

# Zur Frage nach der Einwirkung sensitiver Reize auf die Muskelarbeit des Menschen<sup>1)</sup>.

Von Prof. I. Setschenow.

1) Vorliegende Untersuchung wurde in der Absicht unternommen, die äusseren Erholungsbedingungen der durch eine unausgesetzte Thätigkeit ermüdeten Arbeitsorgane am Menschen (an mir selbst) zu erforschen. Hierbei ging ich von folgenden Betrachtungen aus. Die unausgesetzte maschinenartig-regelmässige Arbeit der Athemmuskeln, sowohl in der Ruhe des Körpers als bei den Schwankungen der respiratorischen Thätigkeit [man denke an den extremen Fall solcher Schwankungen nach der Durchschneidung beider vagi, wobei die Bewegungen dennoch mit maschinenartiger Regelmässigkeit fortzuschreiten fortfahren!], zeigt den Weg an, wie man zu der Lösung der gestellten Aufgabe am einfachsten gelangen könnte. Die Athembewegungen sind ja unermüdlich, und die Unermüdllichkeit derselben hängt höchst wahrscheinlich davon ab, dass die mit einer jeden Einathmung entstehenden Ermüdungsminima des arbeitenden Organes stets durch die darauffolgenden Ruhepausen aufgehoben werden. Es muss, mit anderen Worten, ein bestimmtes, für die Unermüdllichkeit der Arbeit unerlässliches Verhältniss zwischen den Factoren der Arbeit (Frequenz und Tiefe der Bewegungen, sowie die Grösse der zu überwindenden Widerstände) und der Dauer der Ruhepausen vorhanden sein. Die erholende Wirkung der Ruhepausen bleibt für das Athmen allerdings unbewiesen; wir haben jedoch ein anderes Beispiel, wo deren Bedeutung unzweifelhaft ist—ich meine das Gehen des Menschen mit und ohne Belastung des Körpers. Hier existirt ganz sicher für jeden grösseren Unterschied in der Belastung eine bestimmte Aenderung des Rythmus und der Excursionsweite der Beinbewegungen, mithin auch eine Aenderung in der Dauer der Ruhepausen; hier wie dort ist das maschinenartig-regelmässige Fortsetzen der Bewegungen nur mit solchen Veränderungen aller Factoren der Arbeit verträglich; hier wie dort endlich ist das maschinenartig-regelmässige Fortschreiten der Bewegungen nur bei dem automatischen Fortschreiten derselben möglich. Leider ist das Gehen für das beabsichtigte Studium ebenso untauglich wie die Athembewegungen. Dieses ist offenbar nur an einer

---

<sup>1)</sup> Die Resultate der Untersuchung wurden bereits am 6 Mai 1902 dem Vorstand der Physiologischen Gesellschaft zu Moskau vorgelegt.  
*Die Redaction.*

bestimmten viel kleineren Muskelgruppe möglich, welche einer stundenlang dauernden und ebenso regelmässigen Arbeit wie die des Athmens (oder des Gehens), zudem bei verschiedenen Belastungen, fähig wäre und noch eine directe graphische Aufzeichnung ihrer Leistungen gestatten würde.

Als die geeignetsten Nachhahmungsobjecte der Athembewegungen haben sich die Sägebewegungen des Armes in sitzender Lage des Körpers erwiesen, weil sie dem Rythmus nach den Athembewegungen sehr nahe stehen und allen übrigen oben aufgezählten Bedingungen genügen.

Erst muss die benutzte graphische Methode beschrieben werden.

2. In den beistehenden schematischen Zeichnungen sind alle wesentlichen Theile des Apparates angegeben. Die obere Platte *ac* (Fig. 1) des an einen

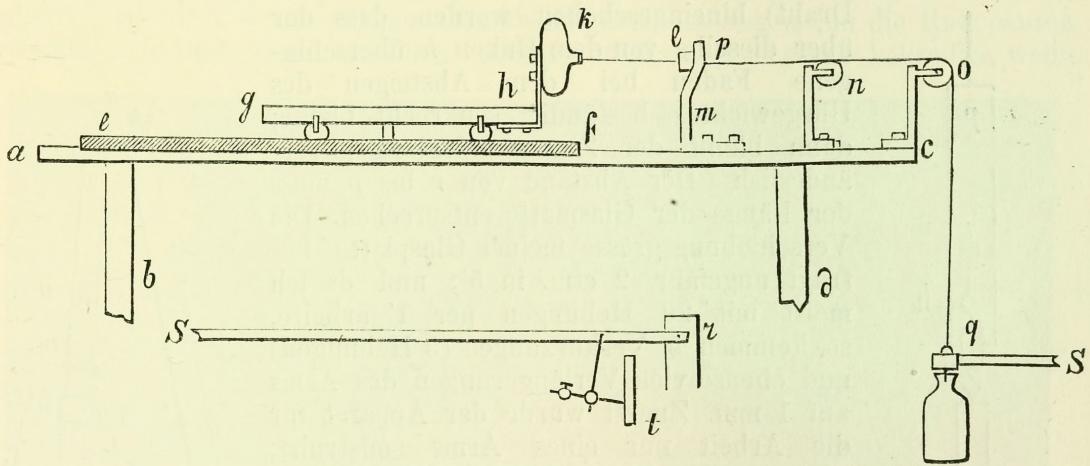


Fig. 1 (obere) u. 2 (untere).

schweren Tisch angeschraubten Gestelles (*abcd*) trägt nebst zwei Rails (*ef*) einen länglichen Ausschnitt in der Mitte für den Führungsstift der zwischen den Rails hin- und zurückrollenden rinnenförmigen Plattform *gh*, auf welcher der Unterarm des arbeitenden Armes ruht. Durch diese Einrichtung wird die unveränderliche Richtung der Bewegungen, resp. die unveränderliche Wirkung einer und derselben Muskelgruppe gesichert. Der an die Plattform angeschraubte Handgriff *k* geht in eine eiserne Stange *kl* mit dem darauf sitzenden hölzernen Querbälkchen *l* über, welches mit dem doppelten starken Bügel *m* die Arretirungsvorrichtung darstellt. Vermittelst der an *l* angebundenen, über die Rollen *n* und *o* gehenden Schnur *pq* werden die Bewegungen der Plattform, resp. die Bewegungen des Arms an das freie Ende des mit verschiedenen Gewichten zu belastenden Hebels (*qsr*) von 120 ctm. Länge übertragen. Dieser bewegt sich in verticaler Ebene und trägt seine Bewegungen in verkleinertem Maassstabe (Fig. 2) auf die berusste Glasplatte *t* von 40 ctm. Länge auf. Der Rahmen, worin letztere eingesetzt ist, sitzt auf einer zwischen

den Rails beweglichen und auf dieselbe Weise eingerichteten Plattform wie die den Unterarm tragende. Da ich ferner, bei der stundenlang dauernden Aufzeichnung der Hebungen noch die mittlere Grösse der Hubhöhen zu bestimmen hatte, so war es angezeigt die Verschiebung der Glasplatte möglichst langsam zu machen, jedoch so, dass keine einzige Hebung verloren ginge. Dies erreichte ich auf folgende Weise. Ersetzt man in einer Wanduhr (einfachster Art) mit herabfallendem Uhrgewicht den Pendel durch immer kürzere und kürzere Pendelchen, ohne das Gewicht zu ändern, so bekommt man ein immer rascheres, jedoch stets ziemlich gleichmässiges Herabfallen des letzteren; und dieser verticale Zug lässt sich sehr leicht in einen horizontalen umwandeln. In Fig. 3 ist schematisch das untere Ende der das Gewicht tragenden Uhrkette dargestellt, und zwar in der Lage, wenn das Gewicht aufgezogen ist.  $r$  ist die

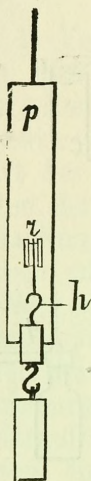


Fig. 3.

die Richtung der Züge umändernde Rolle; dieselbe muss offenbar so weit in das Innere des Vierecks (aus starkem Draht) hineingeschoben werden, dass der über dieselbe von dem Haken  $h$  überschlagene Faden bei dem Absteigen des Uhrgewichtes beständig senkrecht bleibe; dann bleibt der Zug stundenlang unveränderlich. Der Abstand von  $r$  bis  $p$  muss der Länge der Glasplatte entsprechen. Die Verschiebungsgrösse meiner Glasplatte beträgt ungefähr 2 ctm. in 5'; und da ich meist mit 20 Hebungen per 1' arbeite, so kommen 5 Verkürzungen (5 Hebungen) und ebenso viele Verlängerungen des Arms auf 1 mm. Zuerst wurde der Apparat für die Arbeit nur eines Arms construirt; später stellte sich die Nothwendigkeit heraus denselben für beide Arme einzurichten; und nun besteht der Myograph (Fig. 4) aus

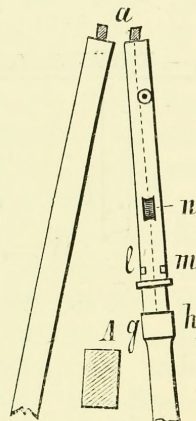


Fig. 4.

zwei auf die oben beschriebene Weise eingerichteten Hälften (mit zwei gesonderten Hebeln und einer gemeinsamen Glastafel), welche nach vorn spitz zulaufen (ungefähr unter einem Winkel von  $30^\circ$ ), — letzteres deshalb, weil die zu den Versuchen gewählten Sägebewegungen bei mir am ungezwungensten unter einem Winkel von ungefähr  $75^\circ$  zu der Frontalebene des Körpers erfolgen. Mit  $A$  ist der Sitz des Experimentators angegeben.

3. *Vorversuche.* Da mir eine unausgesetzte, stundenlange Arbeit bei verschiedenen Belastungen des Arms bevorstand, so war ich genöthigt zu den Versuchen relativ leichte Gewichte zu nehmen; da andererseits die Stärke und die Geschwindigkeit der Muskelzüge sowohl in jedem einzelnen Versuche als in den untereinander zu vergleichenden Fällen constant bleiben sollten, so trat mir bei der Wahl der Bewegungsformen von Anfang an folgende Schwierigkeit entgegen. Die von *Mosso* in die Ergographie eingeführte Methode absichtlich maximaler Züge, bei relativ (zu der angewandten Muskelkraft) starker Belastung, passte in unserem Fall nicht, weil wir mit relativ leichten Lasten zu thun

hatten, und weil es sehr schwer und lästig ist jeden einzelnen Zug so zu sagen im Bewusstsein zu halten, wenn man Tausende von solchen Zügen auszuführen hat. Andererseits konnte man von den gewählten Sägebewegungen des Arms nicht voraussagen, ob sie ebenso automatisch und regelmässig wie die Gehbewegungen fort dauern können. Jedenfalls war ich auf das Erlernen solcher Bewegungen angewiesen. Glücklicherweise erwies sich dieses Erlernen nicht so schwer, wie ich es mir anfangs dachte.—Versucht man nämlich bei Proben dieser Art wiederholt nur auf die Schläge des Metronoms zu achten, indem man dieselben zählt, und sucht man zugleich die Bewegungen des Arms denselben so anzupassen, dass der Anfang und das Ende jeder doppelten Bewegung (hin und zurück) mit diesen Schlägen zusammenfalle, so erlernt man diese einfache akustisch-motorische Reihe gewiss schneller als ein Lied oder eine Fabel auswendig; und sobald dieses erreicht ist, erkennt man an den Myogrammen, dass unter gleichen Bedingungen die Hebungen, bei ziemlich gleicher Höhe, gleich steil (d. h.—mit gleicher Geschwindigkeit) aufsteigen und die Ruhepausen ebenfalls ziemlich gleich ausfallen. Dies ist übrigens leicht zu begreifen, wenn

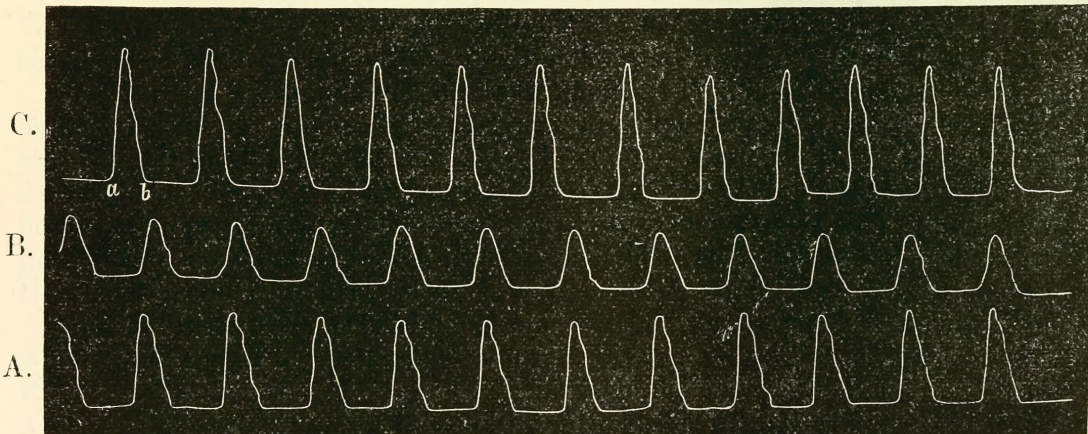


Fig. 5.

man bedenkt, mit welcher Schnelligkeit und Genauigkeit in einem Orchester, bei der Ausführung eines *gut erlernten* Stückes, die Armbewegungen z. B. der Violinspieler denen des Dirigenten folgen.

Als Beispiel führe ich die drei beigefügten Myogramme (Fig. 5) eines Versuches an, in welchem die Bewegungen meines Arms in drei verschiedenen Perioden der Arbeit auf einer rotirenden Trommel registriert wurden (und zwar so, dass ich es nicht sehen konnte), namentlich vor dem Eintreten der Ermüdung (A), nach dem Eintreten derselben (B) und zu der Zeit, wenn die automatischen Bewegungen durch sensitive Einflüsse (siehe darüber weiter) verstärkt wurden (C). In allen 3 Fällen (wie in allen später zu beschreibenden Versuchen) folgen die Verlängerungen des Arms unmittelbar auf dessen Verkürzungen (wie die Ein- und Ausathmungen bei der Respiration), und zwar so, dass der Anfang jeder Verkürzung und das Ende jeder Verlängerung mit je zwei nächstfolgenden Schlägen zusammenfallen; deshalb sind sowohl die Abstände *ab* von

einander als die Ruhepausen überall gleich. Man sieht ferner (bei B), dass die Ermüdung mit einer bedeutenden Erniedrigung der Bewegungen verknüpft ist. Sonderbarerweise macht sich diese Aenderung als eine frequentere Aufeinanderfolge der Schläge fühlbar.

Nachdem ich die soeben beschriebene Kunst erworben hatte, waren noch die günstigsten Bedingungen des Rythmus und der Belastung zu finden, unter welchen eine unaufhörliche, stundenlange Arbeit ohne Ermüdung möglich wäre. Hierbei liess ich mich durch die Analogie mit den Athembewegungen leiten. Diese nehmen bei der Muskelarbeit an Frequenz zu und sind dem Gefühle nach von kaum merklicher Anstrengung begleitet. Dementsprechend blieb ich bei 20 Hebungen per 1' und bei einer Belastung (1,4 kilo in runder Zahl) stehen, bei welcher die Anstrengungen obgleich deutlich, jedoch noch als sehr leichte sich fühlen lassen.

4. Jetzt begann der langweiligste Theil der Arbeit — das Einüben in das stundenlange Arbeiten<sup>1)</sup> ohne Unterbrechung; und da es mir unmöglich war, mich auf die Dauer in eine Maschine umzuwandeln, so entschloss ich mich daneben noch die Lösung einer für die Praxis nicht unwichtigen Frage über die relative Wirksamkeit verschiedener Erholungsweisen ermüdeten Muskeln vorzunehmen. Die Uebungen gaben mir zuletzt die Möglichkeit eine 4-stündige Arbeit (4800 Hebungen) ohne Ermüdung auszuführen, und die Nebenversuche, namentlich der Vergleich zwischen zwei Erholungsweisen des ermüdeten Arms — Erholung durch zeitweiliges Aufhören der Arbeit und die durch ein ebenso langes Uebertragen der Arbeit auf den anderen Arm — ergaben ein höchst unerwartetes Resultat. Seit jener Zeit hat sich meine Arbeit, so zu sagen, entzweit indem ich meine Zeit bald der weiteren Ausführung des vorgesteckten allgemeinen Planes, bald dem Ausbeuten des unerwarteten Fundes widmete. Schliesslich blieb die erstere unvollendet, als ich mit dem zweiten schon fertig wurde. Auch bezieht sich alles weiter Auszuführende ausschliesslich auf den unerwarteten Fund; und wenn ich dessenungeachtet so viel von dem bei Seite gelassenen Plane und dessen möglicher Ausführung gesprochen habe, so ist dieses deshalb geschehen, weil die Beschreibung der Untersuchungsmethode unentbehrlich war, und diese ihren Grund nur in dem allgemeinen Plane hatte.

Ehe ich jedoch zu dem neuen Gegenstande übergehe, will ich noch am Schlusse des Paragraphen zwei Myogramme (Fig. 6) unausgesetzter Arbeit ohne Ermüdung anführen. Das längere (a) bezieht sich auf die Arbeit von 70' mit 700 gr. Belastung und 30 Hebungen per 1', enthält also 2100 Hebungen; und in dem zweiten (b) sind getrennt voneinander 3 verschiedene Stadien der obenerwähnten 4-stündigen Arbeit, bei 1,365 kilo Belastung und 20 Hebungen per 1', angegeben, nämlich die letzten 15' der 1-en Stunde, die letzten 3' der dritten und die letzten 20' der 4-ten Stunde. Beide Myogramme zeugen, glaube ich, deutlich genug für die Abwesenheit von Ermüdung und für die Constanz der automatischen Bewegungen unter den unveränderten Bedingun-

<sup>1)</sup> Manchmal wirkte die dauernde Einförmigkeit der Bewegungen sogar hypnotisirend — man wurde schläfrig, und dann nahmen die Hübhöhen an Grösse bedeutend ab.

gen,—obgleich es möglich ist, dass sowohl in *a* als in *b* die Erwartung baldiger Erlösung von der langweiligen Arbeit die Bewegungen unabhängig von meinem

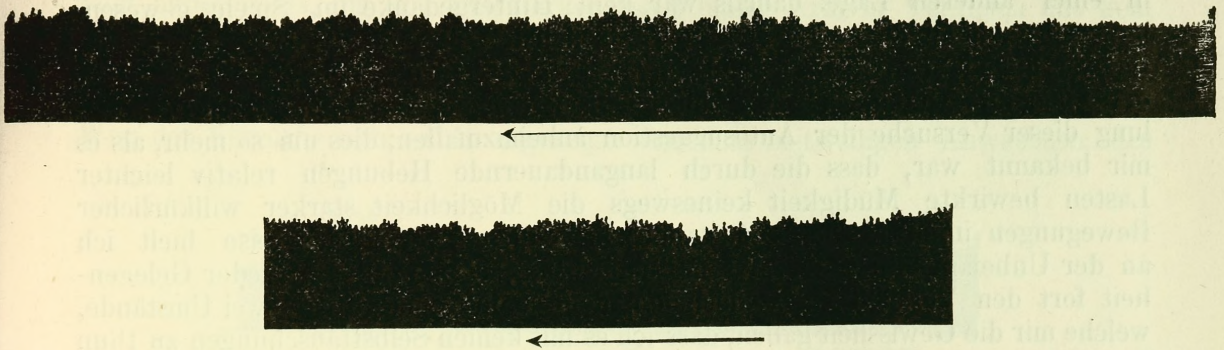


Fig. 6.

a—obere, b—untere Curve.

Willen anspronte; denn in beiden Fällen, nahe dem Schlusse des Versuches, nahmen die Ordinaten an Höhe etwas zu.

5. In allen jetzt zu beschreibenden Versuchen gilt eine stetige Abnahme der Hubhöhen als Zeichen der eingetretenen Ermüdung (was auch dem Gefühle nach ein solches ist) und, umgekehrt, jede eine Zeitlang anhaltende Zunahme derselben gilt als Zeichen der Erholung. In allen Versuchen [mit drei Ausnahmen] bediente ich mich automatischer Bewegungen. Die ermüdende Arbeit entsprach (mit 2 Ausnahmen <sup>1)</sup> stets einer Belastung von 3,4 kilo (in runder Zahl) bei 20 Hebungen per 1'.

Der obenerwähnte Versuch mit dem unerwarteten Resultat bestand in Folgendem.—Zuerst arbeitete der rechte Arm bis zur Ermüdung; dann folgte eine Ruhepause von 5' (d. h. eine Unterbrechung der Arbeit), während welcher der Arm sich zu erholen hatte; hierauf arbeitete der rechte Arm wiederum bis zur Ermüdung; und nun folgte eine zweite Ruhepause für den rechten Arm, während welcher der linke Arm 5' lang arbeitete; gleich darauf arbeitete der rechte Arm zum dritten Mal. Kurz, es wurden an dem zweimal ermüdeten rechten Arm die Erholungseffekte zweier Einwirkungen verglichen — einfacher Ruhe und einer ebenso langen aber mit der Arbeit des anderen Arms verbundener Ruhe.

Als ich diesen Versuch zum ersten Mal anstellte, war ich nicht wenig überrascht zu sehen, dass mein linker Arm bedeutend stärker arbeitete als der rechte, obgleich ich nicht links bin und vor diesem Versuche monatelang nur mit dem rechten Arm gearbeitet hatte (allerdings bei schwachen Belastungen), folglich derselbe an Kraft hätte zunehmen müssen. Mein Erstaunen stieg noch mehr, als es sich herausstellte, dass die auf die Arbeit des linken Arms folgende Arbeit des ermüdeten rechten bedeutend stärker ausfiel als die auf die erste Ruhepause

<sup>1)</sup> Diese zwei Fälle beziehen sich auf die Arbeit bei viel stärkerer Belastung mit 7,5 und 10,5 kilo.

folgende. Leider wurde dieser Versuch mit einigen darauf folgenden Proben zu einer Zeit angestellt, wo ich abreisen musste; und als ich nach einigen Monaten zu der Arbeit zurückkehrte, befand ich mich in Betreff des einst Gefundenen in einer anderen Lage: damals war kein Hintergedanke im Spiele gewesen, jetzt trat ich an die Sache mit dem natürlichen Wunsche heran, dieselbe bestätigt zu finden, da ich Zeit genug gehabt hatte an die mögliche Wichtigkeit derselben zu denken.—Ich lief, mit anderen Worten, Gefahr bei der Wiederholung dieser Versuche der Autosuggestion anheimzufallen; dies um so mehr, als es mir bekannt war, dass die durch langandauernde Hebungen relativ leichter Lasten bewirkte Müdigkeit keineswegs die Möglichkeit starker willkürlicher Bewegungen inmitten dieses Zustandes ausschliesst. Glücklicherweise hielt ich an der Unbefangenheit der ersten Beobachtung fest und fuhr bei jeder Gelegenheit fort den Versuch zu wiederholen; denn bald bemerkte ich swei Umstände, welche mir die Gewissheit gaben, dass ich es mit keinen Selbsttäuschungen zu thun hatte. Setzt man nämlich die automatischen Bewegungen bis zum Entstehen eines klar ausgesprochenen Gefühles der Ermüdung (in dem Arm) fort, [wozu eine unaufhörliche Arbeit von 30' bei mir genügte], wobei man die zu überwindenden Widerstände als vergrössert und die Bewegungen als träge verlaufend fühlt, so vergeht dieser Zustand auch nach einer Ruhe von 10' nicht, wie es die darauffolgenden Bewegungen des Arms zeigen. Dauert hingegen die Ruhepause nur halb so viel Zeit, jedoch mit der Arbeit des anderen Arms verbunden, so verschwindet das Gefühl der Ermüdung für einige Secunden gänzlich, indem der Arm während dieser Secunden wie neubelebt arbeitet. Dieser Zustand des erhöhten Arbeitsvermögens dauert übrigens kaum mehr als 1', um hierauf desto rascher zu sinken, je grösser die vorherige Ermüdung gewesen war. Noch beweisender sprach für den veränderten Zustand des ermüdeten Arbeitsorgans (infolge der vorangegangenen Arbeit des anderen Arms) der zweite von den oben-erwähnten Umständen, weil dieser offenbar nicht vorausgesetzt werden konnte:—ich meine die mit dem erfolgten Anwachsen der Hubhöhen unwillkürlich entstehende Neigung die Bewegungen frequenter auszuführen—eine Thatsache, auf welcher ich mich einige Mal factisch ertappte, ohne dieselbe erwartet zu haben.

Als Beispiele führe ich 5 Myogramme (Fig. 7) an, von welchen die ersten 2 Paare ( $c_1$  und  $c_2$ ,  $c_3$  und  $c_4$ ) die erholende Wirkung der einfachen Ruhe und der mit der Arbeit des linken Arms verbundenen auf den ermüdeten rechten Arm zeigen; während in dem Myogramm  $c_5$  die entsprechende Wirkung der Arbeit des rechten Arms auf die des ermüdeten linken dargestellt ist.

Die Zeichen r. A, l. A. und  $\times$  bedeuten hier, wie überall weiter: Arbeit des rechten Arms, Arbeit des linken Arms und Ruhe. Die Dauer der Arbeit und die der Ruhepausen sind hier, wie überall weiter, in Minuten angegeben.

Ich habe absichtlich die zwei ersten an verschiedenen Tagen erhaltenen Paare als Beispiele des in Rede stehenden Einflusses angeführt, weil sie zugleich (ebenfalls paarweise) eine in die Augen fallende Aehnlichkeit in dem Verlaufe der sich allmählig kundgebenden Ermüdung des rechten Arms zeigen. Würde man im Stande sein zwei solche Bilder absichtlich auszuführen, wenn man zudem nicht sieht, was der Stift auf der Glasplatte schreibt? Diese

Bilder sind somit Zeugen, dass die automatische Arbeit auch bei der Ermüdung so gut wie eine maschinenartig-regelmässige ist. Das Myogramm  $c_5$  zeigt andererseits, um wie viel stärker mein linker Arm in Vergleich mit dem rechten arbeitete.

Nachdem ich mich auf die oben angegebene, allerdings rein-subjective Weise, von der Richtigkeit des Beobachteten überzeugt hatte, war der weitere Weg der Versuche von selbst angezeigt. An dem zeitweiligen Anwachsen des

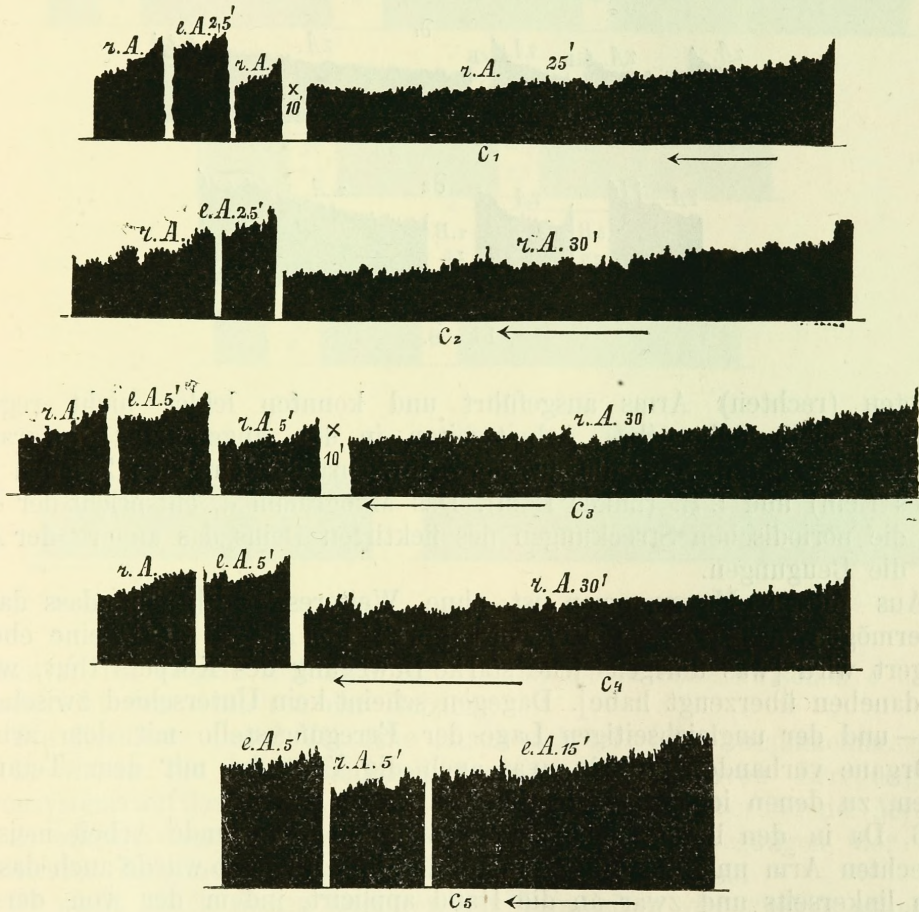


Fig. 7.

Arbeitsvermögens des ermüdeten Arms konnten nur die die Bewegungen des anderen Arms begleitenden sensitiven Eindrücke, resp. sensible Erregungen des Nervensystems, schuld sein; folglich waren bei den weiteren Versuchen diese Einflüsse in erster Reihe durch gleichartige Einflüsse aus anderen Körpertheilen zu ersetzen und hierauf alle möglichen Erregungsweisen des Nervensystems zu erproben. Von den ersteren wählte ich die Arbeit der Beine, von der unabsehbar grossen Mannigfaltigkeit der letzteren nur das Tetanisiren der Hand.

Mit der Beinarbeit hatte ich im Auge nicht bloss die weitere Bestätigung des auf eine andere Weise Gefundenen sondern noch die Möglichkeit zu erfahren, ob in dem Uebergange der Erregungen von der einen Seite des Körpers auf die andere etwas Specificisches liegt. Auch bestand die Arbeit beider Beine bei Heben der Last sowohl im Strecken der Beine in sitzender Lage des Körpers als im Beugen derselben in dem Ileo femoralgelenk. Natürlich wurden diese Bewegungen während der Ruhepausen des

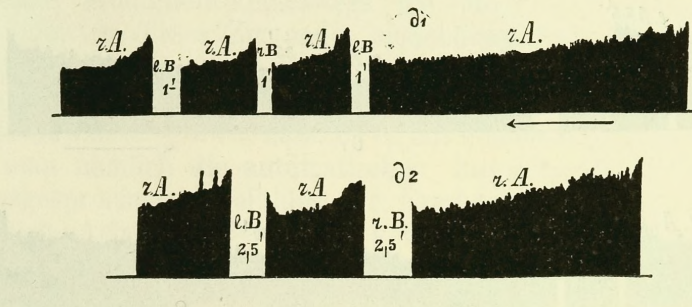


Fig. 8.

ermüdeten (rechten) Arms ausgeführt und konnten leider nicht registriert werden; deshalb fallen ihre Arbeitszeiten in den angeführten Myogrammen  $d_1$  und  $d_2$  (Fig. 8) auf die leeren Zwischenräume, mit den Zeichen r. B. (rechtes Bein) und l. B. (linkes Bein). Das Myogramm  $d_1$  entspricht der Arbeit durch die periodischen Streckungen des flektierten Beins, das andere der Arbeit durch die Beugungen.

Aus diesen Myogrammen ist ohne Weiteres ersichtlich, dass das Arbeitsvermögen des ermüdeten Armes durch die Arbeit der Beine ebenfalls gesteigert wird [was übrigens jede starke Bewegung des Körpers thut, wie ich mich daneben überzeugt habe]. Dagegen scheint kein Unterschied zwischen der gleich- und der ungleichseitigen Lage der Erregungsstelle mit dem arbeitenden Organe vorhanden zu sein, was auch die Versuche mit dem Tetanisiren ergaben, zu denen ich jetzt übergehe.

6. Da in den beschriebenen Versuchen die ermüdende Arbeit meist auf den rechten Arm und die erholende auf den linken fiel, so wurde auch das Tetanisiren linkerseits und zwar an die Hand applicirt, indem der von derselben umfasste Handgriff der linken Plattform (für den Unterarm) die eine Elektrode darstellte, während die andere in Form eines metallenen Armbandes das untere Ende des Unterarms umfasste. Die Ströme dürften nicht muskelerregend wirken und wurden nur bis zum Entstehen eines Gefühles von Zittern in der Hand gesteigert.

Hier hatte ich 1) die Einwirkung des Tetanisirens an und für sich, d. h. unverglichen mit den anderen Erregungsweisen des Nervensystems, zu prüfen; 2) und 3) die Einwirkung des Stromes mit derjenigen der erregenden Armarbeit und derjenigen der Ruhe zu vergleichen; und 4) den Strom während der fort dauernden Arbeit des ermüdeten Arms wirken zu lassen.

In den hierauf bezüglichen Myogrammen  $e_1$ ,  $e_2$  und  $e_3$  (Fig. 9) fällt das Tetanisiren auf die Ruhepausen des ermüdeten Arms, resp. auf die leeren Zwischenräume mit dem Zeichen *st*, wobei die Dauer des Tetanisirens in Minuten angegeben ist. In den Myogrammen  $e_4$  und  $e_5$  (Fig. 9) bedeutet dasselbe

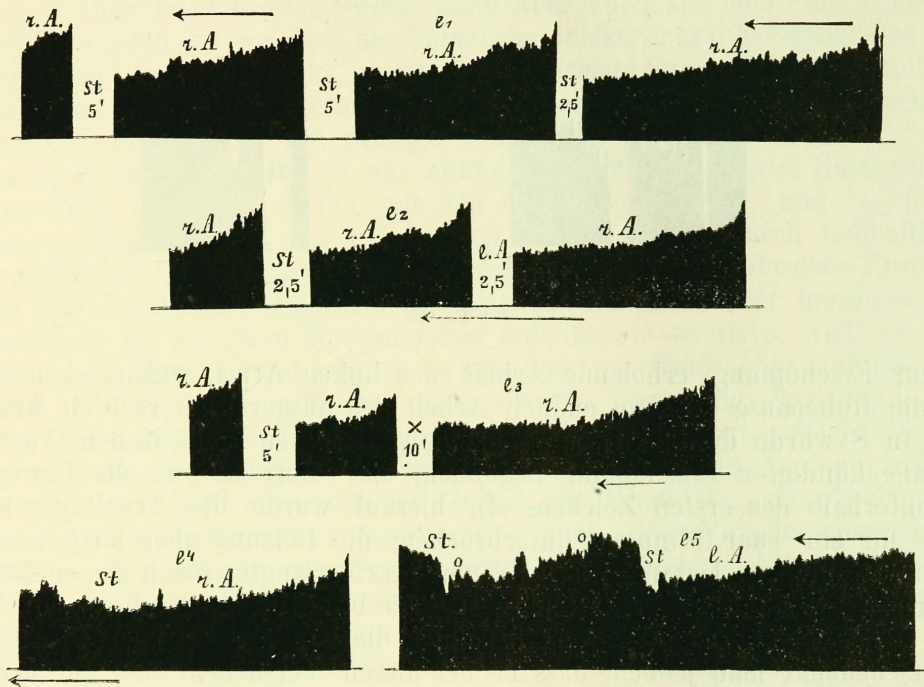


Fig. 9.

Zeichen *st* den Beginn des Tetanisirens, und die Strecke zwischen *o* und *o* in  $e_5$  entspricht dem Aufhören der Reizung.

Die Resultate dieser Versuche lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- 1) wirken die das Tetanisiren begleitenden sensitiven Erregungen des Nervensystems auf das Arbeitsvermögen des ermüdeten Arms erhöhend (Myogr.  $e_1$ );
- 2) scheint diese Wirkung derjenigen der die Bewegungen der Glieder begleitenden Empfindungen gleich zu sein (Myogr.  $e_2$ ); und
- 3) wirkt gleich diesen letzteren das Tetanisiren viel stärker als einfaches Anruhen (Myogr.  $e_3$ ); endlich
- 4) besteht die befördernde Wirkung auch während der fortdauernden Arbeit des ermüdeten Arms (Myogr.  $e_4$  und  $e_5$ ).

Schliesslich führe ich zwei Versuche an, welche die zwei Hauptergebnisse dieser Untersuchung (die Wirkung der die Arbeit der Glieder begleitenden sensitiven Erregungen und den Effect der elektrischen Reizung) unzweideutig beweisen.

Bewährt sich nämlich das in den beschriebenen Fällen beobachtete Anwachsen des Arbeitsvermögens auch bei der Arbeit mit so grossen Lasten, welche absichtlich-maximale Anstrengungen erfordern und die Ermüdung bis zur völligen Erschöpfung führen, so ist die Thatsache bewiesen.

Diese Versuche wurden an dem rechten Arme eines sehr kräftigen jungen Mannes angestellt und ergaben die unten stehenden Myogramme M. und S. (Fig. 10).

In M. trat die Erschöpfung des rechten Arms, d. h. die Unmöglichkeit die Hebungen fortzusetzen, nach 83 Hebungen ein; darauf folgten der Reihe nach: Ruhepause von ein Paar Minuten; wiederum Arbeit (des rechten Arms)

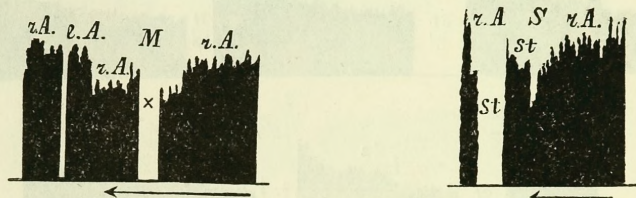


Fig. 10.

bis zur Erschöpfung; erholende Arbeit des linken Arms, welche ebenso lange wie die Ruhepause dauerte; endlich Arbeit des ausgeruhten rechten Arms.

In S wurde die elektrische Reizung (der linken Hand) in dem Augenblick der angekündigten Erschöpfung begonnen, und sofort stiegen die Bewegungen an (unterhalb des ersten Zeichens *st*); hierauf wurde die Arbeit des rechten Arms für ein paar Minuten unterbrochen, die Reizung aber fortgesetzt (das Zeichen *st* in dem leeren Zwischenraum); jetzt erlangten nach dieser Ruhe die Hebungen diejenige maximale Höhe, welche sie beim Beginn des Versuches hatten.

Dem jungen Manne waren allerdings die Resultate meiner Versuche bekannt; bedenkt man jedoch, dass er bei diesen Versuchen, stets die äussersten Anstrengungen zu machen genöthigt war, so kann hier von Autosuggestion keine Rede sein.

Ich könnte natürlich die Versuche mit elektrischer Reizung auf das mannigfachste variiren (in Bezug auf die Art, Stärke und Dauer der Reizung, so wie in Bezug auf die Grösse der Belastung, die Art der Arbeit u. s. w.), begnüge mich jedoch einstweilen bei dem allgemeinen Umriss der Erscheinungen stehen zu bleiben, da dieser schon gestattet dieselben unter einen allgemeinen Gesichtspunkt zu bringen, namentlich:

a) die Nachwirkung der sensitiven Erregungen, wenn dieselben das Nervensystem zur Zeit der Ruhe des ermüdeten Arbeitsorgans treffen;

b) die Einwirkung derselben (elektrischen) Erregungen zu einer Zeit, wenn das ermüdete arbeitende Organ thätig ist; und

c) das hierbei stattfindende Verschwinden des Gefühles der Ermüdung;—

*ad a)* Geht man von den Versuchen aus, in welchen die erregenden Einflüsse zur Zeit der Ruhe des ermüdeten Arbeitsorganes wirken, ohne sich auf irgend welche Weise zu äussern, solange das Organ unthätig bleibt, so kommt man (in Bezug auf den ersten Punkt) unwillkürlich zu der Ansicht, dass die Wirkung in einer Ladung der Nervencentra mit Energie besteht; und diese Auffassungsweise der Thatsachen scheint vollkommen am Platze zu sein, weil dieselbe wegen ihrer Allgemeinheit nichts Bestimmtes in Bezug auf den statt-

finden Process voraussetzt (von dem wir in der That nichts Bestimmtes wissen, namentlich ob die von aussen kommenden Erregungen etwa die auf die Bewegungcentra wirkenden Impulse verstärken, oder die Erregbarkeit dieser Centra erhöhen), und sofern wir berechtigt sind das in Rede stehende Arbeitsorgan als eine Maschine zu betrachten.

*ad b)* Dieselbe Auffassungsweise kann aber auch auf jene Fälle (Punkt b) ausgedehnt werden, in welchen die künstliche (elektrische) Erregung des Nervensystems zu einer Zeit wirkt, wenn das arbeitende Organ thätig ist; weil ihre Wirkung jetzt in einer Steigerung der Energieausgaben des ermüdeten Organs besteht, was ohne Zufluss von Energie von aussen unmöglich wäre.

*ad c)* Beim Menschen sind aus alltäglicher Erfahrung zwei Zustände des Nervensystems bekannt, welche mit den Namen *«gehobene»* und *«gedrückte Stimmung»* belegt werden und welche sich unter anderem durch Lebhaftigkeit und Trägheit der Bewegungen kundgeben. Es ist offenbar erlaubt diese Zustände, mit den sie begleitenden Gefühlen, als Zeichen erhöhten oder herabgesetzten Energievorrats im centralen Nervensystem aufzufassen—ersteres, weil die gehobene Stimmung ihren Grund sehr oft in den äusseren Eindrücken auf das Nervensystem hat, letzteres, weil das die gedrückte Stimmung begleitende Gefühl der Mattigkeit viel Gemeinsames mit demjenigen hat, welches die ermüdenden Arbeiten begleitet. Nimmt man nun die letzte Analogie als eine plausible an, so wird einerseits das Gefühl der Ermüdung als Zeichen des herabgesetzten Energievorrates, andererseits auch das Verschwinden desselben infolge des durch sensitive Eindrücke erhöhten Arbeitsvermögens, resp. des erhöhten Energievorrathes im centralen Nervensystem, verständlich. Man denke, zur grösseren Ueberzeugung von der Wahrscheinlichkeit des soeben Gesagten, an die Wirkung der Musik auf die durch Marschiren ermüdeten Soldaten, oder an die erheiternde und belebende Wirkung des Gesanges bei der Arbeit.

Somit war es allerdings möglich die Hauptergebnisse der Untersuchung von einem und demselben Gesichtspunkte aus zu erklären namentlich mit Hilfe des Begriffes *«Ladung der Nervencentra mit Energie»*.

Zu Gunsten dieser Erklärungsweise mag schliesslich noch folgendes angeführt werden.

7. Es waren von mir schon längst am Frosche folgende Thatsachen experimentell bewiesen worden.

α) die Fähigkeit der Nervencentra sensible im einzelnen unwirksame Stösse (dem n. ischiadicus applicirte Inductionsschläge) zu einem motorisch wirksamen Impuls zu summiren, wenn die Stösse mit genügender Frequenz aufeinander folgen <sup>1)</sup>;

β) starke motorische Nachwirkungen eines starken Tetanisirens des sensiblen Nerven; diese bestehen in Folgendem: solange das starke Tetanisiren dauert, sind die Bewegungen gehemmt, sobald aber die Reizung unterbrochen wird, treten dieselben in verstärktem Grade hervor <sup>2)</sup>; und

<sup>1)</sup> Ueb. d. elektr. u. chem. Reiz. d. sens. Nerv. u. s. w. Graz., 1868.

<sup>2)</sup> Ebendasselbst.

$\gamma$ ) eine entsprechende Reihe von Erscheinungen an dem verlängerten Marke des Frosches; hier werden namentlich durch die starke Reizung des Nerven die galvanischen Zeichen der in dem V. M. spontan von Zeit zu Zeit entstehenden  $\beta$ motorischen Impulse unterdrückt, worauf dieselben nach dem Aufhören der Reizung in verstärktem Maasse auftreten <sup>1)</sup>.

Durch die erste von diesen Thatsachen wird die Ladungsfähigkeit des Nervensystems mit Energie direct bewiesen, man mag die Erscheinung erklären, wie man will, weil dabei doch nur die Thatsache wesentlich bleibt, dass die Nervencentra die Rolle von Accumulatoren in Bezug auf die dieselben treffenden Stösse spielen.

Die zwei letzten Thatsachen reden in demselben Sinne, weil sie nur Folgendes bedeuten können: wenn die die Nervencentra treffenden Erregungen mit den daraus entstehenden Impulsen ihren natürlichen Ausweg (die Bewegungen in unseren Fällen) nicht finden können, so müssen dieselben sich in den Nervencentra ansammeln und in verstärktem Maasse hervortreten, sobald die Hemmung aufgehoben ist.

Nun sind die sub  $\alpha$  und  $\beta$  angeführten Thatsachen offenbar mit denjenigen verwandt, die ich oben zu erklären hatte.

Fig. II. 8. Jetzt bleibt mir nur noch übrig einem möglichen Einwande entgegenzukommen.

Den Ursprung des Gefühls der Ermüdung verlegt man gewöhnlich in die arbeitenden Muskeln; ich dagegen verlege denselben, in der oben gegebenen Erklärung des Verschwindens dieses Gefühls, ausschliesslich in das centrale Nervensystem. Zur Aufklärung dieses Widerspruches mag folgender Versuch dienen.

Ich liess meinen Arm bis zum Entstehen eines klar ausgesprochenen Gefühls der Ermüdung automatisch (d. h. ohne an die Excursionen des Arms zu denken) arbeiten und fing darnach an, jede einzelne Excursion zu beachten, dieselbe jedesmal absichtlich so weit als möglich führend. Das Gefühl der Ermüdung verschwand hierbei augenblicklich und liess sich auch während der Arbeit nicht mehr wahrnehmen, obgleich ich auf diese Weise 1 Stunde lang unaufhörlich arbeitete (1200 Hebungen). Dieses klingt allerdings paradox, lässt sich jedoch sehr leicht erklären. Beim unaufhörlichen Arbeiten in gleichem Rythmus hängt das mehr oder weniger rasche Entstehen des Gefühls der Ermüdung von dem Verhältnisse zwischen der Stärke der Muskelzüge und der Grösse der zu überwindenden Widerstände ab.—Sind nun letztere relativ zu den Muskelzü-

<sup>1)</sup> Galv. Ersch. an d. V. M. d. Frosch. Pf. Arch. XXVII.

gen gross, so nehmen diese an Grösse rasch ab und im entgegengesetzten Falle bleibt die Abnahme der Muskelzüge lange Zeit unmerklich. In unserem Versuche gilt das erstere für die erste Hälfte des Myogramms (Fig. 11) und das zweite für die zweite Hälfte. Es ist ferner einleuchtend, dass sofern in beiden Hälften des Versuches eine und dieselbe Muskelgruppe arbeitete, das Gefühl der Ermüdung, falls seine Quelle in den Muskeln läge, eher im Laufe der zweiten als in dem der ersten Versuchshälfte sich entwickeln müsste, weil die Arbeit in der zweiten Hälfte viel länger dauerte und viel intensiver war. Wir sehen aber gerade das Gegentheil; folglich lag sowohl in diesem Versuche, als in allen anderen ihm gleichen (d. h. in Versuchen mit automatischen Bewegungen) die Quelle des Ermüdungsgeföhles nicht in den Muskeln sondern in den Vorgängen innerhalb der Nervencentra. Damit will ich jedoch nicht sagen, dass die Muskeln an dem Entstehen des Geföhls sich überhaupt nicht betheiligen. Bei schweren Arbeiten ist ihre Betheiligung ganz unzweifelhaft; das Gesagte gilt nur für die in dieser Untersuchung beschriebenen schwachen Arbeiten. Den soeben beschriebenen Versuch benutzte ich noch zur Probe, ob das für die automatischen Bewegungen constatirte Anwachsen des Arbeitsvermögens des thätig gewesenen Arms durch das zeitweilige Uebertragen der Arbeit auf den anderen Arm auch für die jetzigen Bedingungen gilt. Die zwei letzten Reihen erhöhter Ordinaten mit den üblichen Zeichen *l. A* und *r. A* gaben eine bejahende Antwort hierauf. Uebrigens habe ich den Versuch in dieser Form nur ein einziges Mal angestellt.

Zum Schlusse erlaube ich mir noch folgende Bemerkung.—Die elektrische Reizung der Nerven und der Muskeln hat sich für die betreffenden Lehren deshalb so fruchtbar erwiesen, weil man diese Reizung auf beliebiger Höhe constant halten, respective unter beliebigen constanten Bedingungen arbeiten kann. Sollte also einmal die Zeit für das myographische Studium der motorischen Folgen natürlicher Erregungen am Menschen kommen, so könnte man, glaube ich, die entsprechenden Dienste eher von den automatischen als von den willkührlichen Bewegungen erwarten, weil die letzteren nur bei absichtlich-maximalen Impulsen constant zu halten sind, und in dieser Form sich gegen die äusseren Angriffe weniger empfindlich als die schwächeren automatischen Bewegungen erweisen.

Moskau, d. 6 März, 1903.