Ueber elektrische Muskelreizung.

Von

W. Preyer.

Ich habe vor Kurzem Versuche veröffentlicht (in meiner Schrift: „Das myophysische Gesetz", Jena 1874, Abschnitt III.), welche beweisen, dass für gerad- und parallelfaserige Muskeln gleiche Differenzen der Hubhöhen gleichem Reizverhältnisse entsprechen. Die Methode, mittelst welcher dieses Ergebniss erzielt ward, ist auch sonst verwendbar im Gebiete der Muskel- und Nerven-Physik. Ich will sie daher, von dem genannten Satze ausgehend, durch nähere Angabe der Einzelheiten erläutern. Die Feststellung der Relation $h_1 - h_2 = f\ (q_1 : q_2)$, wo h_1 und h_2 zwei gleichschwellige Hubhöhen und q_1 und q_2 die zugehörigen Reizgrössen, zunächst für den natürlichen Contractionsmodus, den Tetanus, verlangt eine solche Abstufung des Reizes, dass, wenn auch q_1 und q_2 einzeln genommen variiren, doch ihr Verhältniss constant bleibt. Ich entsprach dieser Forderung, mit dem Schlitteninductorium tetanisirend, durch Veränderung der Intensität J des Stromes der primären Spirale. Mit sehr kleiner Zunahme dieser Intensität nimmt, wie man sich leicht schon durch den Geschmack, die Wirkung auf den Sehnerven und namentlich die Contractionszunahme des frischen Muskels überzeugt, die physiologische Wirkung des inducirten Stromes sehr merklich zu, mit entsprechender Abnahme ebenso ab.

Man braucht nun die Art der Abhängigkeit der Stärke des Inductionstosses von der Stärke des inducirenden Stromes ebensowenig wie die Function $q = \varphi\ (r)$, wo r der Rollenabstand, näher zu kennen, um mit hoher Wahrscheinlichkeit entweder durch Constanthalten zweier Rollenabstände r_1 und r_2 bei Variirung des J oder durch Constanthalten zweier J-Werthe bei Variirung des r ein constantes $q_1 : q_2$ zu erhalten. Denn die einzige Möglichkeit, dass dieser Quotient nicht constant bleibe, ist dadurch

gegeben, dass die Art des Verlaufs des Inductionstroms bei verschiedenem J verschieden wäre. Der elektrische Muskelreiz ist bekanntlich durch die Steilheit der Abgleichungscurve bedingt. Er wird also ebenso wachsen müssen, wenn die in gegebener Zeit abgeglichene Elektricitätsmenge zunimmt, wie wenn bei gegebener Elektricitätsmenge die Abgleichungszeit abnimmt. Da im vorliegenden Falle mit der Zunahme der abzugleichenden Elektricitätsmenge die Abgleichungszeit nicht sich zu verändern braucht, so kann die Constanz des $q_1 : q_2$ bei variablem J nur dann beeinträchtigt werden, wenn ausser der Steilheitsänderung die Abgleichung eine Aenderung in der Form erführe, was wenigstens innerhalb der hier in Betracht kommenden Grenzen der J-Schwankungen, anzunehmen nicht der mindeste Grund vorliegt. Selbst wenn aber ein solcher nicht eben wahrscheinlicher Einfluss der J-Aenderung nachgewiesen würde, wäre erst noch zu erweisen, dass davon die Constanz des Quotienten $q_1 : q_2$ merklich afficirt werden kann, was wiederum bei der Kleinheit der J-Aenderungen nicht wahrscheinlich ist. Es wird also, um constantes $q_1 : q_2$ herzustellen, genügen, wenn die Intensität J für zwei Rollendistanzen variirt wird, oder wenn die Rollendistanz für zwei constante J-Werthe verändert wird, vorausgesetzt, dass in beiden Fällen J überhaupt nur wenig sich verändert. Dieser Einschränkung ist um so leichter nachzukommen, als, wie gesagt, bei sehr kleiner positiver oder negativer J-Zunahme die physiologische Wirkung des Inductionstosses sich erheblich und mit J gleichsinnig ändert.

Die Variirung des J habe ich nun in dreifacher Weise herbeigeführt: erstlich mittelst Veränderung der elektromotorischen Kraft der Kette durch Veränderung der Zahl der Elemente, zweitens durch Aenderung des Widerstandes der Kette, drittens durch Einführung eines Rheochords, in welches als Neben-Schliessung die Hauptrolle aufgenommen wurde. Alle drei Verfahrungsweisen sind gut brauchbar. Ich habe jedoch nur die beiden letztgenannten in ausgedehntem Maasse verwendet.

Die Abstufung des Widerstandes W der Kette führte ich in dreifacher Weise aus, entweder durch verschieden tiefes Eintauchen der grossen Zinkplatten der Grove'schen Elemente oder durch stufenweise vorgenommenes Anfüllen der Zellen mit Säure oder durch Zufügen von wenig concentrirter Schwefelsäure zu der Anfangs äusserst verdünnten Schwefelsäure des Bechers. Sowohl die Tauchmethode, wie die Füllungs- und die Concentrirungsmethode sind sehr geeignet zur Abstufung der Stromstärke bei

solchen physiologischen Versuchen, wo es nur auf ein Mehr oder Minder, ein stufenweises Zu- oder Abnehmen ohne numerische Feststellung des Wieviel der Zu- oder Abnahme ankommt. Aber es würden sich die der Tauchtiefe der Zinkoberfläche, die der Flüssigkeitshöhe und die der Concentration der Schwefelsäure entsprechenden Stromstärken auch leicht im einzelnen Falle in Zahlen auswerthen lassen. Beiläufig sei bemerkt, dass auch ein stetiges Anwachsen der Stromstärke in einfacher Weise dadurch erzielt werden kann, dass man aus fein ausgezogenen Glasröhren die Säure in continuirlichem Strom in den Becher fliessen lässt. In diesem Falle bewegt sich mit leicht regulirbarer Geschwindigkeit die die Stromstärke anzeigende Nadel der Bussole vollkommen stetig von dem Minimum der Ablenkung zum Maximum derselben. Hierdurch ist ein treffliches Mittel gegeben z. B. den Nerv oder Muskel über die Schwelle schleichen zu lassen.

Im vorliegenden Falle handelt es sich jedoch darum nicht stetig, sondern sprungweise das J zu steigern. Man hat dabei das Verhältniss des Widerstandes W zu dem Widerstande P der primären Rolle zu beachten. Bei meinen Apparaten verhält sich P zu W, wenn die Tauchtiefe sehr gering ist nach einigen approximativen Bestimmungen ungefähr wie 1 zu 20. Wenn aber die eingetauchte Zinkoberfläche grösser wird, mindert sich W schnell, so dass man bald an einen Punct kommt, wo weiteres Wachsen der Tauchtiefe nur eine sehr geringe Zunahme des J bedingt. Schliesslich verhält sich P zu W sehr nahe wie 1 zu 2 bei meiner Versuchsanordnung. Daher ist beim Tauchverfahren Anfangs bei der beabsichtigten J-Aenderung so lange noch W gegen P gross ist nur sehr wenig die Tauchtiefe zu vergrössern. Entsprechendes gilt für die Füllung der Elemente und die Concentrirung der Schwefelsäure. Man überzeugt sich leicht durch die Tangentenbussole, wie das J bei Anfangs geringer Tauchtiefe, bez. niedriger Flüssigkeitshöhe oder geringer Concentration der Säure, also überall grossem W, sehr viel schneller wächst als später, nachdem W bereits stark abgenommen hat. Es ist von Interesse die Grenzwerthe zu kennen, innerhalb deren das J in Ganzen sich bewegte, während der Hammer des Schlittenapparats wie gewöhnlich in Thätigkeit war. Ich fand bei minimaler Tauchtiefe eine Ablenkung von etwa 53°, bei maximaler 72°, die kleinste Intensität des Stromes der Hauptrolle verhielt sich demnach zur grössten wie tg 53 zu tg 72 also ungefähr wie 1 zu $2^1/_3$. Für das Füllungsverfahren liegen die Grenzwerthe weiter auseinander, sie verhalten sich wie 1 zu 6. Nach

dem bisher erörterten Verfahren sind die Versuchsreihen 32, 33, 39 und 40 ausgeführt worden (Myoph. Ges. § 40 und § 41). Bei Betrachtung der Zahlen für die Muskelverkürzungen könnte hier die Vermuthung entstehen, dass vielleicht der Unterschied der J-Aenderungen bei grossem und bei kleinem W nicht gehörig beachtet, somit die Reizstärke nicht oder wenigstens nicht merklich verändert worden sei. Eine solche Vermuthung würde sich nämlich darauf berufen, dass die Hubhöhen nicht zunehmen, wie es doch sein müsste, wenn der absolute Reiz q zunimmt. Diese Erwartung ist jedoch unberechtigt, denn in der 32. und 39. Reihe wurde die Reizstärke zwar variirt, aber sie nahm nicht von Nummer zu Nummer zu, sondern wechselte zwischen stärker und schwächer ab und hier wie bei den andern Reihen wurde die die Hubhöhe vergrössernde Wirkung der Reizzunahme (Zunahme des q) durch die dieselbe vermindernde Wirkung der Ermüdung (Zunahme der Reizschwelle s) übercompensirt.

Ich habe mich, bevor ich jene Versuche anstellte, überzeugt, dass bei kurzer Dauer der Reizung die Contractionsgrösse für eine bestimmte Rollendistanz in den ersten Nummern beträchtlich zunimmt, wenn man in der angegebene Weise das J steigert. Somit ist die erwähnte Vermuthung unzutreffend.

Derselbe Zweifel wiederholt sich jedoch in wenig anderer Form mit Rücksicht auf die Rheochordversuche. Bei diesen wurde die Variirung des J erreicht dadurch, dass durch Widerstandsänderung eines in die primäre Rolle als Nebenschliessung aufgenommenen Rheochords der durch die Hauptrolle gehende Zweigstrom sich im gleichen Sinne änderte. Auch Pflüger[1]) rühmt diese Art zu verfahren. Man erkennt aber leicht aus der hier zur Anwendung kommenden Gleichung

$$J = \frac{E}{W + P + W\frac{P}{R}}$$

wo R der willkürlich eingeschaltete Rheochordwiderstand, dass nur wenn P gegen R nicht sehr klein ist, J erheblich mit R va-

1) „Die Abstufung der reizenden Stromstärken in der secundären Spirale lässt sich zwar auf verschiedene Art ausführen, wie z. B. dadurch, dass man die primäre Spirale als Nebenschliessung in ein Rheochord von dickem Drahte aufnimmt, wodurch jede beliebige Feinheit der Einstellung der Stärke des primären Stromes ermöglicht ist. Ich habe mich indessen dieser sonst sehr feinen Methode nicht bedient.“ (Unters. über die Physiol. d. Electrotonus. Berlin 1859. S. 126).

riiren kann. Da nun bei meinen zwei Schlittenapparaten der Widerstand des Drahtes der primären Rolle 151, beziehlich 190 Rheochordmillimeter beträgt, in den Versuchen aber R zwischen 1000 und 20000 solcher Rheochordeinheiten schwankt, so entsteht der Verdacht, dass J gar nicht merklich variirt habe, während R bedeutend variirte.

Vor allem kommt es hierbei auf die Grösse des W an und darauf, ob P nicht etwa mit der veränderlichen Schwingungsfrequenz und Schwingungstärke des Unterbrechungshammers sich verändert. Ich finde W bei voller Zelle des Grove, gewöhnlicher Schwefelsäureverdünnung und ganz eingetauchter Zinkplatte im Mittel = 280 Rheochordmillimeter.

P fällt sehr verschieden aus, je nach der Stärke und Frequenz der Hammerschwingungen. Die beiden von mir benutzten Schlittenapparate a und b geben z. B. für P in Rheochordmillimetern:

a) Hammer ruhend 154, schwingend 171 bis 3210

b) Hammer ruhend 190, schwingend 650 bis ca. 9000.

Diese grossen Aenderungen sollen hier nicht discutirt werden, weil sie bei Anwendung der Helmholtz'schen Nebenleitung zur primären Rolle, welche ich vorzugsweise benutzte und deren Anwendung das Folgende voraussetzt, ausbleiben. Hier fand ich für P in Rheochordmillimetern

Apparat a: ruhend 151, schwingend 140,

Apparat b: ruhend 180, schwingend $\begin{cases} \text{langsam } 136 \\ \text{schnell } 111. \end{cases}$ Aber auch hierbei nimmt die Frequenz und Stärke der Hammerschwingungen mit den eingeschalteten Rheochordwiderständen zu, namentlich wenn die R-Werthe kleiner als 500 Millim. sind, daher verwendete ich vorwiegend Rheochordwiderstände >1000, bei welchen die Hammerthätigkeit sich nur wenig ändert. Es fragt sich jetzt, wie dabei J variirte. In abgerundeten Zahlen war die elektro-motorische Kraft $E=850$, $W=280$, $P=140$. Setzt man diese Werthe in obige Gleichung ein, so ergibt sich, dass das J nur zwischen 1,705 und 1,851 geschwankt haben kann, wenn R zwischen 500 und 1000 variirte, nur zwischen 1,851 und 1,977, wenn R zwischen 1000 und 4000 und nur zwischen 1,977 und 2,014, wenn R zwischen 4000 und 20000 sich bewegte. Die Bussole zeigte in der That mit grosser Steigerung des R sehr bald nur kleine Zunahmen des J an, wenn sie in die primäre Rolle des Schlitten-inductorium aufgenommen wurde:

Rheochord	Ablenkungswinkel	Tangente
500	59,4	1,691
600	60,0	1,732
700	60,5	1,767
800	60,9	1,797
900	61.2	1,819
1000	61.4	1,834
1500	62,0	1,881
2000	62,4	1,913
4000	62,9	1,954
9000	63,2	1,980
19000	63,3	1,988

Die Tangenten der Ablenkungswinkel sind, da man von dem geringen Widerstande der Bussole absehen darf, nahezu proportional den Intensitäten J des inducirenden Stromes. Diese nehmen also bei sehr grossem Rheochordwiderstande nicht mehr leicht messbar zu, sie nähern sich asymptotisch einem Grenzwerthe. Es fragt sich also, ob die Inductionswirkung und damit der Reiz bis zuletzt noch zunimmt, oder vielmehr ob die Reizzunahme zuletzt nicht so gering wird, dass gleichsam der Muskel nichts davon merkt.

Zwar gab ich bereits im Allgemeinen an (Myoph. Ges. S. 70), dass die Inductionswirkung bei der Prüfung mittelst des Geschmacks und des Muskels die grössten Schwankungen der Grösse zeigt, wenn der Rheochordwiderstand verändert wird, aber ich habe dieser Angabe Zahlenbelege nicht beigefügt und sie nicht ausdrücklich als gültig auch für die höchsten R-Werthe bezeichnet. Diese Belege liefern viele mit Muskeln von ganz frisch eingefangenen Fröschen angestellte Versuche. Die Muskeln wurden bei sehr grossem R und verschiedenem r tetanisirt, um zu erfahren ob die Hubhöhe trotz der fortschreitenden Ermüdung, sei es auch nur um Bruchtheile eines Millimeters wächst, wenn schon die Bussole nur noch ein ganz geringes Wachsen des J anzeigt oder bereits ihre Dienste versagt. Bei den gewöhnlichen Versuchen musste die s-Zunahme solche h-Zunahmen verdecken. Wenn aber höchst leistungsfähige Muskeln verwendet werden, musste eine wenn auch geringe h-Zunahme, falls überhaupt der Reiz mit R zunahm, sich zeigen. Ich habe dies in der That überaus häufig beobachtet. Der Muskel ist viel empfindlicher als die Bussole.

Und da es kein bequemeres und zuverlässigeres Mittel gibt zu zeigen, dass auch bei den höchsten Rheochordwiderständen, die Reizgrösse wirklich sich sehr merklich verändert, hiervon aber die Brauchbarkeit der Methode wesentlich mit abhängt, so will

ich einige Beispiele mittheilen. Die Muskeln sind Sartorien. Der Tetanus dauert überall nur einige Secunden. Die Hubhöhen, Rollenabstände r und Rheochordwiderstände R sind durchweg in Millimetern angegeben. Die Nummern links bezeichnen die zeitliche Folge der Reizungen. — Ueberall wurde ein grosser Grove angewendet. Der Schliessungs- und Oeffnungsstrom überall gleich stark.

Erster Muskel.

Nr.	Rheochord	Hubhöhe	
1	12000	5,55	$r = 95$
2	17000	6,05	
3	18000	6,10	
4	19000	6,75	

Zweiter Muskel.

Nr.	Rheochord	Hubhöhe	Rollenabstand
1	17000	5,10	$r = 85$
2	18000	6,80	
3	19000	7,55	
4	20000	7.65	
5	17000	10,65	$r = 82$
6	18000	11,00	
7	19000	11,35	

Dritter Muskel.

Nr.	Rheochord	Hubhöhe	Rollenabstand
1	17000	3,35	$r = 104$
2	18000	3,50	
3	17000	8,45	$r = 95$
4	18000	9.25	
5	17000	9,95	$r = 90$
6	18000	10,65	
7	17000	6,30	$r = 95$
8	18000	6,55	

Nach der letzten Verkürzung — in den drei Fällen — machte sich bei weiterer Reizsteigerung durch r-Abnahme die Ermüdung geltend, indem das h nicht mehr zunahm wenn R auf 20000 stieg, sondern abnahm oder constant blieb und dann nach und nach abnahm. Die in gewöhnlicher Weise verdoppelt myographisch aufgeschriebenen Hubhöhen wurden mikroskopisch gemessen.

Zufällig kann das mit den zunehmenden R-Werthen beobachtete Wachsen des h um so weniger sein, als es — abgesehen von der grossen Zahl der Beobachtungen — sowie man unter 4000 herabgeht, Unterschiede von mehreren Millimetern ergibt, was selbst schon bei 12000 vorkommen kann, wenn die Muskeln zart behandelt werden. Ich stehe von der detaillirten Mittheilung

solcher Versuche ab, weil durch den Nachweis der Hubzunahme bei den höchsten R-Werthen von 17000 bis 20000 implicite die grössere h-Zunahme bei geringerem R mitbewiesen ist.

Wie gross die Empfindlichkeit des Muskels für Steilheitsänderungen der Abgleichungscurve ist, erhellt daraus, dass er mit Sicherheit (durch die Vermittlung der secundären Rolle von 4776 Windungen bei Apparat a) anspricht, wenn die Intensität der primären Rolle von 2000 auf 2001 steigt. Dieses Verhältniss entspricht nämlich der Zunahme des R von 17000 auf 18000. Der Ablenkungswinkel der Tangentenbussole würde dabei nur um einige zwanzig Secunden wachsen. Und hiermit ist die Grenze keineswegs erreicht. Uebrigens überzeugt man sich auch von der Zunahme der physiologischen Wirkung des inducirten Stromes bei Steigerung des R von 4000 auf 20000, wenn man die Enden der secundären Spirale an die Zunge und Mundschleimhaut bringt. Die dann eintretenden Tast-, Geschmacks- und Lichtempfindungen sowie Zungenmuskelcontractionen wachsen sehr merklich bei passend gewähltem Rollenabstand.

Ein Zweifel kann also darüber nicht bestehen, dass bei den Rheochordversuchen in der That der Reiz auch mit den grössten eingeschalteten Rheochordwiderständen sich veränderte. Es handelt sich nicht darum, dass er sich hierbei stark verändere, sondern darum, dass er sich nachweislich verändere. Um nämlich grössere Reizänderungen zu haben, braucht man nur mit kleinerem R (von 500 bis 2000) zu reizen. Eine solche Versuchsreihe, bei welcher, um Gleichschwelligkeit der zusammengehörigen 2 Hubhöhen zu erzielen, keine Reizunterbrechung zwischen ihnen stattfand, ist folgende:

M. sartorius. Die Zahlen bedeuten Millimeter, die Nummern links geben die zeitliche Folge der Reizungen an

Nr.	Rheochord	Hubhöhe $r = 95$	Hubhöhe $r = 78$	Diff.
1	600	5,8	9,4	3,6
2	700	6,2	9,4	3,2
3	800	6,3	9,4	3,1
4	900	5,3	9,1	3,8
5	1000	5,8 . . .	9,0	3,2
6	900	5,0 . . .	8,8	3,8
7	1000	5,1 . . .	8,7	3,6
8	2000	5,2	8,6	3,4
9	500	3,2	7,1	3,9
10	700	4,2	7,7	3,5
11	800	4,6	7,8	3,2

Nr.	Rheochord	Hubhöhe $r=95$	Hubhöhe $r=78$	Diff.
12	900	4,6	7,7	3,1
13	500	3,5	6,9	3,4
14	600	3,9 . . .	7,5	3,6
15	700	3,9 . . .	7,4	3,5
16	800	3,7 . . .	7,3	3,6
17	900	3,8 . . .	7,4	3,6
18	800	2,7 . . .	6,6	3,9
19	900	3,0 . . .	6,4	3,4
20	500	2,3 . . .	6,0	3,7
21	600	2,6	6,0	3,4
22	700	2,7	5,8	3,1

Man sieht hier trotz der ungleich grösseren Anstrengung, somit Ermüdung, die erste Hubhöhe mit R wachsen bei Nr. 1 bis 3, 4 und 5, 6 bis 8, 9 bis 11, 13 und 14, 16 und 17, 18 und 19, 20 bis 22. Nur zwischen 3 und 4 und zwischen 15 und 16 hat die Ermüdung so zugenommen, dass sie die Reizsteigerung übercompensirt. Bei der zweiten Verkürzung ist dies öfter der Fall, 8mal im Ganzen, was sich zur Genüge durch den hier grösseren Einfluss der Ermüdung erklärt, man vergleiche jedoch No. 9 bis 11, 13 und 14, 16 und 17. Die Abweichungen vom arithmetischen Mittel in der Columne für die Differenzen sind zum Theil jedenfalls auf Versuchsfehler, namentlich ungenaue Einhaltung der Rollendistanzen zurückzuführen. Einige Nummern mussten deshalb wegen zufälliger und erkannter Ueberschreitung der r-Werthe gestrichen werden.

Daher habe ich auch in der Weise experimentirt, dass die beiden gleichschwelligen zu einer Differenz erforderlichen h nur ein r und zwei R-Werthe erhielten, welche für die ganze Reihe unverändert blieben. Auch diese Versuche beziehen sich auf Sartorien von *Rana temporaria*. Es fand keine Reizunterbrechung zwischen h_2 und h_1 statt.

Zeitliche Folge	Rollenabstand	Hubhöhe $R=700$	Hubhöhe $R=2700$	Diff.
1	77	5,2	6,9	1,7
2	76	5,3	7,4	2,1
3	75	5,9	7,7	1,8
4	74	6,2	8,2	2,0
5	73	6,5	8,4	1,9
6	72	6,9	8,4	maximal

Hier übercompensirte die Reizzunahme in allen Fällen die Wirkung der Ermüdung.

Ein anderes Beispiel ebenso:

Zeitliche Folge	Rollenabstand	Hubhöhe $R=600$	Hubhöhe $R=1600$	Diff.
1	75	3,6	7,0	3,4
2	74	3,2	6,7	3,5
3	73	3,5	7,1	3,6
4	72	4,2	7,7	3,5
5	71	5,2	8,4	3,2
6	68	7,5	11,3	3,8
7	67	7,7	11,5	3,8

Hier wird nur zwischen Nr. 1 und 2 die Ermüdung durch Reizsteigerung nicht compensirt.

Die Hubunterschiede der vorhin mitgetheilten drei Reihen wo auch dieselben zwei R-Werthe mitunter sich wiederholen, können deshalb nicht constant sein, weil die entsprechenden Hubhöhen wegen der Reizunterbrechung nicht gleichschwellig sind und die Ermüdung zu ungleich fortschreitet.

Der Beweis für die Reizsteigerung ist bei diesen Experimenten durch die trotz der Ermüdung eintretenden h-Zunahmen geliefert. Die Brauchbarkeit der Methode ist durch die Versuche ausreichend dargethan. Ausserdem hat durch dieselben die Relation $h_1 - h_2 = f\ (q_1 : q_2)$ neue Stützen erhalten. Es versteht sich von selbst, dass nicht jeder Muskel bei jedem Versuch eine befriedigende Uebereinstimmung geben wird. Unregelmässigkeiten kommen in den meisten Versuchsreihen vor. Sie sind grösser und häufiger, wenn zwischen h_1 und h_2 eine Reitzunterbrechung stattfindet (Reihe 31), wenn die Muskeln sehr gross sind (Reihe 34 und 37), wenn sie nicht dem lebenden Thiere, sondern einige Zeit nach der Verblutung der Leiche entnommen werden (Reihe 36). Da sich aber mit Geduld und Vorsicht und vor allem bei Verwendung von eben eingefangenen Fröschen, wie ich sie meist benutzte, selbst längere Reihen erhalten lassen, bei denen die Nummern sämmtlich nur kleine Abweichungen des Hubunterschiedes vom arithmetischen Mittel geben, da ferner auch der mit äusserster Schonung präparirte Muskel bei noch so geschicktem Manipuliren misshandelt und durch Luftzutritt geschädigt wird und kein Sartorius sich als vollkommen gerad- und parallelfaserig ansehen lässt, auch die eine Muskelfaser die andere bei der Contraction stört, so lässt sich aus diesen Unregelmässigkeiten obiger Satz nicht widerlegen. Könnte man die ganz frische isolirte Muskelfaser den beschriebenen Experimenten unterwerfen, dann würde wahrscheinlich sich

eine noch grössere Uebereinstimmung zeigen. Denn es ist nicht zu bezweifeln, dass die einzelne Faser, da sie nur isolirt sich unbehindert contrahiren kann, bei der Contraction des ganzen Muskels eine andere Gestalt annimmt als wenn sie frei sich verkürzt. Ich habe durch mikroskopische Betrachtung von Sartorien, welche vertical in Luft hängend tetanisirt wurden, mich überzeugt, dass in der That sehr viele Fasern, die in der Ruhe gerade gestreckt erscheinen, wellige nnd zickzackförmige Figuren bilden. Hört der Tetanus auf, dann tritt die Geradstreckung wieder ein. Es ist diese Zickzackform nicht zu verwechseln mit der bekannten zuerst von Dumas und Prévost an dem auf Glas liegenden Muskel beobachteten. Was ich sah, und was man an jedem frischen vertical hängenden Sartorius sehen kann, dass die Zickzackbiegung im Tetanus entsteht oder zunimmt, falls sie vorher schon andeutungsweise sichtbar war, ist wahrscheinlich zum Theil darauf zurückzuführen, dass im ganzen Muskel die eine Faser die benachbarte durch die eigene Contraction verhindert, sich ebenso zu verdicken, wie im isolirten Zustande. Daher müssen sich viele Fasern im Tetanus biegen und krümmen, wie es auch die Beobachtung zeigt. Durch solche Störungen der regelmässigen Verkürzung kann nun sehr leicht die Constanz des Hubunterschiedes gestört werden. Die Beziehung $h_1 - h_2 = f\ (q_1 : q_2)$ wird daher für den ganzen Muskel nur angenähert, für die Muskelfaser genauer zutreffen und hat überhaupt für beide nur innerhalb eines gewissen Reizintervalles Gültigkeit.

Aus jenem Versuchsergebniss habe ich nun mit Hinzuziehung der Thatsache der Muskelreizschwelle abgeleitet, erstens, dass die Hubhöhe eine Function des fundamentalen Reizes $q : s$ ist, zweitens, dass sie von ihm logarithmisch abhängt. Keine andere Function verträgt sich mit den Versuchsergebnissen und zugleich jener Thatsache.

Ebenso geht aus den Versuchen, wo bei constantem und bei variablem Reize (Myoph. Ges. § 19 und 35) die myophysische Bewegung oder Erregung gemessen wurde, hervor, dass $h = k \log \alpha p$, wo p das Gewicht, welches h eben annullirt. Auch hier ist keine andere Function auffindbar gewesen, welche so kleine Fehlerquadratsummen gäbe, wie die logarithmische. Man überzeugt sich leicht durch Bestimmung der wahrscheinlichsten Werthe der Constanten k und α, dass die berechneten Hubhöhen um viele Millimeter, jedenfalls im Ganzen um viel mehr von den beobachteten Verkürzungen differiren bei Setzung eines andern Functionszusammenhanges

zwischen h und p als der logarithmischen. Setzt man zum Beispiel $h = k \sqrt{ap}$, so ergeben sich namentlich für die zehnte Versuchsreihe (Myoph. Ges. Seite 38), welche die längste und beste von allen ist, solch enorme Differenzen zwischen Rechnung und Beobachtung wie sie selbst bei den schlechtesten Reihen für die logarithmische Function nicht vorkommen. Die Erregungsmaassformel $h = k \log \alpha p$ ist ebenso gesichertes Versuchsresultat wie die Reizmaassformel $h = k \log \frac{q}{s}$.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft

Jahr/Year: 1874

Band/Volume: NF_1

Autor(en)/Author(s): Preyer William

Artikel/Article: Ueber elektrische Muskelreizung. 281-292