbeuger sind, geht aus Duchenne's¹⁾ Angaben hervor²⁾: »Nach den allgemein acceptirten Vorstellungen waren die

1) Duchenne, Physiologie der Bewegungen, übersetzt von C. Wernicke. Cassel 1885. S. 117.

2) Während der Ausarbeitung hatte ich Gelegenheit, die Symptome einer

Extensores digitorum und der **Flexor sublimis** und **profundus** die einzigen bekannten Muskeln, welche die Phalangen der Finger streckten oder beugten, und dessen ungeachtet sah ich bald die beiden letzten Phalangen sich strecken trotz der Lähmung der **Extensores digitorum**, bald die ersten Phalangen sich beugen, trotzdem der **Flexor sublimis** und **profundus** ihre Wirkung auf die beiden letzten und folglich auch die beiden ersten Phalangen eingebüßt hatten. Anderemale war, obwohl die **Extensores digitorum** und der **Flexor sublimis** und **profundus** vollkommen unverletzt waren, die Streckung der beiden letzten Phalangen unmöglich oder sehr beschränkt, und die ersten Phalangen versagten bei der willkürlichen Bewegung ihren Dienst. Zu diesen functionellen Störungen kamen schwere Verunstaltungen der Hand und selbst Verbildungen der Gelenke, verschuldet durch die fehlerhafte Stellung der Phalangen, welche durch Zugkräfte, die der Thätigkeit der **Extensores digitorum** und des **Flexor sublimis** und **profundus** sicher fremd waren, nach abnormen Richtungen gezogen wurden. Bei diesen verschiedenen Fällen bestanden ursprünglich weder Muskelcontracturen noch Gelenkläsionen, welche als Ursache jener Erscheinungen gelten konnten. So lässt sich von vorne herein vermuthen, dass die **Extensores digitorum** und die langen Fingerbeuger nicht alle drei Phalangen mit gleicher Kraft bewegen, dass sich sogar gewisse Phalangen der Thätigkeit dieser Muskeln unter physiologischen Umständen ganz entziehen; auf die Wirkung der anderen eingreifenden Muskeln ist also die größte Bedeutung zu legen, da sie jederzeit bei der Fingerbeugung in Betracht kommen, und dabei handelt es sich nicht nur um die Betheiligung eigentlicher Beuger, sondern auch um synergistische und wohl auch antagonistische Bewegungsvorgänge. »In der That scheint mir die willkürliche Zusammenziehung eines jeden Muskels — mit alleiniger Ausnahme der Ausdrucksbewegungen des Gesichtes, wie ich an einem anderen Orte gezeigt habe¹⁾ — immer von der unwillkürlichen, oder besser instinctmäßigen Contraction eines anderen Mus-

traumatischen Ulnarislähmung, die seit zwei Jahren bestand, und Anfang Oktober in der Gießener chirurgischen Klinik operirt wurde, genau zu beobachten.

1) Duchenne, *Mécanisme de la physiognomie humaine, ou analyse électro-physiologique de l'expression des passions; applicable à la pratique des arts plastiques.* 1862.

kels begleitet zu werden: Ich werde bald zu zeigen Gelegenheit haben, dass gewisse Phalangen der Finger und des ersten Mittelhandknochens Bewegungen, die wir durch die isolirte Zusammenziehung eines Muskels zu erhalten glauben, willkürlich nicht geschehen können ohne die synergische Contraction eines oder mehrerer Muskeln, die Winslow¹⁾ sehr richtig Moderatoren genannt hat. Diese Muskelcombinationen haben statt, ohne dass wir davon ein Bewusstsein haben, und sie entgehen der Beobachtung, wenn man nicht die größte Aufmerksamkeit darauf richtet«. (Duchenne S. 118.)

Betrachtet man die Bewegung weiter, so sieht man, dass bei jeder Volarflexion der Grundphalange des Mittelfingers eine Dorsalflexion im Handgelenk eintritt und, was wesentlich ist, dass diese Dorsalflexion mit dem Fortschreiten des Versuchs allmählich größere Beträge erreicht. Die Extensoren und Flexoren der Handwurzel sind also bei diesen Versuchen keineswegs unbetheiligt, und sie wirken allmählich mit immer wachsenden Beträgen mit. Bei unbelastetem Finger ist es möglich, bei Ruhigstellung aller übrigen Gelenke die Grundphalange zu beugen, wenn man die Aufmerksamkeit besonders darauf richtet; bei einer größeren Belastung, die am Mittelfinger applicirt wird, ist sie aber nicht ausschließbar. Würde man sie mechanisch unmöglich machen, so wäre die nächste Folge eine hochgradige Abnahme der möglichen Arbeit der Fingerbeuger, außerdem bliebe dann noch der Einwand, dass diese Muskeln doch innervert werden, und im Gegentheil, isometrisch tetanisirt, noch lebhaftere Umsetzungsprocesse bieten. Eine vollständige Darlegung dieser Verhältnisse, die wohl bis in die kleinsten Einzelheiten richtig und bewunderungswürdig ist, wurde von Duchenne gegeben: »Sobald die Streckung der Hand verloren gegangen ist, wird auch die Beugung der Finger infolge der Verkürzung, in die sich dann der Flexor sublimis und profundus versetzt finden, aufs äußerste abgeschwächt. — Mit Unrecht haben die Beobachter, die den Mechanismus dieser Functionsstörung nicht kannten, die scheinbare Schwäche der Finger in diesem Falle einer lähmenden Ursache zugeschrieben. Diese pathologische Erscheinung beweist vielmehr, dass die synergische

1) Winslow, Exposition anatomique de la structure du corps humain. Paris 1732.

Wirkung der Streckmuskeln der Hand für die Flexion der Finger absolut nothwendig, und dass dabei die Kraft ihrer Zusammenziehung der Kraft, mit der die Beugung geschieht, proportional ist«. Um dies zu beweisen, führt Duchenne den Versuch an, dass man mit Hilfe des Dynamometers die Kraft der Fingerbeugung bei einer Hand, die gegen den Vorderarm gebeugt gehalten wird, mit einer Hand, der man die Freiheit lässt, sich während der Beugung der Finger zu strecken, vergleicht. Dabei lässt sich constatiren, dass die Beugung im ersteren Falle drei Viertel ihrer Kraft eingebüßt hat. »Diese Streckbewegung des Handgelenks während der Beugung der Finger ist so instinctiv und geschieht so zwangsweise, dass es Anstrengung kostet, sie zu verhindern. Wenn man z. B. die Hand, die vorher gebeugt und geöffnet war, plötzlich schließen will, so richtet sie sich auf, und ihre Streckmuskeln contrahiren sich um so stärker, je kräftiger die Faust geschlossen wird«. (Duchenne S. 124.)

»So oft ich bei progressiver Muskelatrophie den Flexor sublimis und profundus atrophirt gesehen habe, habe ich jedesmal constatirt, dass bei den Anstrengungen, die die Kranken machten, um die Beugung der Finger auszuführen, die Hand wider ihren Willen in übertriebene Streckstellung gegen den Vorderarm gerieth. Die Function, die darin besteht, die Hand zu schließen, wird durch die synergische und untrennbare Contraction der Beugemuskeln der Finger und der Streckmuskeln der Hand ausgeführt«.

Dieselben Verhältnisse wiederholen sich bei der Streckung, indem die Beugemuskeln der Hand gegen den Vorderarm bei der willkürlichen Contraction des Extensor communis und der Extensores digitorum proprii eine synergische Function zu erfüllen haben, die derjenigen vollkommen entspricht, welche die Streckmuskeln der Hand gegen den Vorderarm bei der willkürlichen Contraction des Flexor digitorum comm. sublimis und profundus zu leisten haben (Duchenne).

»Bei der Bleilähmung habe ich äußerst häufig die partielle Lähmung des Extensor communis und der Extensores proprii digitorum beobachtet, bei gleichzeitiger Integrität einer oder zweier oder selbst aller drei Streckmuskeln der Hand gegen den Vorderarm. In solchen Fällen kann jedermann folgendes beobachten. Wenn das Individuum mit dieser localen Lähmung seine Fingerphalangen gebeugt hält, kann es die Hand kraftvoll gegen den Vorderarm strecken. Will

es aber die Finger ausstrecken, so bleiben seine ersten Phalangen unbeweglich stehen und die Hand beugt sich gegen den Vorderarm mit um so größerer Energie, je größere Anstrengungen der Kranke macht, um die Streckung der Finger herbeizuführen«.

»Ebenso nämlich, wie die Streckung der Hand für die Beugung der beiden letzten Fingerphalangen nothwendig ist, ebenso ist die synergische Contraction der Beugemuskeln der Hand gegen den Vorderarm untrennbar mit der Muskelfunction verknüpft, die die willkürliche Streckung der ersten Fingerphalangen hervorbringen soll. Der instinctive Zweck dieser Mitwirkung der Beuger der Hand gegen den Vorderarm bei der Streckung ist der, den Extensor communis und die Extensores proprii der Finger in eine größere Elongation zu versetzen, um ihre dynamische Wirkung zu verstärken« (Duchenne S. 129).

Die Wirkung des Extensor communis und der Extensores proprii (indicis et digiti minimi) auf die zwei letzten Phalangen sind ziemlich gering, sodass, wenn diese Muskeln die einzigen Fingerstrecker waren, die Finger jedesmal, wenn die Hand gegen den Vorderarm zurückgebogen wird, die Form von Krallen annehmen (vergl. Duchenne, Fig. 23, S. 231). Diese Muskeln sind demgemäß keineswegs die Extensoren aller drei Phalangen, sondern haben eine Wirkung strenggenommen nur auf die Grundphalangen, weshalb sie eigentlich als »Strecker der ersten Phalangen« zu bezeichnen sind. Dazu kommt, dass einzelne Partien des Extensor digitor. communis, und zwar diejenigen, die zum II., IV. und V. Finger gehen, Seitwärtsbewegungen dieser Finger bewirken; nur dem zum Mittelfinger gehenden Bündel fehlt die Componente, sodass auch in diesem Punkte der Mittelfinger die Achse der Hand ist, was zuerst von Cruveilhier erkannt wurde und als Voraussetzung für die Erklärung der Wirkung der Interossei benutzt wurde.

Für das Verständniss dieser synergistischen Functionen der Extensoren werden diese wenigen Zeilen hoffentlich genügen¹⁾. Es ist nun nöthig, noch einiges über die langen Fingerbeuger zu sagen, um dann endlich zu erklären, welche Muskeln eigentlich die Beuger

1) Zur Analyse der Fingerbeugung bei der Faustballung vergl. die schöne Arbeit von H. E. Hering in Pflügers Arch. LXX. S. 559—621. 1898.

der Grundphalangen seien, welche Muskeln es also sind, die für die Entstehung des Ergogramms mit in erster Linie in Betracht kommen.

»Die elektrische Contraction des Flexor sublimis und des Flexor profundus bewirkt die von allen Autoren beschriebenen Beugebewegungen der zwei letzten Phalangen, d. h. der Flexor sublimis beugt die zweite Phalanx gegen die erste, wobei die dritte Phalanx in Streckung bleibt, und der Flexor profundus beugt die beiden letzten Phalangen gegen die erste, wobei die dritte Phalanx in Streckung bleibt, und der Flexor profundus beugt die beiden letzten Phalangen gegen die erste.« »Was die Beugewirkung betrifft, die diese Muskeln auf die ersten Phalangen ausüben, so ist sie sehr schwach, sehr secundär, weil sie gewöhnlich erst eintritt, wenn die Muskeln sich schon im Zustande der Verkürzung befinden« (Duchenne S. 133).

Schließlich lässt sich auf experimentellem Wege der Beweis führen, dass die Extensores digitorum über die beiden langen Fingerflexoren die Oberhand behalten, und es lässt sich zeigen, dass diese Muskeln auf die Grundphalangen nicht so viel Einfluss haben, dass man sie als Antagonisten oder Moderatoren der langen Fingerstrecker, die eigentlich die Extensoren der Grundphalangen sind, auffassen dürfte. Dies war Mosso, wie es scheint, unbekannt. Die Function der beiden langen, gemeinschaftlichen Fingerbeuger lässt sich so auffassen, dass, wenn man ihre Benennung von der ihnen eigenthümlichen Wirkungsweise herleiten wollte, man den Flexor sublimis als Beuger der zweiten Phalangen, und den Flexor profundus als Beuger der zwei letzten Phalangen bezeichnen müsste. Die eigentlichen Beuger der Grundphalangen und die Extensoren der beiden vorderen Phalangen sind die Interossei zum Theil im Zusammenwirken mit den Lumbricales: »Die elektrische Reizung jedes Zwischenknochenmuskels der Hand bewirkt drei aufeinander folgende Bewegungen: 1) Bei einem mäßigen Strome wird der Finger in Abduction oder Adduction, je nach der Lage des der Faradisation unterworfenen Muskels geführt. 2) Bei einem stärkeren Strome strecken sich die dritte und die zweite Phalanx gegen die erste. 3) Während die letztere Bewegung stattfindet, beugt sich gleichzeitig die erste Phalanx gegen den Mittelhandknochen.« »Die Contraction der Lumbricales ruft die beiden letzten Bewegungen hervor, d. h. die Streckung der beiden letzten und die Beugung der ersten Phalangen.«

»Die *Musculi interossei* und *lumbricales* bewirken die Streckung der beiden letzten Phalangen mit solcher Energie, dass sie in Zukunft als ihre wirklichen Streckmuskeln betrachtet werden müssen, während die Streckmuskeln, die vom Vorderarm kommen, sehr schwache Hilfsmuskeln dafür sind. Diese Thatsache stellt sich bei folgendem Versuch unbestreitbar heraus: Wenn man den elektrischen Reiz ausschließlich auf das Bündel beschränkt hat, das vom *Extensor digitorum communis* kommt und zum Mittelfinger zieht, und nun, während durch dessen Contraction die erste Phalanx desselben allein gestreckt ist, ein paar andere Elektroden an den adducirenden *Interosseus* des Mittelfingers anlegt, so sieht man, wie sich unter dem Einfluss dieser *Interosseus*reizung die beiden letzten Phalangen des Mittelfingers sofort gegen die erste, schon in Streckstellung gegen ihren Mittelhandknochen befindliche Phalanx strecken« (Duchenne S. 136).

Durch die Faradisation ist leicht zu constatiren, dass die *Interossei* und *Lumbricales* die ersten Fingerglieder mit größerer Kraft beugen, als der *Flexor sublimis* und *profundus*, welche, wie oben auseinandergesetzt ist, bei dem Zustandekommen dieser Bewegung nur schwach mitwirken. Dazu sind die *Interossei* die einzigen Muskeln, die der tonischen Kraft der *Extensores digitorum* in ihrem Bestreben, die ersten Phalangen gegen die Mittelhandknochen zurückzubiegen, das Gegengewicht halten können. Die *Interossei* sind die einzigen Antagonisten der Flexoren für die beiden letzten Phalangen und der Extensoren für die Grundphalangen.

Damit dürften wohl die wichtigsten Momente erwähnt sein, welche thatsächlich die physiologischen Verhältnisse der Fingerbeugung und -streckung beherrschen, und es ist wohl der Beweis erbracht, dass die Verhältnisse anders liegen, als wie *Mosso* auf Grund nicht genügender Analyse annimmt. Die *Interossei* wirken nicht nur nebensächlich mit, sondern sie sind beinahe die wichtigsten Muskeln für die Entstehung des Ergogramms.

Es ist unnöthig, an dieser Stelle die anatomischen Verhältnisse der Fingersehnen zu besprechen. Von den geistvollen Irrthümern *Galien's* und *Vesal's* (1519) an führten die Arbeiten des *Realdus Columbus* und *Fallopia* (1561) bis auf *Winslow* (1732) zu einer richtigen Ermittlung der höchst interessantesten Aponeurosenverhältnisse, ohne welche die Wirkungsweise der Fingermuskeln unverständlich ist.

Die lange Arbeit, die darauf verwendet wurde, gerieth mit dem Ende des 18. Jahrhunderts in Vergessenheit, und durch Chassaignac (1846) und Jean Parise (1842) wurde einiges davon als Neuentdeckungen und nur unvollständig wieder mitgetheilt. Dieses Vergessenwerden hing damit zusammen, dass diesen Thatsachen ohne einen richtigen Einblick in die Function der Lumbricales und Interossei, der zuerst von Duchenne gewonnen wurde, eine eigentliche Bedeutung nicht recht zukam; erst durch Duchenne und Cruveilhier wurden die früher bekannten Thatsachen wieder ans Licht gezogen und in ihrer wahren Bedeutung verständlich. Beim Eingehen auf diese Sehnenverhältnisse würde sich wiederum ergeben, dass von einer physiologischen Isolirung der langen Fingerbeuger gar nicht die Rede sein kann.

Beobachtet man die Bewegung bei fortschreitender Ermüdung weiter, so sieht man an den Sehnen, dass auch die langen Daumenmuskeln betheilt werden, dann sieht man, namentlich bei stumpfwinklig gebeugtem Oberarm, den Muskel, der die Form der Ellenbeuge wesentlich bestimmt, den Brachialis internus, ferner die Tricepsgruppe und den Biceps in Mitwirkung treten; so weit wurde in den Versuchen die Bewegung genau beobachtet, aber ausgeschlossen ist es nicht, dass schließlich noch die ganze Schultermuskulatur bis zum Omohyoideus sich betheilt.

Aus dieser Beobachtung geht hervor, dass, wenn man am Ergographen etwa den Antheil des Flexor communis sublimis und profundus, deren Sehnen am Mittelfinger inseriren, ermüden will, dies gar nicht isolirt möglich ist. Von vornherein wirken, fast überwiegend, andere Muskeln mit, die Interossei und Lumbricales; allmählich werden noch weitere Muskeln herangezogen. Das Ergogramm ist also kurz gesagt die Resultante einer Reihe sich superponirender Wirkungen verschiedener Muskelgruppen, die in ganz verschiedener Weise ermüdet werden. Es ist wohl anzunehmen, dass bei den Versuchen mit dem Ergographen die in Betracht kommenden kurzen Handmuskeln vollständig ermüdet werden, dasselbe kann man wohl für den Mittelfingerantheil des Flexor sublimis annehmen. Dagegen ist es mir unmöglich, zu sagen, wie es sich mit dem Flexor digitor. communis profundus verhält: aufmerksames Palpiren der Sehne spricht dafür, dass er während des ganzen Verlaufes der Bewegungen maximal

mitwirkt, doch ließ die an sich wenig zuverlässige Palpation des Muskelbauches, zumal alle diese Muskelbäuche in der Gegend der Ellenbeuge und des Epicondylus medialis dicht gedrängt und einander zum Theile überdeckend zusammenliegen, kein sicheres Urtheil gewinnen. Die Muskeln, welche mit ihren distalen Sehnen am Vorderarm inseriren, können die Curve unmittelbar beeinflussen, indem sie den ganzen Vorderarm mit der Hand verschieben; es ist sehr schwer, ohne die Versuchsperson sonst zu stören und zu belästigen, diese Verschiebbarkeit auszuschließen. Eine Contraction des Brachialis internus und Biceps würde dann auf die Curve wie eine Verstärkung der Flexion wirken, die Wirkung der Tricepsgruppe würde sich als eine Verstärkung der Extension und Verminderung der Flexion darstellen. Ist aber der Unterarm unbeweglich fixirt, so kommt es schließlich bei höheren Belastungen (3000—6000 g) und starker Anstrengung des Reagenten dazu, dass der Schultergürtel bewegt wird, und endlich, als äußerstes, dass Rotationsbewegungen in den Wirbelgelenken stattfinden. Dabei schließt die Versuchsanordnung eine definitive Ermüdung der höher segmentirten Muskeln aus, da diese nicht zur maximalen Contraction kommen können. So ist es möglich, dass man, wenn die Versuchsperson sich anstrengt, durch mehrere Minuten eine lange Reihe niedriger und constant hoher Erhebungen bekommen kann (man vergleiche den hinteren Abschnitt der von Mosso S. 141 abgebildeten Curve)¹⁾, die auf die Einwirkung jener proximal liegenden als Fingerbeuger gar nicht in Betracht kommenden Muskeln zu beziehen ist. Der Beweis dafür wurde direct geführt, indem in einem Versuche, bei dem ich selbst Versuchsperson war, durch kräftige isolirte Faradisirung des Flexor carpi ulnaris und Anconaeus quartus die Curve gewonnen wurde, welche Fig. 1 Tafel I abgebildet ist. Solche Versuche wurden noch des öfteren ausgeführt, um eine weitere Angabe Mosso's zu prüfen, und ergaben stets ein gleichartiges Resultat. Bei Faradisirungsversuchen vom Medianus aus ergab sich noch etwas, was mit den vorstehenden Ausführungen übereinstimmt: es gelang nämlich durch Faradisirung vom Medianus aus durchaus nicht, Curven zu erhalten, die an Regelmäßigkeit und Arbeitsgröße die bei willkürlicher Coordination entstandenen erreichen,

1) Ebenso Fig. 2 der beigelegten Tafel I, die untere Curve.

was wohl auf das Fehlen der Action der kurzen Handmuskeln zu beziehen ist.

Die vorstehende Analyse der verschiedenen beteiligten Bewegungen stützt sich auf die genaue Beobachtung derselben; ob man aus dem Ergogramm auf die Superposition der beteiligten Wirkungen Rückschlüsse machen kann, ist besonders zu untersuchen, es scheint thatsächlich, wenn auch unsicher und schwierig, möglich zu sein. Dagegen muss betont werden, dass unmittelbar eine Abgrenzung jener Superpositionen unmöglich ist, und dass namentlich die letzten Theile des Ergogramms in ihrem Wesen und in ihrem Werthe gleich problematisch sind. Dass die isolirte Ermüdung eines Muskels oder einer Muskelgruppe mit dem Ergographen nicht ausführbar ist, ist ersichtlich; ob der Apparat so modificirt werden kann, dass er dies leistet, ist bei den mechanischen Verhältnissen unserer Muskulatur überhaupt unwahrscheinlich, denn wir agiren physiologisch niemals mit einem Muskel, sondern immer mit Muskelgruppen, und eine zu Stande kommende Bewegung ist ganz allgemein die Resultante aus der Wirkung der Contractionen mehrerer Muskeln; erst das coordinirte Zusammenwirken dieser Muskeln führt zu unseren physiologischen Bewegungen. Es scheint wohl, als ob, wenn man einen Muskel derartig ermüden wollte, man ihn vorher anatomisch isoliren müsste, was wohl am Frosch, aber nicht bei unseren Ergographenversuchen ausführbar ist.

Daraus geht hervor, dass das Ergogramm überhaupt nur von jemand beurtheilt werden kann, der die Anatomie und Mechanik des Bewegungsapparates zuverlässig kennt. Schon aus diesem Grunde gehört es nicht in die experimentelle Schulpsychologie und auch nicht in die Hände der Mehrzahl der experimentellen Psychologen, denen eine solche Kenntniss im allgemeinen leider nicht zuzutrauen ist. Die anatomisch-mechanische Analyse muss aber sichergestellt und richtig sein, bevor man überhaupt an die weitere Discussion des Ergogramms herantritt. In der Hand desjenigen, der die Verhältnisse übersehen kann, ist der Ergograph zur Gewinnung von Ermüdungscurven immerhin brauchbar, man darf nur die Curve nicht auf eine scharf circumscriphte Muskelgruppe beziehen.

Es fragt sich aber, was hat man gewonnen, wenn man die Ermüdungscurve hat? Zunächst ist sicher, dass ein Kranker mit

amyotropischer Lateralsclerose ein anderes Ergogramm geben wird wie ein gesunder, dasselbe wird für einen schweren Diabetiker oder Phthisiker gelten. Dann ist sicher, dass sich gewisse Ermüdungstypen differenzieren lassen, für welche gewisse Formen der Gipfelinien der Curven bezeichnend sind¹⁾. Auch für gewisse Fragen des Muskelstoffwechsels²⁾, die Wirkung des Alkohols, des Zuckers, der Narcotica, sind Aufschlüsse durch das Ergogramm gewonnen worden und ihre Gewinnung denkbar, wenn auch diesen Ergebnissen gegenüber, wie aus später darzulegendem ersichtlich werden wird, ein gewisses Misstrauen durchaus gerechtfertigt ist. Ferner ist es sicher, dass der Apparat für gewisse »Brutto«-untersuchungen der Muskelphysiologie über Arbeitsgröße und Vertheilung der Arbeitsleistung brauchbar ist, — aber alles das nur in der Hand eines Sachkundigen. Wir wollen also zugeben, dass man mit dem Ergographen Ermüdungscurven gewinnen kann, die eine weitergehende Schlussfolge gestatten. Was weiter?

Zunächst ist daran festzuhalten, dass das Ergogramm den Verlauf der Ermüdung von Muskeln darstellt. Darin ist aber verschiedenes enthalten. Diese Ermüdung könnte ganz dem nervösen Centralorgane angehören, man müsste dann annehmen, dass Nerv und Muskel unermüdbar seien; das ist sicher nicht der Fall. Dem Nerven gehört diese Ermüdung nicht an, denn dieser ermüdet überhaupt nicht oder wenigstens nicht in den hier in Betracht kommenden Zeiten (Wedenski, Maschek, Bowditch)³⁾. Dann konnte

1) Mosso, S. 132. Zwei Hauptformen der Gipfelinie, eine gegen die Abscissenachse convexe und eine gegen diese concave.

2) Z. B. Mosso's Angaben über die Abhängigkeit der Muskelarbeit von der Jahreszeit.

3) Wedenski, Telephonische Untersuchungen über die elektrischen Erscheinungen in Muskel- und Nervenapparaten. St. Petersburg 1884 (russisch). Centralbl. f. d. medicin. Wissenschaften 1884. No. 5. »Wie rasch ermüdet der Nerv?« Die Meinung von der Unermüdbarkeit der Nerven wird wohl von der überwiegenden Mehrzahl der Physiologen getheilt, aber ganz ohne Widerspruch geblieben ist sie nicht: »Es liegen ja auch Beobachtungen vor, die dafür zu sprechen scheinen, dass in den Nerven selbst ein Verbrauch stattfindet. Ebenso weiß man heute nicht, wo und wie in den einzelnen Neuronen einfach leitende Theile von solchen sich scheiden, die außer der Leitung noch andere Functionen besitzen, die man als centrale zu bezeichnen pflegt. Die äußeren Grenzen von Ganglienzelle und Nervenfortsatz können dafür nicht entscheidend sein, der Sitz der Ermüdungs-

sie den motorischen Endorganen angehören, deren Ermüdungsverhältnisse gegenwärtig ein interessantes Thema der Muskelphysiologie sind, oder schließlich dem Muskel selbst.

Aus dem von den Physiologen Erarbeiteten ist es möglich, darüber einige Einsicht zu gewinnen, die schließlich darauf hinausläuft, dass ein wesentlicher Theil der Ermüdung rein peripherisch ist. Das motorische Endorgan ermüdet rascher als der Muskel, ob aber dies hier in Betracht kommt ist fraglich, dem Ergogramm gegenüber können wir mit dieser Einsicht gar nichts anfangen, und ebenso ist das Ergogramm zu Ermittlungen über diese Frage vollständig ungeeignet. In der mittelst des Ergographen erhaltenen Ermüdungscurve kann aber auch die centrale Ermüdung als Componente enthalten sein; diese könnte den trophischen Centren der betreffenden Nervenfasern, also den Vorderhornzellen der zugehörigen Rückenmarksabschnitte angehören, oder sie könnte cortical sein. Nur in dem Falle, dass das Ergogramm zu irgend welchen Ermüdungsvorgängen der Hirnrinde in Beziehung steht, gewinnt dasselbe für den Psychologen überhaupt an Interesse.

Es wären demnach im Ergogramm zwei Scheidungen durchzuführen, es müsste der rein musculäre Ermüdungsvorgang erörtert werden, und es müsste gezeigt werden, dass das Ergogramm auf Grund der muskulären Ermüdungsvorgänge nicht in allen seinen Einzelheiten verständlich ist. Die Behandlung dieser Aufgabe soll nur angedeutet werden, um zu zeigen, wie dabei wohl zu verfahren wäre. Um die Frage der Muskelemüdung zu behandeln, ist es nothwendig, nicht vom Ergogramm auszugehen, sondern von einer Zuckungsreihe, in welcher der Muskel ermüdet wird. Solche Zuckungsreihen wurden von Funke¹⁾ und Marey²⁾, später von Rollett³⁾ mitgetheilt. Funke machte zwischen den Einzelzuckungen ein Intervall

erscheinungen im Centralnervensystem ist uns aber noch ganz unklar, diese weisen aber, ebenso wie gewisse neuropathologische Erscheinungen auf einen trägeren Ablauf der in den Nervengeweben sich abspielenden Prozesse hin (Rollett, Pflügers Archiv LXIV. p. 508. 1896).

1) Funke, Pflüger's Archiv VIII. S. 213.

2) Marey, Du mouvement dans les fonctions de la vie. Paris 1868. p. 238. Travaux du laboratoire de M. Marey. II. Année. 1876. p. 141. La méthode graphique Paris 1868. p. 579.

3) Rollet, Pflüger's Archiv LXVIII. S. 507. 1898.

von 4 Secunden; dieses ist wohl wegen seiner Länge etwas ungünstig, er benutzte aber eine große Anzahl von Zuckungen, er ging bis etwa 800, von welchen er immer eine bestimmte Auswahl aufschrieb. Marey's Aufzeichnung umfasst nur 88 Einzelzuckungen vom Gastrocnemius des Frosches, dagegen wählte er ein günstigeres Reizintervall von 1,5 Secunden. Aus solchen Zuckungsreihen sieht man, dass die Curven sich in ganz bestimmter Weise verändern und mit solcher Constanz und Deutlichkeit, dass man daraus den Process der Ermüdung definirt hat. Man sagte nämlich, dieselbe sei charakterisirt durch die Abnahme der Zuckungshöhe bei gleichbleibendem Reiz, oder durch die Verstärkung des Reizes, die nothwendig ist, um eine constante Hubhöhe zu erhalten. Dabei ändert sich die Form der Curve der Einzelzuckung, indem dieselbe gedehnter wird. Diese Dehnung der Curven bei der Ermüdung hatte bereits Helmholtz¹⁾ bemerkt, der von dieser Erscheinung überrascht war, denn er meinte, man hätte mit der Abnahme der Hubhöhe auch viel eher eine Verkürzung zu erwarten. Diese Aenderung der Curve ist aber noch des öfteren eingehend beschrieben worden, so von Wundt²⁾, Volkmann³⁾ und Funke⁴⁾.

Dass diese Dehnung der Curve der Ausdruck ganz eigenartiger Verhältnisse der Arbeitsökonomie des Muskels sei, erkannte bereits Volkmann, denn er schreibt: »Betrachtet man den Inhalt der Curven als Maß der Arbeit, so sieht man, dass ziemlich beträchtliche Ermüdung der Größe der Arbeit nur wenig schadet. Wenn man dagegen beim Bemessen der Arbeit auch auf die Zeit, die sie beansprucht, Rücksicht nimmt, so findet sich, dass sie dann mit der Ermüdung eine rasche Verminderung erfährt«, und daraus zieht er den Schluss: »Führt man den Bewegungsvorgang auf seine Ursachen, auf die chemischen Prozesse zurück, so darf man annehmen, dass die Ermüdung weit weniger die Quantität als die Intensität der Metamorphose ändere«. »Die Menge der zu verbrennenden Stoffe scheint nur sehr wenig abzunehmen, während der Oxydationsprocess auffallend träger wird«³⁾.

1) Helmholtz, Archiv für Anat. u. Physiol. 1850 u. 1852.

2) Wundt, Lehre von der Muskelbewegung. Braunschweig 1858.

3) Volkmann, Pflügers Archiv. III. S. 374.

4) Funke a. a. O.

Der absteigende Curventheil der Zuckungen hat in der Regel eine längere Dauer als der ansteigende, sehr selten ist die Dauer beider gleich. Wenn man nun in einer Zuckungsreihe die Wachstumsverhältnisse beider Curventheile fortlaufend betrachtet, so bemerkt man, dass beide nicht in demselben Verhältniss länger werden, sondern dass zunächst in den Curven der ansteigende Theil stärker wächst als der abfallende. Bei den von Rollett benutzten, durchbluteten Froschgastrocnemien dauert dies bei schwachen Strömen bis zur 150ten Zuckung, bis dahin hat der ansteigende Curventheil längere Dauer, dann aber beginnt der absteigende Curventheil in seiner Zeitdauer rascher zu wachsen, was etwa bis zur 400. Einzelzuckung in Rollett's Versuchen dauerte, um dann weniger rasch zu wachsen und schließlich sogar mehr weniger rasch abzunehmen.

Wenn man die Verdickungscurven des Muskels bei fortschreitender Ermüdung mit den Verkürzungscurven vergleicht, so stimmen beide in der Art, wie sowohl der ansteigende, wie der abfallende Curventheil der Myogramme sich ändert, überein. Diese Uebereinstimmung berechtigt zur Aufstellung des Satzes, dass für die Ausweichung der Formelemente des Muskels aus der Gleichgewichtslage und zur Rückkehr in dieselbe die Zeit bei fortschreitender Ermüdung wächst (Rollett 1898).

Wenn man eine Zuckungsreihe aufnimmt, so bemerkt man zunächst, dass die Hubhöhen der einzelnen Zuckungen zunehmen, eine Erscheinung, die als Bowditch'sche Treppe bekannt ist. Dann erfolgt der Abfall der Treppe und dann die fortschreitende Ermüdung. So lange das Stadium der Treppe dauert, nimmt mit der Hubhöhe auch die Dauer des ansteigenden Curvenschenkels zu; während aber dann die Treppe abfällt, wächst die Dauer des ansteigenden Curventheiles und ist länger als die Dauer des absteigenden, und ebenso verhält es sich mit der Gesamtarbeit.

Die Arbeit ist das Product aus Kraft und Weg. Bei constanter Belastung ist also die Arbeit nur von der Hubhöhe abhängig. Durch die Treppe nimmt also die Arbeitsleistung bis zu einem gewissen Maximum zu; dann wird der Verlust an Hubhöhe durch die zeitliche Verlängerung der Zuckung längere Zeit compensirt, bis schließlich diese Compensation versagt und die Arbeitsleistung des Muskels immer mehr abnimmt. Zerlegt man aber die Muskelzuckung in ihre

verschiedenen Phasen in der Zeiteinheit, etwa $\frac{1}{100}$ " , so ist die Arbeitsleistung in der Zeiteinheit das Product aus der mittleren Geschwindigkeit in der Zeiteinheit und dem durchlaufenen Wege, also dem Betrage der Verkürzung. Da auch bei der Ausbildung der Treppe der ansteigende Curventheil in seiner Dauer zunimmt, und der Anstieg immer weniger steil als in der vorhergehenden Zuckungcurve ist, so zeigt sich, dass die Arbeitsleistung in der Zeiteinheit in der Zuckungsreihe von vornherein abnimmt.

Es ist aber ersichtlich, dass man den Betrag der Arbeitsleistung und die Aenderung desselben bei der Ermüdung in einfacher Weise ermitteln kann, indem man die Fläche ausmisst, welche zwischen der Abscissenlinie und der Curve eingeschlossen ist, und den Betrag der Arbeitsleistung in der Zeiteinheit, indem man den Inhalt des Flächenstückes ermittelt, das von zwei um eine Zeiteinheit von einander entfernten Ordinaten und dem dazu gehörigen Abschnitt der Curve begrenzt wird.

Aus diesen wenigen Worten geht hervor, dass die Muskelsubstanz in sich selbst Eigenschaften besitzt, welche ihre Kräfteökonomie zu einer ziemlich verwickelten machen, und diese ist einer physiologischen Erörterung und Definition der Muskelermüdung zu Grunde zu legen. In Analogie hierzu wird wohl die Kräfteökonomie aufzufassen sein, welche der Muskel bei der Ermüdung durch willkürliche Muskelthätigkeit aufweisen wird, bei der allmählichen Höhenabnahme der submaximalen glatten Tetani, als welche die Willkürbewegungen aufzufassen sind. Wenn man ferner die große Reihe von Eigenschaften und Erscheinungen bedenkt, die am isolirten Nervmuskelpräparat sich finden, so ist es wohl schwierig, solche Ursachen für das Zustandekommen des Ergogramms, welche wo anders als in den Eigenschaften der Muskelsubstanz zu suchen sind, sicher zu bestimmen. Zu diesem Ergebnisse kommt eigentlich auch Mosso: »La ressemblance profonde, qui existe entre la courbe inscrite avec la volonté et la courbe inscrite en excitant le nerf, ou en excitant directement le muscle, montre avec évidence, que les phénomènes caractéristiques de la fatigue ont leur siège à la périphérie et dans le muscle« (Mosso p. 141).

Ebenso wie das Bestimmen von Pflanzen, die Gattungen mit wenig ausgesprochenen Artm \varnothing kmalen angehören, wie Hieracien oder Rubus-

arten, Weiden oder Sphagnaceen, schwieriger und oft unzuverlässiger ist als bei ebenso artenreichen Familien mit distincten Artcharakteren, etwa Saxifragaceen oder Gentianen, so sind Vorgänge, welche bei der graphischen Registrirung constante und scharf umschriebene Bilder geben, eher zur Grundlage weiterer Untersuchungen brauchbar, als solche, die so stark variiren, dass eine durchgreifende Gesetzmäßigkeit kaum hervortritt. Um auch von diesem Gesichtspunkte aus ein Urtheil über den Werth des Ergogramms zu gewinnen, ist es nöthig, die Constanz dieser Curve unter gleichen Bedingungen zu betrachten. Das Zustandekommen des Ergogramms ist sehr vielseitig bedingt, und die Einzelfactoren scheinen nicht alle restlos analysirbar zu sein; es wäre also die Resultante einer unbekanntenen Anzahl von Variablen, und dies ist schon bei der Normalcurve der Fall. Aendern sich eine oder mehrere dieser Variablen, so ändert sich auch die Curve, die Normalcurve zeigt Variationen. Nun ist zunächst der Betrag der Variation der Normalcurve festzustellen, dann kann man mit weiteren Versuchen beginnen. Wenn man dann aus den unter veränderten Bedingungen gewonnenen Versuchscurven Schlüsse ziehen will, so ist die erste Forderung, dass diese sich von den Normalcurven qualitativ oder quantitativ um Beträge unterscheiden, die größer sind, als der Bereich der normalen Variation.

Die Anwendung dieser Forderungen bezieht sich natürlich nur auf Curven, deren Entstehungsbedingungen so verwickelt sind, dass die Analyse derselben nicht restlos durchführbar ist. Wenn man Erscheinungen graphisch untersucht, deren Bedingungen man beherrscht, so kommen den Variationen überhaupt nur sehr kleine Beträge zu, oder sie verschwinden ganz. So ist etwa die Hubhöhe desselben isolirten Froschmuskels bei gleicher, nicht zu starker Belastung, gleicher Temperatur und gerade maximaler Reizstärke immer dieselbe, wenn man die Reizungen in Zeitintervallen auf einander folgen lässt, welche die Ermüdung ausschließen, und wenn die Versuche nicht zu lange dauern. Hat man dagegen Ergogramme von derselben Versuchsperson vor sich, die bei derselben Belastung und demselben Arbeitstempo aufgenommen sind, so sind diese nicht gleich, sondern nur ähnlich, sowohl die Länge — also die Arbeitszeit —, wie die Summe der Einzelhebungen — die Arbeitsgröße —, wie die Form der Gipfelinie, welche Aufschluss gibt über die Vertheilung der Arbeitsgröße

über die Arbeitszeit können variiren. Für die Analyse dieser Verhältnisse enthält die Arbeit Maggiora's¹⁾ eine große Menge Material, das sich auf die Veränderungen der Ermüdungscurve bei verschieden großer Belastung, auf den Einfluss des Tempos, die Erholungspause, periodische Muskelarbeit, locale Anämie, auf die Einwirkung der Ermüdung anderer Muskeln, auf Schlafen und Wachen, Fasten und schließlich auf die Wirkung der Muskelmassage beziehen. Alle diese Verhältnisse bedürfen der Berücksichtigung, wenn man das Ergogramm zu bestimmten positiven Zwecken verwerthen will; es liegt aber hier kein Anlass vor, auf diese, wie es scheint, im einzelnen sorgfältigen und besonnenen Angaben Maggiora's einzugehen. Ueber die Variation des Ergogramms hat sich Mosso selbst mit folgenden Worten ausgesprochen: »On connaît la divergence d'opinion, qui s'est élevée entre Kronecker et Hermann par rapport à la courbe de la fatigue. Les résultats de Kronecker furent confirmés par Tiegel, Rossbach et Hartnack; j'ai également observé que, dans un grand nombre de cas, la hauteur de la contraction va en décroissant, de manière que le sommet de toutes les contractions se trouve sur une ligne droite. Mais chez la plupart des personnes, quand les poids qu'elles soulèvent, ne sont pas trop légers, la courbe de la fatigue présente la convexité tournée en bas ou en haut; rarement elle forme une double courbe de manière que la ligne qui touche le sommet de toutes les contractions décrive un S renversé (\sim). D'après mes expériences, je puis conclure qu'il n'existe pas de courbe typique de la fatigue«.

»Le profil de la courbe change pour bien des causes et spécialement par suite de l'influence du poids que doit soulever le muscle, et de la fréquence, avec lequel il le soulève. Une condition très importante pour la courbe c'est celle de la fatigue précédente ou du repos, dans lequel se trouve le muscle. La courbe de la fatigue dépend d'un ensemble de causes, qui agissent sur le muscle, sur les centres nerveux et sur la circulation. Quand j'ai dit, que la contraction musculaire a un type caractéristique pour chaque personne

1) Maggiora, Die Arbeit folgt sowohl in der deutschen Bearbeitung im Archiv für Anat. u. Physiol. 1890, wie in den Archives italiennes, XIII. 1890. p. 187—241 unmittelbar auf die Mosso's.

ceci ne doit pas s'entendre en un sens trop absolu, mais en ce sens que chacun de nous, en soulevant un même poids, avec le même doigt, avec la même fréquence de contraction et en se trouvant dans les mêmes conditions générales de l'organisme, produit le même tracé« (Mosso, p. 139. 140).

Man könnte z. B. etwa vermuthen, dass die Gefühlsbetonung von Sinnesempfindungen das Ergogramm beeinflusse, etwa in der Weise, dass die erregende oder die Lustcomponente eines sinnlichen Gefühles die Arbeitsleistung vergrößere. Wenn man darüber experimentirt hat und einen solchen Schluss zu ziehen geneigt wäre, so wäre dies nur statthaft bei durchgängiger Constanz der Erscheinungen und bei Beträgen in der Aenderung der Curve, welche eben die normale Variationsbreite immer übertreffen. Die Ermittlung constanter Zusammenghörigkeiten, etwa einer bestimmten mittleren Arbeitsgröße zu einer bestimmten Gefühlsbetonung bleibt aber auch dann schwierig. In Versuchen dieser Art besteht immer die Möglichkeit, dass Dinge aufeinander bezogen werden, die gar nichts miteinander zu thun haben. So könnte etwa eine constante Differenz in der Arbeitsgröße aus bestimmten Gesetzmäßigkeiten des Gedächtnisses für Bewegungsempfindungen herrühren. Derartige Erscheinungen — wie etwa Gesetzmäßigkeiten des Gedächtnisses für Bewegungsempfindungen — können die zu untersuchenden Vorgänge, etwa den Einfluss gefühlsbetonter Sinnesreize, ganz überdecken, und zwar in einer Weise, dass ganze Reihen von Gesetzmäßigkeiten aufweisbar erscheinen, die thatsächlich den Reproductionen der Bewegungsempfindungen zukommen. Das gilt nicht nur für diese Versuche mit dem Ergographen, sondern für alle Versuche, bei denen Zusammenhänge von Bewegungsvorgängen und Gefühlsvorgängen in Betracht kommen, und thatsächlich wurden mir solche Aussagen von sehr zuverlässigen Versuchspersonen gemacht.

Den Satz Mosso's: »un premier fait digne de considération, c'est que nous obtenons, en irritant le nerf, une quantité de travail mécanique supérieure à celle qui s'obtient au moyen de la volonté. Avec la volonté nous pouvons faire des efforts plus grands et soulever des poids très lourds, mais l'aptitude au travail s'épuise vite et l'excitation nerveuse devient inefficace, tandisque l'excitation artificielle des nerfs conserve plus longtemps les muscles en action«

(Mosso p. 141) anzufechten habe ich keinen Grund. Dagegen glaube ich gegen den zweiten wichtigen Satz: »l'excitation électrique tetanisante du nerf, continuée jusqu'à l'épuisement de la force du muscle, laisse encore chez celui-ci un reste d'énergie, qui peut être utilisée par la volonté, et viceversa, la volonté laisse un reste de force qui peut être utilisée et mise en action par l'électricité« das Bedenken geltend machen zu dürfen, dass die Faradisation gar nicht dieselben Muskeln ermüdete, wie die willkürliche Muskelthätigkeit. Mosso faradisirte vom Nervus medianus aus, dabei sind die Interossei, welche vom Ramus profundus rami volaris manus des Ulnaris innervirt werden, unbetheiligt. Wenn also auf eine Ermüdungsreihe durch Faradisation des Medianus, welche die langen Fingerbeuger betrifft, eine Ermüdungsreihe durch willkürliche Muskelaction folgt, so treten ganz andere Muskeln, nämlich die Interossei in Wirksamkeit. Dass dieser Einwand berechtigt ist, suchte ich dadurch zu beweisen, dass ich die langen Fingerbeuger und die Interossei durch Faradisation gleichzeitig ermüdete. Dann fiel in der That die von Mosso gefundene Erscheinung weg, es gelang dann trotz wiederholter Versuche nicht, Curven zu erhalten, wie sie Mosso Fig. 34 p. 150, Fig. 35 p. 151 oder gar Fig. 36 (p. 152) abbildet. Damit wird auch Mosso's höchst wichtige Folgerung hinfällig: »D'après ces recherches la fatigue centrale ou nerveuse apparait avec évidence. Nous voyons en effet, que durant le repos de la volonté la fonction des mouvements volontaires s'améliore; et l'amélioration ne peut être périphérique parceque nous ne laissons pas au muscle le temps de se reposer«.

II.

Mit der vorausgehenden Besprechung der muskelphysiologischen Verhältnisse ist die Kritik des Ergogramms in seiner Bedeutung für die Psychologie keineswegs erschöpft, im Folgenden mögen noch einige vorwiegend psychologische Gesichtspunkte Erwähnung finden; da diese aber mit allgemeineren physiologischen und psychologischen Fragen, mit dem ganzen Ermüdungsproblem in Beziehung stehen, so ist eine einigermaßen erschöpfende Behandlung dieser Fragen hier unmöglich,

sodass nur das gerade für die Kritik des Ergogramms Wichtige hier herbeigezogen werden soll.

Der Verwendung des Ergographen von Seiten der Psychologen liegt eine Gruppe von Hypothesen zu Grunde, die verschieden formulirt werden können, ganz allgemein sich aber in eine der im Folgenden dargelegten Formen bringen lassen; dabei ist ausdrücklich zu betonen, dass die folgenden Ausführungen sich nicht gegen Mosso wenden, da dieser an der hier eingerissenen Begriffsverwirrung nicht schuldig und nicht theilhaftig ist.

Dass das Ergogramm nicht unmittelbar als Ausdruck eines central bedingten Ermüdungsprocesses aufgefasst werden kann, geht aus allem Vorhergehenden hervor; es könnte demnach vermuthet werden, dass die im Ergogramm sich ausdrückenden Ermüdungsvorgänge einen bestimmten Antheil enthalten, der aus der centralen Ermüdung herrührt und diese mitbestimmt. Eine gewisse Berechtigung zu einer solchen Hypothese läge vor, wenn erweisbar wäre, dass im Ergogramm die Ermüdung des Muskels durch willkürliche Muskelaction eine andere ist, als durch isolirte Faradisirung derselben Muskeln. Eine solche Behauptung wurde in der That von Mosso aufgestellt, es möchte aber scheinen, dass man derselben mit schwerwiegenden Bedenken gegenüber treten kann. Einer solchen Hypothese gegenüber können wir uns nur auf den Standpunkt stellen, dass die rein muskulären Erscheinungen, die bei der Entstehung des Ergogramms in Betracht kommen, so verwickelte sind, dass der Antheil der centralen Ermüdung überhaupt nicht abgrenzbar ist. Diese Hypothese ist für das Ergogramm durch keine einwandfreien Versuche gestützt und deshalb als willkürlich abzulehnen. Eine andere Form solcher Hypothesen wäre die, dass eine bestimmte Menge psychischer Energie vorhanden wäre, etwa innerhalb der Zeit t bis t_1 , und dass diese in derselben Weise in der central bedingten Innervation der Muskeln wie in anderen centralen Vorgängen verbraucht werde. Annahmen dieser Art sind es oft, die versteckt zu Grunde gelegt werden, wenn aus dem Ergogramm auf die intellectuelle Ermüdung ein Schluss gezogen werden soll, indem dann stillschweigend angenommen wird, dass für die Muskelaction um so weniger Energie disponibel bliebe, je mehr bei der intellectuellen Arbeit Energie verbraucht worden sei. Diese Hypothese lässt sich in einer ansprechenderen Form entwickeln

durch Anlehnung an die von J. Ranke¹⁾ entwickelte Lehre von den Ermüdungsstoffen, indem man annimmt, dass die bei der cerebralen Thätigkeit gebildeten Ermüdungsstoffe identisch mit denen der Muskelermüdung seien, oder in analoger Weise wie diese auf die Muskelthätigkeit wirken. Es ist nicht angängig, über den Werth dieser Form von Hypothesen ein Urtheil auszusprechen, da dieselben durchweg in der Erfahrung nicht soweit sicher gestellt erscheinen, dass eine weitere Ausgestaltung und Anwendung derselben zur Zeit statt haft wäre. Eine noch zurückhaltendere Umformung, aber immer eine Hypothese wäre es, wenn man sagen wollte, die Muskelermüdung und die centrale Ermüdung verlaufen im allgemeinen gleichartig.

Diesen Hypothesen könnte man je nach den erstrebten Zwecken die verschiedenste Form geben, etwa, wenn man Beziehungen zwischen der Beschaffenheit des Ergogramms und gefühlsbetonten Sinnesreizen suchen will, folgende: es ist eine gewisse Summe psychischer Energie vorhanden, von der erregende oder Lustcomponenten von Gefühlen einen größeren Betrag activiren — also die Ermüdung hinausziehen, die Arbeitsleistung vermehren — als deprimirende oder Unlustcomponenten.

Aber diesen Hypothesen, die ein phantasievoller Kopf beliebig vermehren und ausgestalten kann, kommt nicht der geringste Werth zu; zur Zeit fehlen die aus der Erfahrung geschöpften Anhaltspunkte, aus denen irgendwelche Relationen zwischen centralen und der im Ergogramm zum Ausdruck kommenden peripheren Ermüdung ableitbar wären. Es fehlt also eine verbindende Theorie, welche das Instrument in der Hand des Psychologen brauchbar machen könnte, wenn dieser nicht gerade darauf ausgeht, die Ermüdung von Muskelgruppen in toto, wie sie eben physiologisch verläuft, zu bearbeiten.

Zur Zeit besteht allenfalls eine Verwendbarkeit des Ergographen nur für die Muskelphysiologie, zum Studium der Muskelermüdung und der diese beeinflussenden Factoren. Dabei sind wieder die allgemeinen Stoffwechselverhältnisse des Muskels ebenso zu berücksichtigen, wie die besonderen in den Versuchen zu variirenden Factoren der Belastung, des Tempos u. a. m. Hier ist ferner das Eingreifen

1) Ranke, Tetanus. Leipzig 1865. Zur Kritik vergl. Hermann, Handb. d. Physiol. I. Th. 1. S. 123.

subjectiver Vorgänge zu beachten, nämlich die Empfindungsvorgänge, welche die Ermüdung begleiten, und andererseits die Möglichkeit der verschiedenen rhythmischen Betonung und Gruppierung der gleichartigen, das Arbeitstempo markirenden Sinnesreize. Die Empfindungsvorgänge bei der Ermüdung mögen nun soweit erwähnt werden, als sie hier unmittelbar in Betracht kommen. Von den Ermüdungsempfindungen lässt sich sagen, dass sie zunehmen mit der Abnahme der Arbeitsleistung des Muskels, aber die Ermüdungsempfindungen sind als solche weder mit der Muskelermüdung identisch, noch quantitativ aus dem Ergogramm bestimmbar. Ferner ist die Ermüdungsempfindung nichts einheitliches, sondern ein höchst verwickelter Complex, indem zunächst der subjective, ihr widerstreitende, aus anscheinenden Willens- und Empfindungselementen zusammengesetzte, problematische Complex der Anstrengung auszuschalten ist. Dann setzen sich die Empfindungsvorgänge bei der Ermüdung zusammen aus der Veränderung von Muskel- und Innervationsempfindungen, deren Verhältnisse bereits bei den Bewegungsvorgängen nicht ermüdeten Muskeln durchaus strittig sind. Da sie ein subjectives Geschehen enthalten, steht es den Psychologen durchaus zu, die Analyse der Empfindungsvorgänge bei der Ermüdung, oder kürzer gesagt, die Ermüdungsempfindungen als zu ihrem Arbeitsgebiet gehörig zu betrachten. Es möchte auch scheinen, dass die Bearbeitung derselben ebenso interessant wie ersprißlich sein könne, interessant, indem möglicherweise von Psychologen von ihrem Gebiete aus ein tieferer Einblick in die Fragen der Muskelsensibilität gewonnen werden könnte, ersprißlich, weil vielleicht andere Gebiete von einer sorgfältigen psychologischen Analyse dieser Vorgänge Nutzen ziehen könnten; es sei hier nur auf die abnormen Ermüdungsvorgänge bei der Neurasthenie hingewiesen. Dass diese Empfindungsvorgänge für das Ergogramm in Betracht kommen, hat Mosso selbst ausgesprochen: »Lorsqu'on travaille avec un poids qui n'est pas très considérable, on sent que, tout d'abord, on atteint le maximum de flexion sans-que les muscles aient fait tout l'effort dont ils sont capables; et en dernier lieu lorsqu'on est fatigué, on ne réussit plus, malgré tous ses efforts, à soulever le poids. Il n'est donc pas possible d'établir une comparaison exacte entre la première et la dernière partie de la courbe. Toutefois, même dans ces conditions, c'est-à-dire, lorsque les poids sont tels que pour

accomplir une élévation maxima, il n'est pas besoin d'un effort maximum, on peut encore obtenir des tracés réguliers et utiles pour l'étude de la fatigue si l'on cherche à maintenir constant l'effort de la volonté jusqu'à l'épuisement de la force musculaire« (Mosso p. 130). Von dieser »subjectiven« Ermüdung ist also die physiologische, welche auf Stoffwechselvorgängen des Muskels und eventuell der nervösen Substanzen beruht, zu trennen; für die Untersuchung dieser letzteren ist eigentlich der Ergograph construiert, er genügt aber nicht zur Lösung aller dahin gehörigen Fragen, er ist nur anzuwenden in Verbindung mit den übrigen Methoden der allgemeinen Bewegungsphysiologie.

Die Identificierung der subjectiven Ermüdung mit den physiologischen Ermüdungserscheinungen ist, wie gesagt wurde, von vorherein unstatthaft; dass beide in enger Beziehung mit einander stehen, ist sicher, aber die Beobachtung, z. B. bei Hysterischen und Maniakalischen und Katatonikern zeigen ebensowohl wie die methodischen Ueberlegungen, dass eine unmittelbare Identificierung beider nicht statthaft ist. So kommt man zu den rein psychologischen Fragestellungen: 1) Wie verhalten sich die Ermüdungsempfindungen bei der Muskelermüdung zu andersartigen Ermüdungsvorgängen (etwa der Ermüdung durch intellectuelle Thätigkeit)? und 2) wie verhält sich der als Anstrengung bezeichnete Complex von Empfindungs- und Willensvorgängen (?) zu den Componenten in den Ermüdungsempfindungen, sind diese selbst verstärkte Innervationsempfindungen (?) oder von der Peripherie aus bedingt?

Mit der zweiten Frage ist dann unmittelbar die verknüpft, ob die Ermüdungsempfindungen eine Veränderung von Bewegungsempfindungen enthalten.

Diese Untersuchung der Empfindungsvorgänge bei der Ermüdung ist, wie es scheint, einer der wenigen directen Wege, um an die Frage der centralen Ermüdung überhaupt mit einer zuverlässigen Handhabe heranzutreten, und diese subjective Methode ist keineswegs uninteressant oder bedeutungslos: »Wir haben unsere Sinnesempfindungen so ausgiebig benützt, um unsere Außenwelt zu erkennen und sie uns dienstbar zu machen, benützen wir sie nun auch, um das stoffliche Geschehen unseres eigenen Körpers zu erforschen, indem wir mit ihrer Hülfe zuvörderst das untersuchen, was wir nicht, wie

die Außendinge, nur mittelbar sondern unmittelbar empfinden, nämlich den Stoffwechsel unseres Nervensystems«¹⁾. Dieses unmittelbare Erleben der fortschreitenden Dissimilationsvorgänge gerade im Zusammenhange mit Bewegungsvorgängen der der Willkür unterworfenen Muskulatur ist, wie man vielleicht vermuthen darf, bei den subjectiv gegebenen Empfindungsvorgängen bei der Ermüdung vorhanden.

Ob der Ergograph dazu brauchbar ist, Ermittlungen über den Vorgang der willkürlichen Innervation selbst zu geben, das zu entscheiden wird wohl nach den vorhergehenden Ausführungen kaum verlangt werden. Die Nichtidentität der willkürlichen motorischen Muskelthätigkeit mit der nach elektrischer Reizung ist auf Grund mannigfacher pathologischer und physiologischer Erfahrungen überaus wahrscheinlich²⁾, und auch Kühne³⁾ sagt, dass die elektrischen Innervationshypothesen auf sehr schwachen Füßen stehen; darauf sei hier nur flüchtig hingewiesen.

Daraus geht wohl hervor, dass eine Reihe von Fragen existirt, für welche die Einführung muskelphysiologischer Methoden und die Benutzung derselben vom Standpunkte der experimentellen Psychologie wohl wünschenswerth wäre, denn ich stehe nicht an, die experimentelle psychologische Analyse der willkürlichen Bewegung als eine der wichtigsten, weittragendsten und auch aussichtsreichsten Aufgaben dieser Wissenschaft zu bezeichnen.

Die dazu nothwendige umsichtige Ausarbeitung und Benutzung der Methodik wird dann aber wohl dazu kommen, weitere ganz andersartige Hilfsmittel heranzuziehen, die geeignet sein mögen, die mittelst des Ergographen nur schwierig zu bearbeitenden Fragen unter günstigeren Verhältnissen in Angriff zu nehmen.

1) Hering, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften Wien. LXIX. III. Abth. S. 189.

2) Z. B. Versuche von Preyer, wiederholt und bestätigt von Schiff, Claude Bernard (Revue des cours scientif. 1865. Nr. XV. p. 244) u. a.

3) Kühne, Untersuchungen aus dem physiolog. Institut der Universität Heidelberg. III. Heft 1. S. 88 ff.

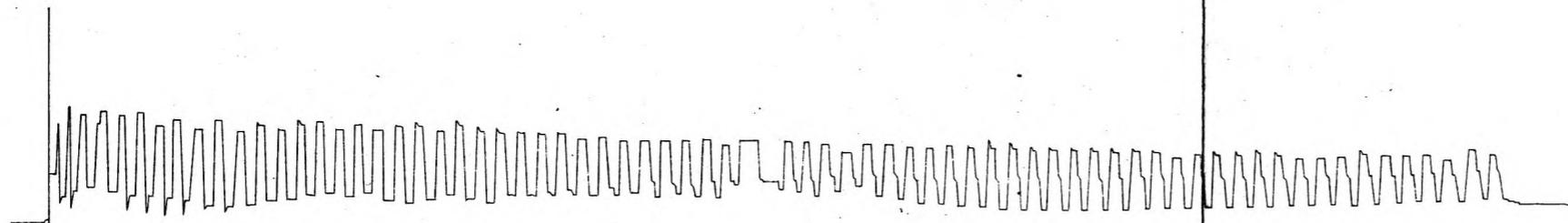


Fig. 1. Belastung 5 kg. 68 Hebungen in der Minute. Isolierte Faradisierung des Anconaeus und Flexor carpi ulnaris.

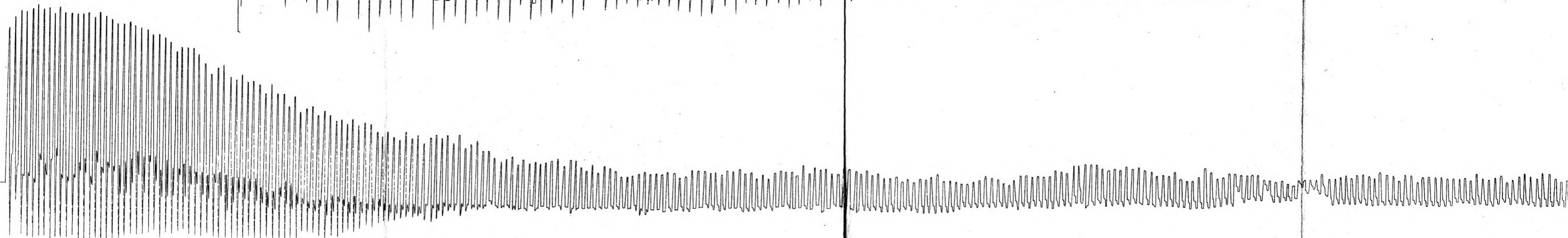
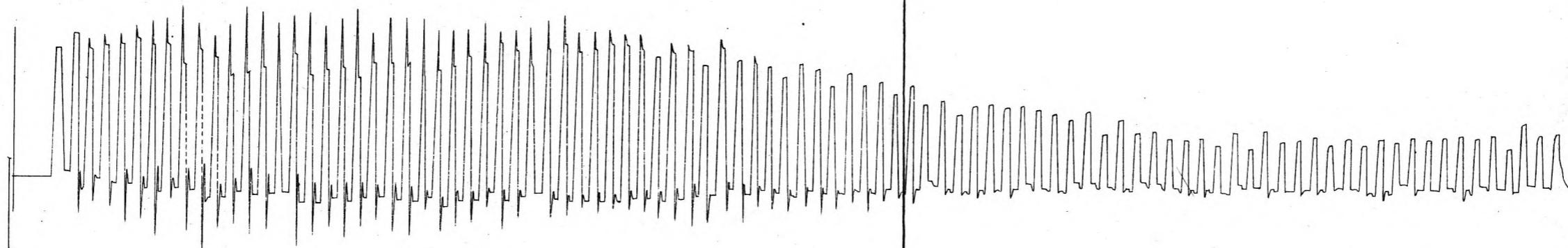


Fig. 2. Bei der oberen Curve 47 Hebungen in der Minute, bei der unteren 82 Hebungen, bei beiden eine Belastung von 5 kg. Diese Curven werden beigegeben, um die allgemeine Beschaffenheit der Curven zu zeigen, die den vorliegenden Erörterungen zu Grunde liegen. Die Form der Gipfelinie ist eine \sim förmige. Die spitzen Zacken an der Fusslinie, namentlich in den Anfangstheilen der Curven, rühren von Schleuderungen her. Der zweite Theil der unteren Curve zeigt zugleich die Perioden, die Warren P. Lombard, Archives italiennes XIII. p. 371—381, behandelt hat.