

**Bemerkungen zum Aufsatz:
O. Zoth, Ergographische Versuche über die
Erholung des Muskels.**

(Pflüger's Archiv Bd. 111 S. 391.)

Von

Dr. Z. Treves,

Privatdocent der Physiologie in Turin.

Die Arbeit von Zoth, „Ergographische Versuche usw.“, verdient die grösste Aufmerksamkeit aller derjenigen, die sich mit der Frage der Ermüdung bei willkürlicher Muskelthätigkeit beschäftigen, hauptsächlich deswegen, weil der Verfasser die Nothwendigkeit einsieht, die ergographische Terminologie und Metrologie zu vereinigen, wenn man mit der Ergographie nicht nur in rein physiologischen, sondern auch in benachbarten Gebieten weitere Fortschritte machen will. Auf Grund seiner langen Erfahrung über die mittelst des Mosso-Petzold'schen Apparates erzielten Resultate hat sich der Verfasser die Aufgabe gestellt, zu ermitteln, ob und wie weit die durch genannte Methode erzielten Ergogramme, nach den von ihm vorgeschlagenen Begriffs- und Maassbestimmungen betrachtet, fähig wären, eine allgemein befriedigende Beschreibung und Erklärung der Erholungserscheinungen und der Beziehungen zwischen Erholungs- und Ermüdungserscheinungen zu geben.

Da ich in meinen früheren Arbeiten ähnliche Ziele durch wesentlich andere Wege im Auge gehabt habe, und die, wie es den Anschein hat, dem Verfasser noch nicht bekannt sind, so halte ich mich für verpflichtet, einige Bemerkungen speciell auf diese Definitions- und Messungsfrage zu veröffentlichen.

Es herrscht nun kein Zweifel, dass die Leistung eines am Ergographen arbeitenden Muskelapparates nicht richtig beurtheilt werden kann, so lange man nicht auch die dazu gebrauchte Zeit rechnet, wie Zoth vorschlägt, und wie ich es bereits vor ihm bei Gelegenheit von Grund aus verschiedener Versuche gemacht habe. Ferner wird auch von jedem zugegeben, dass unter dem Namen Leistungs-

fähigkeit die unter bestimmten Arbeitsbedingungen ohne Abfall fortzusetzende Leistung (in Secunden-Meter-Kilogramm) zu verstehen sei.

Durch die Ausdrücke „Erholung“ und „Erholbarkeit“ den Begriff eines Ansteigens der Secundenleistung und der Leistungsfähigkeit des motorischen Apparates nach einer bestimmten Ruhepause zu zeigen, hiermit könnte man übereinkommen.

Dieses sind nur äussere mechanische Erscheinungen, d. h. verschiedene durch den gebrauchten Apparat und bei variirenden individuellen Zuständen vom Subject gelieferte Arbeitsmenge.

Ich kann mich aber nicht so ohne Weiteres an die von Zoth gegebene Definition der „Ermüdung“ anschliessen, solange wir nicht ausschliessen können, im Gegentheile sogar auf Grund der neuesten Versuche annehmen müssen, dass in Folge der willkürlichen Muskelthätigkeit eine ganze Reihe Ermüdungserscheinungen hervortreten, die kein deutliches paralleles Verhalten in der Leistungscurve bei rhythmischer Arbeit finden, und solange die Versuche uns zeigen, dass eben diese von der Arbeitscurve nicht wiedergegebenen Ermüdungserscheinungen hauptsächlich durch die mechanischen Arbeitsbedingungen befördert werden. — In Folge dessen können wir den von Zoth vorgeschlagenen Begriff der Ermüdung nicht als zutreffend betrachten, da der Verfasser unter Ermüdung, in Folge von rhythmischer willkürlicher Arbeit, nichts anderes versteht als einen im Ergogramme zu beobachtenden Abfall der Leistung oder der Leistungsfähigkeit (Zoth S. 394).

Meiner Ansicht nach würde jeder Fortschritt auf dem Gebiete der Ermüdungslehre bei willkürlicher Muskelthätigkeit wesentlich beeinträchtigt werden, wenn wir noch ferner an dem meiner Ansicht nach veralteten Begriff der Ermüdung in Folge der Muskelthätigkeit festhalten, d. h. nichts weiter als ein Nachlassen der mechanischen Leistung, wie es von den Untersuchungen über die künstlich gereizten Muskelapparate, wie es schweigend von allen geduldet wird, auf diejenigen über willkürliche Muskelthätigkeit übertragen worden ist. — Praktisch ausgedrückt, kann man kaum noch bezweifeln, dass die nach längerer oder kürzerer Ruhepause wiederhergestellte ergographische Leistung kein sicheres Zeichen von einer in gleichem Maasse wiederhergestellten Fähigkeit des Muskelapparates ist. In derselben Weise liefert das mehr oder weniger rasche Abfallen eines Ergogrammes kein treues Bild des Eintretens

der Ermüdung, und es ist die praktisch fortdauernde rhythmische Arbeitsleistung kein Zeichen dafür, dass kein Ermüdungsgrad entstanden sei.

Die Abweichungen zwischen der ergographischen Leistungcurve und der Ermüdungcurve sind natürlich um so grösser, je weniger die zwischen Muskeln und Widerstand befindlichen Apparate fähig sind, die vom Muskel entwickelte mechanische Energie in äussere nützliche Arbeit zu übertragen. Der Spannungszeiger von Fick und der von mir vorgeschlagene ergographische Apparat entsprechen den beiden entgegengesetzten Richtungen, nach welchen man die ergographischen Apparate construiren kann. Methode von Fick misst die grösste äusserlich zu übende Kraft, während die Bewegung fast vollständig wegfällt; dieselbe unterrichtet uns aber nicht über die Werthe der dem Muskel durch den willkürlichen Reiz ermittelten Spannung, solange wenigstens das Verhalten des Drehungsmomentes während der fast vollständig isometrischen Contraction nicht bekannt ist; man müsste noch ausserdem auch die Dauer der Bewegung in Betracht ziehen. Die dagegen von mir benutzten Apparate, da sie die normalen Arbeitsbedingungen wiedergeben, erlauben dem Subject, bei dem von ihm gebrauchten Impulse, die grösstmögliche Bewegungsgeschwindigkeit zu erreichen, also nach dem Princip der minimalen Anstrengung zu arbeiten, die man immer bei willkürlicher Arbeit zu gebrauchen bestrebt ist. Wenn auch der Drehungsmoment des von mir benutzten Gelenkapparates während der Bewegung als constant¹⁾ zu betrachten ist²⁾, so ist doch das natürliche Verfahren bei willkürlichem Gebrauch desselben kein isotonisches, wie Zoth auf Grund meiner Beobachtungen fälschlich zu glauben scheint (S. 403), da nach einer kurzdauernden Anfangsperiode der Muskel fast vollständig über die Hälfte der ganzen Bewegung dauernd entlastet ist. Dieser Umstand spielt bei dem Entstehen der Ermüdung und bei dem Gefühl der Anstrengung natürlich eine sehr grosse Rolle.

Der gute Erfolg dieser Entlastung ist in erster Linie von der Art und Weise, wie der Reiz dem willkürlich thätigen Muskel-

1) Z. Treves, Sur le moment de rotation etc. Arch. ital. de biol. t. 38.

2) Zoth hat sich kürzlich in seiner Abhandlung „Ueber die Form der Arbeit am Mosso'schen Ergographen“ an die von mir früher veröffentlichten Angaben angeschlossen. Pflüger's Arch. Bd. 112 S. 336.

apparate zuertheilt wird, abhängig; diese Erscheinung ist in weiten Grenzen vom Nahrungszustande des Muskels unabhängig, direct aber vom nervösen Zustande des Subjects beeinflusst.

Zwischen den von Fick und von mir angewandten Methoden befinden sich nun alle diejenigen, die nur theilweise die Schleuderung verhindern, sei es durch wachsende Widerstände (Federn), sei es durch unzweckmässige Application des Widerstandes (so dass man nicht sogleich vollständig die dem Muskel ertheilte Spannung benutzen kann), oder endlich, dass verschiedene Muskel- und Gelenksysteme mit verschiedenen Drehungsmomenten nacheinander ins Spiel treten, so dass das Verhältniss zwischen dem erreichten nützlichen Effect und der dazu nothwendigen Spannung sich während einer einzigen Hebebewegung zwei- oder mehrmals ändert. Wenn man nun diese Verhältnisse nicht direct bestimmt hat, so wird man nicht im Stande sein, die bei den nacheinander folgenden Abtheilungen einer derselben Hebebewegungen wirklich vom Muskel geübte Spannung und die Dauer derselben zu schätzen. Die Schwierigkeit wird so gut wie nicht überwindbar sein, wenn man die Energieausgabe messen will, welche jeder nacheinander folgenden Hebebewegung entspricht, besonders wenn neben den beschriebenen Umständen noch Einrichtungen zugefügt sind, welche die synergetischen Bewegungen durch Fesselung hindern¹⁾. Jeder Arbeitstypus liesse sich gewiss theoretisch zu ergographischen Ermüdungsuntersuchungen benutzen. Unbedingt ist aber hierzu nothwendig, dass die äussere mechanische Leistung nicht als ein direktes Zeichen des Ermüdungsgrades betrachtet sei, und dass man von der Ermüdung erst spreche, wenn man bestimmt hat, welche Verhältnisse zwischen dem Product „reelle Muskelspannung mal Zeit“ und dem Quotient „äusserliche Arbeit in Zeit“ entstanden sind, d. h. in welcher Weise bei den einzelnen Bewegungen neben der Menge von äusserer Arbeit die Drehungsmomente und die Acceleration der Masse sich geändert haben. Die Einrichtungen, bei welchen mehrere wirkende Drehungsmomente vorhanden und unbestimmt variiren können, besonders der die Ermüdung begleitenden Nebenbewegungen wegen, und bei welchen die

1) Ob die oben erwähnten Arbeitsbedingungen im Allgemeinen einen Typus natürlicher Muskularbeit darstellen, und das von mir vorgeschlagene Verfahren kaum jemals realisirt wird (Zoth's Arbeit S. 403), z. B. bei dem Marsche, Sprung, Laufen, Treppensteigen, Bergsteigen, Turnen, Schwimmen u. s. w., lasse ich den Leser beurtheilen.

Accelerationserscheinungen fast vollständig unterdrückt werden, dürften sich daher für unsere Zwecke nicht sehr empfehlen. Diese Umstände muss man besonders in Betracht ziehen, wenn es sich darum handelt, die Wirkung der Genussmittel auf die ergographische Leistung zu ermitteln, oder zu erklären, warum am Ergographen so viele verschiedene Typen der Arbeitsformen zu beobachten sind. Zoth führt diese Verschiedenheiten auf die verschiedenen Mengen innerer Arbeit bei gleicher äusserer mechanischer Arbeit mit vollem Rechte zurück (Zoth S. 400). Er wird aber auch zugeben, dass die zu einer gewissen Menge von äusserer mechanischer Arbeit entsprechende innere Arbeit hauptsächlich von der initiellen Beschleunigung abhängig ist, die das Subject der zu bewegenden Masse zu ertheilen vermag. Bei Apparaten, bei welchen derartige Beschleunigung künstlich mehr oder weniger gehindert wird, wird das Verhältnis zwischen innerer Arbeit und äusserer mechanischer Leistung nie in befriedigender Weise ans Licht treten.

Meine Versuche haben nun unsere Kenntnisse über die Beziehungen, die bei eintretender Ermüdung in Folge der willkürlichen Muskelthätigkeit zwischen der äusseren mechanischen Arbeitsleistung, dem nützlichen, einem bestimmten Ziele untergeordneten Effect, der dazu angewandten inneren Arbeit und dem dabei entstehenden Gefühl der Anstrengung herrschen sollen, erweitert. Meine Versuche haben eben gezeigt, dass die Curve der äusseren Arbeit und der Verlauf der Ermüdung wesentlich verschieden sind und desto mehr und verwickelter voneinander abweichen, je weniger die künstlich gewählten Arbeitsbedingungen der den menschlichen Bewegungsmaschinen inliegenden Beschaffenheiten angepasst sind. Die in letzteren Fällen gewonnenen Resultate dürften uns nothwendiger Weise zu allgemein irrthümlichen Anschauungen über die Frage der willkürlichen muskulären Leistungsfähigkeit führen, wenn dieselben auch an sich selbst bei bestimmten Untersuchungsbedingungen nicht zu bestreiten sind.

Meiner Meinung nach sollte dies von mancher Erscheinung der Fall sein, welche Zoth kürzlich mit besonderer Genauigkeit in den üblichen Ergogrammen hervorgehoben hat.

1. „Die mittlere Differenz der Erholungszeiten zwischen den Reihen mit und ohne gehaltenen Tetanus (welche Differenz auf der inneren in einer Secunde Tetanus geleisteten Arbeit nach Zoth aufkommen

sollte)¹⁾, bei nicht zu hohen Gewichten und Hubarbeitsleistung lange constant bleibt.“ (Zoth S. 417.) Diese Thatsache führt Zoth zu der Vermuthung, dass die Ermüdung im gehaltenen Tetanus nur eine Funktion des gehoben gehaltenen Gewichtes, nicht der vorher beim Heben geleisteten äusseren Arbeit sei. Hierdurch nähert sich Zoth an die von mir in früheren Arbeiten erläuterte Bedeutung der willkürlichen tetanischen Contraction in Beziehung auf die Ermüdungserscheinungen. Damals hatte ich aber hervorgehoben, dass ihr Verhalten bei der steigenden Ermüdung nicht ausschliesslich auf der Muskelschwäche beruhen kann, wohl aber hauptsächlich auf Veränderungen der nervösen Leistung. Somit ist die ergographische Leistungsverminderung besonders auf Kosten des Nervensystems zu berechnen, und ganz besonders gilt dieses für die üblichen ergographischen Einrichtungen, bei welchen, sei es mit oder ohne nach der Hebebewegung gehaltenen Tetanus, die Contraction doch immer von ausgesprochen tetanischer Natur ist (d. h. ohne Entlastung).

Aus den Differenzen der Erholungszeiten zwischen den Reihen mit und ohne gehaltenen Tetanus das der durch einen kürzeren oder längeren Tetanus bedingten Ermüdung entsprechende mechanische Aequivalent berechnen zu wollen (Zoth S. 417), scheint mir insofern unberechtigt, da ich früher beobachtet habe, dass man sofort, nachdem der willkürliche bis zur Erschöpfung dauernde Tetanus nachgelassen hat, die rhythmische Arbeit mit derselben Leistungsfähigkeit wiederholen kann²⁾.

2. „Bei Versuchen mit Reihen von Einzelhuben ohne (oder in gewissen Grenzen von Belastung auch mit) gehaltenen Tetanus ist die Erholungspause, welche eben nothwendig ist, um mit einem bestimmten Gewichte fortdauernd gleiche Hubhöhen, somit constante Arbeitsleistung zu erhalten, innerhalb der untersuchten Grenzen (bis 5 kg) eine lineare Funktion der Hubarbeit. — Die „absolute Erholbarkeit“ wäre demnach das individuell, für bestimmte Bedingungen des Allgemeinbefindens, constante Verhältniss zwischen geleisteter Arbeit (pro Hub in Kilogramm-Meter) und Erholungspause in Secunden“ (Zoth S. 412—415).

1) Es würde somit jeder Einfluss des nervösen Zustandes auf die Beschaffenheiten der Bewegung bei den Ermüdungserscheinungen ausgeschlossen.

2) Z. Treves, Ueber die Gesetze der willkürlichen Muskelarbeit. Pflüger's Arch. Bd. 78.

Maggiore im Gegentheil hatte beobachtet, dass es im Allgemeinen bei wachsender Belastung nothwendig ist, den Rhythmus sehr viel mehr zu verlangsamen, wie die Gewichtswerthe steigen, wenn man mit denselben fortdauernd gleiche Hubhöhe erhalten will.

Nehmen wir nun auch an, dass, wie Zoth hervorhebt, der nach der Hube gehaltene Tetanus eine wichtige Ursache der Ermüdung gewesen sei, so wäre damit doch noch nicht erklärt, woher ein so ins Auge fallender Unterschied der Verhältnisse beim Gebrauch derselben Apparate zwischen Hubarbeit und Erholungspause entstehen könne. Mich aber haben meine Versuche zu wesentlich anderen Resultaten geführt. Bei spontanem Arbeitsrhythmus und solange die Arbeitsbedingungen dem Subject die normal eintretende Anfangsbeschleunigung zu benutzen erlauben, nimmt das Individuum einen zwar langsamen Rhythmus bei steigenden Gewichten an, der aber eine praktisch fortdauernde gleiche Hubhöhe und eine mit über 6—7 kg wachsende Arbeitsleistung gestattet, und im Zustand von allgemeiner Ermüdung wird der angenommene Rhythmus schneller, ohne dass weder die Hubhöhe noch die Arbeitsleistung merklich gelitten haben¹⁾. Erst wenn die Verhältnisse in irgendeiner Weise gestört werden, nimmt die Hubhöhe mehr oder weniger rasch ab, und man erhält ein den üblichen ähnliches Ergogramm. In diesem allgemeinen Bilde der Beziehungen, welche zwischen Belastung, Rhythmus, Arbeitsleistung, Leistungsfähigkeit herrschen, können wohl die in ganz speciellen und complicirten Bedingungen von Zoth, Maggiore und anderen anscheinend abweichenden Resultate ungezwungener Weise ihren Platz finden. Wann hören bei den Zoth'schen Versuchen die Erholungspausen auf, eine anscheinend lineare Function zu sein, um dann sehr schnell anzusteigen? Von einer bestimmten Belastung aufwärts, d. h. wenn die Belastung die Grenze überschreitet, bei der das Subject, des vom Apparate verursachten Mangels der Acceleration wegen, trotz aller Anstrengung jeden nützlichen Effect vermisst.

Der von Zoth genannte „Erschöpfungspunkt“ η , welcher dem Moment entspricht, indem in Folge grösserer Belastung die Erholungspause plötzlich sehr rasch zu steigen anfängt, dürfte eigentlich dem

1) Z. Treves, Sur les conditions qui determinent le rythme spontané dans le travail musculaire volontaire; Congrès des Physiologistes, Turin, Archiv It. de Biologie, 1901.

Eintreten der neuen mechanischen Arbeitsbedingungen entsprechen, die unbestimmt die Arbeit erschweren, ohne jedoch essentiell verschiedene langsamer ablaufende Restitutionsvorgänge in den Vordergrund zu ziehen, wie Zoth zu glauben geneigt ist (Zoth S. 419).

Wenn die Versuche nicht durch den nach der Hebebewegung gehaltenen Tetanus complicirt sind, so wird natürlich der Punkt η nicht so schnell erreicht. Das frühere oder spätere Erscheinen derselben hängt in den Versuchen mit Reihen von Einzelhuben bei gleichbleibender Belastung von den relativen Veränderungen der mechanischen Arbeitsbedingungen gegenüber des veränderten Arbeitsvermögens des Subjectes ab. Wir müssen daraus schliessen, dass die Wahl des Apparates keineswegs gleichgültig ist, um von der Arbeitscurve auf Ermüdung und Erholung schliessen zu können, sowohl wenn man die allgemeinen Gesetze prüfen will, als auch wenn jemand empirische Zwecke im Auge hat. Der Mosso'sche Apparat, besonders in Folge seiner Handlichkeit, kann wohl immer in der Praxis gute Dienste leisten, und dieses will ich nicht bestreiten. Ein Ergogramm aber, wie man es gewöhnlich zu betrachten pflegt, wird uns nur immer über die allgemeine Arbeitsfähigkeit, und vielleicht noch mehr über die Widerstandfähigkeit des Subjectes in Hinsicht gegen wachsende Gefühle der Anstrengung¹⁾ aufklären, nicht aber über das Maass und das Wesen der Ermüdungs- und Erholungserscheinungen, deren Ursachen nur durch feinere exactere Methoden zu analysiren sind.

Solche Methoden sind ganz kürzlich von Zoth in der Analyse des ergographischen Hubes bei Mosso'schen Ergographen angeführt worden, wie ich bereits früher gemacht habe und zwar bei meinem Apparat²⁾. Die durch Zoth erzielten Resultate sind dadurch besonders interessant, dass erstens meine früheren Bestimmungen

1) Z. Treves, Metodo per la determinazione diretta cc. Archivio di fisiologia. 1905 S. 370. Hierdurch könnte man in passender Weise die allgemein bekannte, und kürzlich von Zoth genauer untersuchte Thatsache erklären, dass die Erholung bei ergographischer Arbeit und im Allgemeinen, möchte ich hinzufügen, bei von ausgesprochenem Gefühl der Anstrengung begleiteten Arbeit anfangs mit merkwürdig grosser, später jedoch immer mit geringerer Geschwindigkeit erfolgt (Zoth S. 431).

2) Z. Treves, Metodo per la determinazione diretta della energia di contrazione e sua applicazione allo studio delle leggi della fatica. Archivio di fisiologia vol. 2, 1905.

des Ablaufes des Drehungsmomentes des ersten Interphalangen-
gelenkes, worauf meine weiteren Messungen begründet waren,
vollständige Bestätigung gefunden haben; zweitens, dass es fest-
gestellt wurde, dass die Bewegung beim ergographischen Hube nach
Mosso'scher Methode in ziemlich vollkommener Weise gedämpft
erfolgt, d. h. die jede willkürliche Bewegung begleitenden dynamischen
Elemente (Acceleration) bei derselben wesentlich wegfallen. Daher
kann man an diesen ergographischen Curven die auf S. 533 ge-
machten Betrachtungen anwenden.