

Sitzungsberichte

der

königl. bayerischen Akademie der Wissenschaften

zu München.

Jahrgang 1861. Band I.

München.

Druck von J. G. Weiss, Universitätsbuchdrucker.

1861.

In Commission bei G. Franz.

deren Beantwortung für die theoretische Chemie eine hohe Bedeutung hat.

2) Herr Harless hielt einen Vortrag

„über die Leistung, Ermüdung und Erholung der Muskeln.“

Wenn ich durch eine grössere Reihe von Untersuchungen den Ursachen jener Zustände im Muskel, welche wir mit dem Namen Ermüdung und Erholung bezeichnen, näher auf die Spur zu kommen bemüht war, so musste ich mir zuerst den objectiven Maasstab zu verschaffen suchen, an welchem ich eben jene Zustände an dem fremden Muskel wieder erkennen konnte. Denn es handelt sich nicht um die subjectiven Wirkungen und den subjectiven Maasstab, woraus ursprünglich ihre allgemeine Bezeichnung entstanden ist, sondern um ihre Ursachen an Muskeln der Thiere und zunächst wieder der Frösche, an welchen das Detail noch mancher anderer Probleme zuerst wird ermittelt werden.

Ermüdung und Erholung eines Muskels glauben wir sehr einfach aus Verminderung der Leistung und deren Wiedererlangung schätzen zu können; allein eben die Leistung eines Muskels zu bezeichnen, ist nicht so einfach, und verlangt vor Allem eine Feststellung des Begriffes.

Untersuchungen über diesen Gegenstand sind schon viele im vorigen Jahrhundert angestellt worden, welche theils den practischen Gesichtspunct der menschlichen Arbeitsfähigkeit und Zumuthung verfolgten, theils sich mit mehr theoretisch mathematischen Problemen in dieser Beziehung beschäftigten. In unserer Zeit waren die Arbeiten Weber's und Helmholtz's Bahn brechend.

Erster Abschnitt.

Es muss mit grossem Nachdruck auch hiebei der Unterschied zwischen der Leistung eines Muskels bei seiner einmaligen Contraction (Zuckung) und bei seiner längere Zeit stationär bleibenden Formveränderung (Contraction oder Contractur) festgehalten werden. Im streng mechanischen Sinn wird man für beide Fälle das Maass der Arbeit oder der Leistung nach dem Product von Masse, Acceleration und Hubhöhe abschätzen können; allein es kommt noch ein weiteres Moment hinzu, auf welches man zu achten hat, wenn man bedenkt, dass jede zeitweilig dauernde Formänderung (Contractur) aus der Summirung sehr rasch folgender Zuckungen entsteht, welche selbst wieder Folgen eines discontinuirlichen Reizes sind. Diese Impulse müssen sich in bestimmten Zwischenräumen folgen und werden um so grössere Pausen machen dürfen, je länger die Nachwirkung je eines der vorausgegangenen Impulse im Muskel anhält. Denn jede einzelne Zuckung folgt dem momentanen Reiz nach, und schon Helmholtz hat gezeigt, bei welchen zeitlichen Verhältnissen der Reize die grösste Wirkung im frischen Muskel erzielt werden kann. Da diese Verhältnisse aber je nach den Umständen, in welchen sich die Muskeln befinden, nicht gleich bleiben, so wird man in den Begriff der Leistung auch noch das weitere Moment mitaufnehmen müssen, welches man kurz mit dem Namen „Reiz-Bedarf“ bezeichnen kann. Es ist klar, dass die Leistung eines Apparates im Allgemeinen um so grösser sein wird, je geringere Triebkräfte für die gleichen letzten Effecte (Arbeit) der Maschine erforderlich sind; kann es ja dabei auch vorkommen, dass trotz ungleicher Effecte die relative Leistung gleich ist, wenn für den geringeren Effect eine entsprechend kleinere Triebkraft ausreicht.

Die Triebkraft für die Verkürzung stammt bei dem lebenden Thier aus den Nerven und die Entwicklung der Nervenkraft ist an ein Consumo von Stoff gebunden, welcher nicht ausser Rechnung bleiben darf, wenn die Leistung des Muskels

gegenüber der Oekonomie des Gesamtorganismus in Anschlag gebracht werden soll. Die auffallendsten Beispiele hiefür findet man, wenn man die Curven vergleicht, welche Muskeln in verschiedenen Temperaturen geschrieben haben.

Mit Bezugnahme auf meine früheren Mittheilungen (in der Classensitzung vom 10. Nov. 1860) kann ich bei der Beschreibung dieser Versuche kurz sein. Ich benutzte durchgehends das von mir construirte Atwood'sche Myographion mit einer Fallgeschwindigkeit von 0,0013 Secunden für 1 Millim. Weg bei der einfachen Zuckung, und von 0,005 Secunden für 1 Millim. Weg bei der Tetanuscure. Der Muskel befand sich im feuchten Calorimeterraum, und an seiner Sehne war entweder ein kleines Gewicht von 5–10 Grm. angehängt, oder sie war mit einem Feder-Dynamometer in Verbindung gebracht, dessen Einrichtung erlaubte auch bei jeder einfachen Zuckung die Grösse des eben noch bewältigten Gewichtes ablesen zu lassen. Als Reiz wurde der Oeffnungsschlag des Du Bois'schen Schlitten ohne Eisenkern unter Anwendung des Stromes der constanten Grove'schen Kette benützt. Der Hebel mit der schreibenden Spitze vergrösserte den Ausschlag der Verkürzung 4,36 mal.

Mit dem Calorimeterraum des Muskels, zu welchem der Thermometer herabreichte, standen zwei grosse Reservoir's in Verbindung, von welchen das eine kaltes, das andere warmes Wasser enthielt. Auf solche Weise konnte durch Oeffnen des einen oder anderen Hahnes die Temperatur in der Umgebung des Muskels beliebig verändert werden. So wie der Thermometer die verlangte Temperatur anzeigte, wurde die Arretirung am Myographion gelöst, die Tafel flog empor und der Muskel schrieb seine Zuckung. Wurden tetanisirende Ströme angewendet, so wurde durch das Aufschlagen des Uebergewichtes die metallische Leitung vor dem Muskel unterbrochen und die Inductionsströme konnten erst nachher den Muskel selbst treffen.

Zur Verwerthung der gewonnenen Curven benützte ich ein Coordinaten-System, welches sehr genau für jeden

Punct der Curve den Werth der Abscisse und Ordinate bestimmen lässt und zweitens den Amsler'schen Planimeter, mit welchem der Inhalt der von der Curve umschriebenen Fläche unmittelbar gefunden und nach Messung der Abscisse die mittlere Ordinate berechnet werden kann.

Ich theile zuerst eine Versuchsreihe mit, bei welcher die Intensität des Reizes durch den einfachen Oeffnungsschlag constant erhalten wurde. Die Entfernung beider Rollen des Schlittens betrug von der ersten Windung an gerechnet 12 Centimeter. Das Gewicht, mit welchem der Muskel belastet war, betrug 10 Grm.

In der nachfolgenden Tabelle bedeutet + über, — unter der Abscissenaxe. Alle Werthe der Ordinaten sind in Millimeter der unmittelbaren Messung ausgedrückt.

Abscisse	15,5°	8°	6°	28°	35° Cels.
15				0,9	0,5
20				1,4	0,6
25				5,8	
30	0,8		0,5	7,3	0,6
35	2,0	1,2	2,5	9,6	1,5
40	3,6	2,2	2,5	10,9	2
45	5,4	3,5	3,5	13,7	2
50	8,4	4,7	4,5	15,7	2,5
55	9,1	6	5,3	16,9	2,3
60	10,6	7,5	6	18,1	1,5
65	11,8	7,5	6,6	19,4	1,2
70	12,8	8,2	7,7	20,1	0,3
75	13,7	9,2	8,4	20,7	0,7
80	13,8	10,2	9	20,9	0
85	13,9	10,9	9,7	20,9	— 1
90	15,4	11,2	10,5		— 2,3
95	15,4	12,1	11,3	20,5	
100	15,2	12,3	12,8	19,9	— 2
105	14,8	13	12,5	18,4	1,5
110	14	13,1	12,8	18,4	
115	13,4	13,8	13,5	16,9	+ 0,5

Abscisse	15,5°	8°	6°	28°	35°
120	12,6	13,9	14	15,7	+ 0,6
125	11,1	14,1	14,5	15,1	
130	9,7	15	15,3	12,6	
135	7,7	15,02	15,5	10,9	
140	6,1	15,02	15,7	8,6	+ 0,5
145	4,3	15,02	16,4	6,9	
150	2,3	15,02	16,7	3,9	0
155	0,1	15,02	16,9	1,1	
160	— 1,6	15,02	17	— 1,1	
165	— 2,4	15,02	17,4	— 3,1	
170	— 4,4	14,9	17,5	— 4,1	
175	— 4,5	14,5	17,6	— 5,6	
180	— 5,2	14,3	17,8	— 5,3	
185	— 2,4	13,9	18,2	— 4,7	
190	— 1,2	13	18,25	— 3,1	
200	— 0,2	11,2	18,3	— 0	
205	+ 1,4	10,8	18,3	+ 1,4	
210	+ 2	9,5	18,3	+ 2,6	
215	+ 2,5	8,2	18,3	+ 3,9	
220	+ 3,5	7,5	18,29	+ 5,9	
225	+ 3,5	— 1	18		
230	+ 3,4	+ 5	17,5	+ 5,1	
235	+ 3,2	+ 4,2			
240	+ 2,6	— 3,2	16,7		
245	+ 2,5	+ 2,6		+ 5	

Schon aus dieser einen Reihe erkennt man, dass bei den geringeren Temperaturgraden die Pausen zwischen den einzelnen Impulsen viel grösser sein dürfen, als bei den höheren Temperaturen, um durch ihre Aufeinanderfolge eine längere, dauernde Verkürzung zu unterhalten. Diese Pausen dürfen nahezu folgende Werthe haben:

bei 15°	0,0195 Sec.,
bei 8° und 6°	0,052 Sec.,
bei 28°	0,013 Sec.,
bei 35°	0,0065 Sec.

Dem entsprechend erscheinen auch die Curven, gemessen vom Beginn der Reizung bis zu ihrer Rückkehr auf die Abscissenaxe, in den verschiedenen Temperaturen sehr ungleich lang gestreckt, so zwar, dass in vielen Fällen bei tief erkälteten Muskeln sich die ursprüngliche Länge gar nicht wieder in der Zeit herstellte, welche die Schreibfläche zu ihrer ganzen Bewegung vor der zeichnenden Spitze brauchte. Die Länge der Curven zwischen jenen beiden Puncten entspricht nämlich folgenden Zeiten:

bei 15°		0,2015 Sec.,
bei 8°		0,2886 Sec.,
bei 6°	über	0,35 Sec.,
bei 28°		0,2015 Sec.,
bei 31°		0,084 Sec.

Untersucht man die Maximalwerthe der Ordinaten, also die Hubhöhen für sich, so findet man bei der gleichen Intensität des Reizes:

bei 15°	3,526 Millim.,
bei 8°	3,44 Millim.,
bei 6°	4,19 Millim.,
bei 28°	4,786 Millim.,
bei 31°	0,572 Millim.

Bringt man die Factoren: Masse, Geschwindigkeit und Hubhöhe allein in Anschlag, so würde man zu dem Schluss kommen, dass die Leistung des Muskels zwischen 24 und 30° Cels. am grössten ist, kleiner bei 15, noch kleiner bei 8°, noch kleiner trotz der grossen Maximal-Ordinate bei 6°, kurz man würde finden, dass die Leistung des Muskels mit der Temperatur sinkt, und bis kurz vor die Grenze steigt, an welcher die Wärme die Coagulation des Muskeleiweisses (35 bis 40° C.) und damit die Reizlosigkeit bedingt. Diese Annahme ist denn in der That auch gemacht worden, und schien dadurch weiter gerechtfertigt, dass man die Reize bei tieferen Wärme-graden steigern, bei höheren abschwächen musste, um die glei-

chen Effecte d. h. die gleichen Hubhöhen zu erhalten. Ganz anders aber stellt sich das Verhältniss heraus, wenn man in Anbetracht der vom lebenden Thier auszuführenden Muskel-Arbeit noch den anderen Factor hereinzieht, der über die nothwendige Anzahl der einzelnen Impulse für länger dauernde Verkürzungen entscheidet.

Hierüber erhalten wir offenbar Aufschluss, wenn wir das Product aus der Abscisse in die mittlere Ordinate ins Auge fassen, oder mit anderen Worten: wenn wir den Flächeninhalt kennen lernen, welcher von der Curve eingeschlossen wird. Dabei liegt der eine Ausgangspunct der Messung am Ende der latenten Reizung, der andere an der Stelle, an welcher die Curve zur Abscisse wieder zurücksinkt oder sie schneidet.

Hierüber sind nun auch grössere Untersuchungsreihen theils mit gleichbleibenden, theils mit wechselnden Intensitäten der Reizung und mit verschiedenen Reihenfolgen des Temperaturwechsels angestellt worden, wovon ich einen Theil in den nächsten Tabellen zusammenstelle; die Ausmessungen beziehen sich auf die wirklichen Werthe an den gewonnenen Curven ohne Reduction.

I. Versuchsreihe.

Curven Nummer	Tempe- ratur	Rollen- distance	F in □ Mill.	Absc. in	mittlere Ord. Millim.
1	15,5°	12	1278	133	9,6
2	12°	12	1175,76	138,5	8,48
3	8°	12	1908,48	214	8,91
4	6°	11	2325,96	213,9	10,87
5	15°	12	1013,88	129,3	7,06
6	18°	12	1439,88	138	10,43
7	24°	12	1899,96	147	12,92
8	28°	12	1899,96	147	12,92
9	33,5°	12	621,96	112,1	5,54
10	35°	0	102,24	69	1,48

II. Versuchsreihe.

Curven Nummer	Tempe- ratur	Rollen- distance	F in $\square$ Mill.	Abse. in	mittlere Ord. Millim.
11	16 ⁰	8,4	1789,2	145,2	12,32
12	5 ⁰	8,4	2343	232,5	10,07
13	27 ⁰	8,4	3024,6	168,5	17,95
14	34 ⁰	0	170,4	75,5	2,25

III. Versuchsreihe.

15	16 ⁰	13,4	639	159	3,1
16	16 ⁰	0	1618,8	202,5	7,9
17	4,5 ⁰	5	2930,88	268	10,93
18	4 ⁰	0	2641,2	213	12,4
19	28 ⁰	13,4	1456,92	135	10,7
20	30 ⁰	11	2304,66	153,5	15,01
21	35 ⁰	0	85,2	71	1,2

IV. Versuchsreihe.

22	16,5 ⁰	11,4	1099,08	128	8,58
23	16,5 ⁰	10	1661,4	141,7	11,72
24	6 ⁰	8	1496,11	198	7,55
25	5 ⁰	0	1874,4	215,1	8,71
26	29 ⁰	11,4	1158,72	133,5	8,67
27	29 ⁰	12,4	520	104	5
28	8 ⁰	10,9	1056,48	194,8	5,42
29	5 ⁰	5	2300,4	233	9,87
30	4,8 ⁰	0	2283,36	240	9,51
31	23 ⁰	11	443,04	129,2	3,42
32	36 ⁰	0	298,2	79,2	3,76

V. Versuchsreihe.

33	17 ⁰	12	2198,16	152	14,46
34	7 ⁰	12	2249,28	221	10,17
35	4 ⁰	11	3407	257,3	13,24
36	18 ⁰	12	1917	148	12,95
37	26 ⁰	13,4	1482,48	134	11,06
38	30 ⁰	13	3041,64	168,5	18,05
39	34 ⁰	8	937,2	121,3	7,72
40	35 ⁰	0	1047,96	120	8,73
41	35 ⁰	0	170,4	74	2,3

Aus allen den Versuchen, in welchen die Intensität des Reizes nahezu oder vollkommen gleich erhalten wurde, sieht man, dass von der mittleren Temperatur (15°) an gerechnet innerhalb beträchtlicher Grenzen, nämlich herab bis zu 4° und hinauf bis zu $28-29^{\circ}$ das Product von mittlerer Ordinate und Abscisse wächst, ja dass im Allgemeinen nach diesen beiden Grenzen hin die mittlere Ordinate für sich schon an Höhe zunimmt, oder wenigstens auf der der Minus-Seite zugekehrten Reihe nur unbedeutend hie und da abnimmt. Nach aufwärts von 15° wird die Leistungsfähigkeit des Muskels wesentlich durch Vergrößerung der Hubhöhe, nach abwärts wesentlich durch die Dauer des Hubes erhöht. Andauernde Wärme von 29° und darüber erschöpft aber schon nach wenigen Minuten die Leistungsfähigkeit; sie kann jedoch rasch in kühlerer Temperatur wieder anwachsen, wenn der 30. bis 35. Grad nicht überschritten worden war. Aus der IV. Versuchsreihe erkennt man deutlich, wie grosse Differenzen der Intensität des Reizes dazu gehören, diese Wirkungen der Temperaturen verschwinden zu machen. Wir sehen die Werthe von F bei den verschiedenen Temperaturen in enormem Grad schwanken. Es kommen Differenzen im Verhältniss von 1 : 10 und darüber vor. Durch die Eigenthümlichkeiten der einzelnen Curven werden aber diese Unterschiede ausserordentlich compensirt, wenn man mit tetanisirenden Strömen länger dauernde Verkürzungen zu erzielen versucht. Ich habe das Hammerwerk des Schlittens dabei sorgfältig überwacht und mich überzeugt, dass der bei dem Spiel der Feder erzeugte Ton während der ganzen Versuchsreihe nicht im Geringsten verändert wurde. Dabei ergaben sich für die einzelnen Temperaturen nachstehende Werthe der von uns in den obigen Tabellen bereits berücksichtigten Grössen:

Temperatur	F	Absc.	mittlere Ord.
6°	3450,6	269	12,82
13°	4387,86	267	16,43
$16,5^{\circ}$	5026,8	272	18,48
28°	5154,6	273	18,88
35°	4132,2	270	15,3
35°	3237,6	268	12,07

Es könnte darnach scheinen, als wenn für den mehr dauernden Muskeleffect die Form der einzelnen Zuckungen, aus welchen er sich zusammensetzt, gleichgiltiger wäre; allein ein Blick auf die Curven lehrt uns, dass wir uns durch die angeführten mittleren Werthe nicht täuschen lassen dürfen. Bei der Curve, welche in einer Temperatur von 6° geschrieben worden, zähle ich nur zwei ganz flache Berge im Bereich der ersten 0,15 Secunden. Von da ab ist die Curve eine vollkommen gerade Linie, welche bis zu 1,24 Secunden in langsamem, stetigem Steigen begriffen ist.

Bei dem 13. Grad sind drei ebenfalls sehr flache Berge zu bemerken, welche bis zur 0,27. Secunde reichen; der Rest der Curve läuft fast ganz parallel der Abscissenaxe.

Bei dem 16,5. Grad zählt man vier schon etwas höhere Berge, welche sich erst nach 0,4 Secunden verlieren, um in eine gerade, schwach ansteigende Linie überzugehen.

Bei dem 28. Grad finden sich sieben anfangs schon sehr hohe Berge, welche sich bis zu 0,78 Secunden fortsetzen, um dann erst in eine fast ganz gerade, langsam ansteigende Linie überzugehen.

Bei dem 35. Grad zählt man zehn anfänglich sehr hohe, dann immer niedriger werdende Berge, welche nach 1,25 Secunden noch nicht ganz geebnet sind. Kurz also: die Stetigkeit der Arbeit bei gleicher zeitlichen Reihenfolge der Impulse nimmt mit der steigenden Temperatur ab. Oder mit anderen Worten: um bei niedrigen und höheren Temperaturen die gleiche stetige Arbeit zu verrichten, müssten wir im letzteren Fall die Schnelligkeit der auf einander folgenden Impulse, für die gleiche Zeit, demnach ihre Summe vergrössern.

Ganz ähnliche Schlüsse ergeben sich aus Dynamometer-Versuchen, bei welchen das Maximum der Reizung in Form eines einzigen Oeffnungsschlages benützt wurde. Ich besitze eine Reihe von Curven, welche ein und derselbe Muskel geschrieben hat, und wobei das bewältigte Gewicht in den Temperaturen 17° , $3,5^{\circ}$, 5° , 29° und 30° ganz gleich war, nämlich 78,5 Grm.

In allen Fällen war die Anfangsspannung 18,5 Grm. Aber wie verschieden sehen die Curven aus! Bei 17° wurde das Gewicht 0,0585 Sekunden auf gleicher Höhe gehalten

bei 3,5°	0,1215 Sekunden	
bei 5°	0,0657	„
bei 29°	0,0052	„
bei 30°	0,0020	„

In den beiden extremen Fällen hätten also die Unterschiede in der Zahl der nöthigen Impulse für die stetige Arbeit des Muskels in der Zeiteinheit das 60fache betragen.

Es handelt sich hier vorläufig nicht weiter um die Eruirung der Ursachen, von welchen die Verschiedenheiten der Curven bei den einzelnen Temperaturgraden abhängen; es genüth hieran am deutlichsten gezeigt zu haben, wie nothwendig es ist, in den Begriff der Leistung eines Muskels seinen „Reiz-Bedarf“ mit aufzunehmen.

Zweiter Abschnitt.

Ich wende mich jetzt spezieller zu dem Problem „der Ermüdung und Erholung“ der Muskeln, welches so vielfach schon bearbeitet, wie mir aber schien, noch keineswegs als gelöst zu betrachten war.

Abgesehen von den früheren dynamistischen Theorien, welche man zur Erklärung des Phänomens zu Hilfe nahm, hat unsere besonnenere Physiologie bis jetzt nur allgemeine Gesetze hierüber aufzustellen vermocht. Dass im lebenden Thier nach vorausgegangener Reizung viel langsamer Ermüdung eintritt und rascher Erholung erfolgt als bei dem ausgeschnittenen Muskel, dass das Gleiche von diesem gilt, so lange seine Blutgefässe noch nicht ganz entleert sind, im Gegensatz zu einem solchen Muskel, bei welchem das Letztere der Fall ist, dass aber auch dieser, wenn auch in sehr beschränktem Maass nach Ermüdung sich wieder erholen kann — alles dies hat den Schluss gerechtfertigt: es beruhe die Erholung auf dem Ersatz eines

Stoffes, dessen Zersetzung in den vorausgegangenen Momenten der Thätigkeit die Ermüdung herbeigeführt habe.

Dieser Ersatz könne einerseits in der Muskelflüssigkeit, andererseits und besonders im Blut der Gefässe gelegen sein. Zersetzungsproducte aus dieser Quelle, wie sie bei der Verkürzung der Muskeln gefunden wurden, konnten nur den Glauben bestärken, dass eben diese Zersetzung und der damit verbundene Verbrauch an Stoff und damit an Kraft die Ursache der Ermüdung sei. Alles deutete darauf hin, dass es das Eiweiss sei, aus dessen Zersetzung die Kraftquelle stamme und dass die Leistung unmöglich werde, wenn dieses zerstört sei. Man findet nun aber auch in ganz erschöpften und für immer reizlos gewordenen Muskeln noch eine verhältnissmässig grosse Menge von Eiweiss, welches sich unzersetzt aus ihnen gewinnen lässt.

Unmöglich also konnte alles Eiweiss als Material zur Kraft-erzeugung angesehen werden, sondern nur ein Theil; aber warum nur ein Theil, und welcher? Man hat auch diese Frage zu beantworten gesucht und gesagt: Wie in jedem Organ, so findet sich auch in den Muskeln eine Menge von Eiweiss, welches an die Gewebe gebunden ist und ein anderer Theil, welcher durch die Gewebe hin- und herwandert, und seinen intermediären Kreislauf vollendet, und nur dieser Bruchtheil ist im Stande, die Kraftquelle zu liefern. Man konnte aber immer einwenden, dass wir dann auch nie mehr als dieses Eiweiss-quantum durch Auspressen oder Auslaugen aus dem Muskel gewinnen könnten, alles andere müsste unfähig zu solchem Kreislauf sein; wir hätten dann aus dem erschöpften Muskel kein Eiweiss auf diese Weise mehr zu gewinnen, was doch thatsächlich der Fall ist.

Rei dieser Sachlage schien es mir am Gerathensten, von allen vorgefassten Meinungen, so viel als möglich ist, zu abstrahiren und die Frage entschiedener zu stellen.

Ich ging von der Betrachtung des isolirten Muskels aus,

wie er sich, gleichviel ob mehr oder weniger Blut enthaltend, bei der gewöhnlichen Präparation darbietet.

Es war der Gastrocnemius des Frosches, welchen ich untersuchte. Ich musste folgern: Wenn die Reizung und die sie begleitende Zuckung nur ermöglicht ist durch den Vorrath von Eiweiss, der gleichgiltig wo im Muskel sich befindet, so kann jede solche Reizung denselben nur vermindern und die Leistung des Muskels muss immer mehr abnehmen; sie kann auch bei der Erholung nie grösser werden, als sie anfänglich war. Das Gegentheil anzunehmen wäre mir mehr als paradox vorgekommen, wenn ich nicht aus meinen bisherigen Versuchen an den Muskeln ersehen hätte, dass sehr viele Verhältnisse in gar hohem Grade complicirter sind, als man vorher erwarten konnte. Zudem musste ich mir ja erst die Handschrift des ermüdeten Muskels verschaffen, um ihn später unter allen andern wieder zu erkennen. Ich benützte dazu stets das Atwood'sche Myographion mit einer Geschwindigkeit von 0,74 Meter in der Secunde und wie gewöhnlich den Oeffnungsschlag der Inductionsvorrichtung. Ein Gyrotrop liess ausserdem leicht die Drahtcombination vor dem Schlitten so variiren, dass bald bloss jener, bald die abwechselnd gerichteten tetanisirenden Ströme als Erregungsquelle benutzt werden konnten.

Ich liess zuerst drei Curven des frischen Muskels schreiben und als diese unter einander congruent ausfielen, wurde der in seine Hülse eingeschlossene und vor Wasserverlust geschützte Muskel so lange tetanisirt, bis er sich nur sehr wenig mehr verkürzte. Die nächste einfache Zuckungcurve schrieb er nach 3 Minuten, die folgende nach 12, dann eine nach 19, nach 26, nach 39, nach 45 Minuten. Ich theile zunächst nur die Ausmessungen der Curven mit, welche vor dem Tetanus, dann die, welche 3 Minuten darauf, und die, welche 39 Minuten nach dem Tetanus geschrieben wurden.

In allen Fällen und auch während des Tetanus war der Muskel mit 20 Grm. belastet.

Abscisse	Frischer Muskel: 3 Minuten		39 Minuten
	latente Reizung nach dem		nach dem
	= 0,016 Sec. Tetanus; la-		Tetanus; la-
	tente Reizung		tente Reizung
	= 0,023 Sec.		= 0,0104 Sec.
10			0,8
15	0,5		1,5
20	1	0,6	3
25	2,5	1,1	5,5
30	4,2	1,7	6,1
35	5,8	3,3	7,5
40	7	4,1	8,5
45	9,1	4,8	10
50	9,1	5,5	10,5
55	9,5	5,8	10,9
60	9,6	5,9	11
65	9,1	6,1	11
70	8,5	6,1	10,8
75	7,5	6,1	10,1
80	6,5	6	10
85	4,5	5,7	9,5
90	2,5	5,6	9
95	0,5	5,2	8
100	— 1,5	4,6	7
105	— 3,5	4,6	6
110	— 5,3	4,1	5
115	— 6,5	3,6	3,9
120	— 7,5	3,4	2,5
125	— 7	3,1	1,5
130	— 6,5	2,8	0,5
135	— 7,5	2,1	0
140	— 6,5	2,1	
145	— 6	2,1	1
150	— 6	2	1,5
155	— 5,9	2	2
160	— 6	1,9	2,7
165	— 6,5	1,9	3,8
170	— 7,5	1,9	3,8

Abscisse	Frischer Muskel ;	3 Minuten nach dem Tetanus,	39 Minuten nach dem Tetanus,
175	— 8	1,8	3,8
180	— 9	1,7	3
185	— 9,5	1,7	2
190	— 10,5	1,6	1,8
195	— 11	1,6	1,5
200	— 11,5	1,4	
205	— 11,5	1,3	
210	— 11,5	1	
215	— 11,5	0,9	
220	— 11,5	0,8	
225	— 11,8	0,7	
230	— 11,9	0,7	
235	— 12,49	0,6	
240	— 12,49	0,6	
245	— 13,44	0,5	
250	— 14,0	0,5	
294		0	

Als Hauptmerkmal des ermüdeten Muskels erkennen wir, wie auch schon anderweitig bekannt ist, die Verlängerung der latenten Reizung und die lange Streckung, welche die ganze Curve erfährt. Wir sehen weiter den Gipfelpunct der Curve später erreicht werden. Die Abscissenaxe, welche von der Curve des frischen Muskels nicht nur einmal, sondern öfter berührt oder geschnitten wird, wird von der Curve des unmittelbar vorher tetanisirten Muskels erst nach 0,325 Secunden langsam berührt, 3 Minuten später nach 0,169 Secunden, um in ihr zu verschwinden.

Die Intensität des angewendeten Reizes, mit dem stärksten Strom der Kette und übereinandergeschobenen Rollen des Schlittens war voraussichtlich gross genug, die ganze Energie des Muskels jedesmal auszulösen. Gleichwohl konnte man denken,

es wäre die Erregbarkeit durch den Tetanus so weit gesunken, dass der Reiz nicht mehr zureichte. Um diess zu ermitteln, mussten damit die Curven verglichen werden, welche der Muskel im frischen Zustand bei ausreichender und unzureichender Intensität des Reizes liefert. Damit liess sich zugleich noch ein anderer Punct vorläufig in die Betrachtung ziehen, nämlich die Frage, ob es bei der Ermüdung nach dem Tetanus vermehrte Widerstände sind, denen ähnlich, welche bei grösseren Belastungen des Muskels die Curve bestimmen.

Zu dem Ende wurden Muskeln entweder mit dem gleich starken Inductionsstrom und ungleicher Belastung, oder mit der gleichen Belastung und ungleich starken Strömen gereizt. Die Ergebnisse an ein und demselben Gastrocnemius sind tabellarisch im Folgenden zusammengestellt, aber nur die am weitesten auseinander liegenden Fälle aufgenommen, während im Versuch noch viel mehr dazwischen liegende Variationen aufgesucht worden waren.

Absciss.	Belastung 10 Grm.		Rollendistance = 0	
	Rollendistance		Belastung	
	= 0	= 9,4 Cent.	= 10 Grm.	= 100 Grm.
	latente Reizg. = 0,018 Sec.	latente Reizg. = 0,026 Sec.	latente Reizg. = 0,018 Sec.	latente Reizg. = 0,024 Sec.
20	1,1		1,1	
25	2,2		2,2	1
30	2,8		2,8	2
35	5,5	1,02	5,5	2,6
40	6,9	2,02	6,9	3
45	8,5	2,2	8,5	4
50	9,5	3,1	9,5	4,4
55	10,6	3,3	10,6	5 {
60	11,5	4	11,5	5 }
65	12,5	4,2	12,5	4,8
70	12,6	4,2	12,6	4,5
75	13,3	4,2	13,3	4
80	13,3	4,2	13,3	3
85	13,3	4	13,3	2
90	13,2	3,1	13,2	1

Abscisse.	Belastung 10 Grm.		Rollendistance = 0	
	Rollendistance		Belastung	
	= 0	= 9.4 Grm.	= 10 Grm	= 100 Grm.
	latente Reizg. = 0,018 Sec.	latente Reizg. = 0,026 Sec.	latente Reizung = 0,018 Sec.	latente Reizung = 0,032 Sec.
95	12.9	2,8	12,9	— 0,2
100	12,5	2	12,5	— 1
105	11,6	1	11,6	— 0,9
110	11,1	1,5	11,1	— 0,5
115	10,1	— 0,5	10,1	0
120	8,7	— 0,9	8,7	+ 1
125	7,5	— 1,1	7,5	+ 1,5
130	6,1	— 1,5	6,1	+ 1,9
135	4,5	— 1,3	4,5	+ 2
140	3	— 1,1	3	+ 2,4
145	1,6	— 1	1,6	+ 2,1
150	0,2	— 0,5	0,2	+ 2,1
155	— 1	0	— 1	+ 2
160	— 2	+ 0,1	— 2	+ 1,4
165	— 2,5	+ 0,2	— 2,5	+ 1,1
170	— 2,5	+ 0,18	— 2,5	0
175	— 2,5	+ 0,15	— 2,5	— 0,4
180	— 1,9	0	— 1,9	— 1
185	— 1,1		— 1,1	— 0,3
190	+ 0,5	— 1	+ 0,5	0
195	0	— 1,3	0	+ 0,1
200	— 1,5	— 1,7	— 1,5	+ 0,2
205	— 1,5	— 1,9	— 1,5	+ 0,15
210	— 1,5	— 1,7	— 1,5	+ 0,1
215	— 1	— 1,6	— 1	0
220	— 0,2	— 1,3	— 0,2	— 0,5
225	0	— 1,2	0	0
230	+ 0,5	— 1,2	+ 0,5	
235	0	— 1,2	0	
240	— 0,5	— 1,2	— 0,5	
245	— 1,5	— 1,2	— 1,5	

Man sieht hieraus leicht, wie mit keiner dieser Methoden eine Curve gewonnen werden kann, welche der des stark er-

müdeten Muskels gleicht. Sein charakteristisches Merkmal bleibt die langgestreckte, langsam der Abscisse zubiegende Curve, deren Maximalordinate immer tiefer herabrückt, d. h. später erfolgt, je grösser die Ermüdung wird; bei gleichen (äusseren) Widerständen und abnehmender Intensität des Reizes dagegen rückt dieser Punct höher zum Anfangspunkt der Curve hinauf, und dasselbe gilt dann, wenn der Reiz gleich bleibt und die Widerstände sich vergrössern. Die Schwankungen der Curve nach der ersten Rückkehr zur Abscisse sind in beiden Fällen relativ nicht verändert. Ich stelle schliesslich noch für die drei Fälle die Werthe der mittleren Ordinaten, der Abscissen und des Productes beider Grössen zusammen.

	frischer ermüdeter Muskel		frischer Muskel Belastung 10 Grm.		frischer Muskel Rollendistance = 0 Belastung	
	nach dem Tetanus	Belast. mit 20 Grm.	= 0	= 9,4 Cent.	= 10 Gm.	= 100 Gm.
F	724,2	664,56	1056,48	238,56	1056,48	255,6
Abscisse	103	133	294	91,4	133	74
mittlere						
Ordinate	7,03	2,27	7,94	2,61	7,94	3,45.

Hieraus sieht man, dass in den drei Fällen die Grössen F und Ord. in gleichem Sinn sich ändern; dass wir hiernach also immer noch im Unklaren über den Vorgang bei der Ermüdung bleiben würden, wenn wir nicht die vorhin mitgetheilte Eigenthümlichkeit der Curve in ihrer successiven Entwicklung verfolgt hätten.

Es kommt jetzt darauf an, an dem frischen Muskel irgend wie eine solche charakteristische Curve zu gewinnen. Ich habe zu dem Behuf Belastung und Stärke des Reizes gleichzeitig auf das Manigfaltigste geändert und auf diese Weise in der That vom frischen Muskel Curven gewonnen, welche denen ermüdeter ganz genau glichen. Man erreicht das bei möglichster Verminderung der Widerstände und bei gleichzeitiger Abschwächung des Reizes; also z. B. bei 5 Grm. Belastung und 6,5 Centim. Rollendistance. Entstehen demnach solche Curven bei gleich-

bleibendem äusseren Widerstand und Reiz aus inneren Ursachen, so wird man ganz allgemein folgern können, dass die Erregbarkeit gesunken ist, und dass sich zugleich die inneren Widerstände vermindert haben.

Verfolgt man jetzt weiter die Reihe von Curven, welche während der Erholung der Muskeln nach und nach geschrieben werden, so sieht man, dass die Maximal-Ordinate allmählich nicht bloss ihren alten Werth wieder erlangen, sondern denselben sogar übersteigen kann. Gleichzeitig rückt dieser Punct, sowie der Endpunct der Curve, wie dies durch Klammern und Punkte in der obigen Tabelle angedeutet ist, immer näher und näher zum Anfangspunct der Curve zurück, und je mehr und mehr machen sich auch wieder Schwankungen in ihr jenseits der Stelle geltend, an welcher sie zum erstenmal zur Abscisse zurückgekehrt war. Allein nie wird bei dem ausgeschnittenen Muskel die Abscisse wieder so kurz wie in dessen Curve vor dem Tetanus. Wenn man jetzt die für die Leistungsfähigkeit in Betracht gezogenen Grössen mit einander vergleicht, so gewinnt man z. B. folgende Uebersicht:

	F	Abse.	mittlere Ordn.
Frischer Muskel mit 20 Grm. belastet	724,2	103	7,03
Unmittelbar nach dem Tetanus	664,56	294	2,27
11 Minuten nach dem Tetanus	852	161,5	5,27
12 Minuten nach dem Tetanus	903,12	136,5	6,61

Die Leistungsfähigkeit in diesem Sinn nimmt demgemäss nach dem ersten Tetanus in der Zeit der Erholung wieder zu und kann die anfängliche um $\frac{1}{5}$ und sogar mehr übertreffen. Da aber immer noch die wesentlich charakteristischen Eigenschaften der Ermüdungcurve fortbestehen, so wird man ganz allgemein sagen können, dass dabei die Erregbarkeit rascher wieder wächst als die inneren Widerstände.

Es besteht also gegen unsere Erwartung das Paradoxon, dass trotz des Stoffverbrauches, welcher die Ermüdung herbei-

geführt hatte, und trotz der Unmöglichkeit einer vergrösserten Zufuhr während der Erholung von momentaner Erschöpfung die Erregbarkeit und Leistung des Muskels grösser werden kann als sie vor der Erschöpfung gewesen ist. Wiederum ganz allgemein wird der Schluss gerechtfertigt sein, dass mit dem Verbrauch an Eiweiss im Lauf der Erholungszeit weitere Processe auftreten, welche die Wirkung des Eiweiss-Verlustes selbst mehr als compensiren können.

Diese allgemeinen Schlüsse enthalten noch so viele Möglichkeiten des denkbaren Verhaltes, dass man sich bei ihnen nicht beruhigen konnte. Es kam zunächst darauf an eine weitere Alternative aufzustellen, um den Schlüssel zur Erklärung dieser Phänomene womöglich zu finden. Aus meinen früheren Untersuchungen wusste ich, dass die Zuckung, so wie sie sich in ihrem graphischen Ausdruck darbietet, die secundäre Folge von Vorgängen in Theilen des Muskels sei, welche die anderen erst bewegen.

Es war klar geworden, dass wir es im Muskel mit primär bewegten Theilen und mit solchen zu thun haben, welche in ihrer eigenen Bewegung passiv von jenen und von den ihnen selbst innewohnenden Widerständen abhängen.

Es findet sich also hier wie in jeder Maschine der Unterschied von zu bewegenden Stücken und den Kraftquellen, oder der Speisung. Eine Maschine kann ihre Leistungsfähigkeit einbüssen: entweder durch Abnützung oder Zerstörung der Stücke, welche in Bewegung gesetzt werden sollen, oder durch Versiegen der Kraftquelle, oder durch beides. Reparatur jener, und Eröffnung neuer Kraftquellen kann die alte Leistung wieder ermöglichen oder selbst vergrössert erscheinen lassen. Als Analoga in den Muskeln müssen wir die elastischen Muskelschläuche betrachten, und als Speisung und Kraftquelle das im Muskel enthaltene, der Zersetzung fähige Eiweiss des Saftes.

Es lag nahe die Veränderungen in den festen elastischen Massen der Muskeln als die Ursachen der Ermüdung zu betrachten, wenn man bedachte, dass Muskeln, an welchen Ge-

wichte aufgehängt werden, dadurch allein schon und ohne weitere Reizung ermüden können. Es mag sein, dass sehr beträchtliche Gewichte diess wirklich herbeizuführen vermögen, dass von solchen Muskeln nach einiger Zeit die charakteristischen Ermüdungscurven geschrieben werden, Gewichte von 100 bis 200 Grm. 4 — 6 Minuten lang an den Gastrocnemius unserer kleinen Frösche gehängt, bewirken diess aber keineswegs, kaum dass die Curve etwas niedriger wird; nie aber wird sie länger und ärmer an Oscillationen.

Was durch Gewichte von 300—600 Grm. ausser der beabsichtigten einfachen Dehnung im Muskel veranlasst wird, lässt sich von vorn herein gar nicht bestimmen. Ich habe desswegen andere Methoden eingeschlagen, um zu erfahren, ob es die Abnützung der elastischen Massen während der Contraction ist, welche die Ermüdung veranlasst. Das musste sich finden lassen, wenn man versuchte die Verkürzung und Formänderung des Muskels ganz zu verhüten, während er tetanisirt wurde. Ist die Verkürzung als solche Veranlassung der Abnützung, so musste dieselbe geringer sein, wenn man die Formänderung während der Reizung verhinderte oder aufhob.

Zu dem Ende wurde der wie gewöhnlich belastete Muskel zur Zuckung veranlasst, dann die Stahlstange, welche von seiner Sehne zum Zeichenhebel geht, mittelst einer Stativpincette unverrückbar festgehalten und darauf bei übereinandergeschobenen Rollen des Schlittens 6—8 Minuten lang tetanisirt. Sofort wurde die Pincette gelüftet und die einfache Zuckungscurve geschrieben, und endlich 1 Stunde später abermals eine solche. Diese Curven schliesslich mit denen verglichen, bei welchen die Sehne fixirt war und deren Form anfänglich möglichst gleich der des anderen Muskels war.

Folgendes waren die Ergebnisse eines solchen Versuches:

Absc.	Curve des Muskels, welcher während des Tetanus nicht fixirt,			welcher fixirt war.		
	Vor dem Tetanus	Nach Tetanus	Während der Erholung	Vor dem Tetanus	Nach Tetanus	Während der Erholung
10			0,8			
15	0,5		1,5			
20	1	0,6	3	1		0,7
25	2,5	1,1	5,5	2	0,5	1,2
30	4,2	4,1	6,1	3,1	1,5	2,1
35	5,8	3,3	7,5	4,7	2,1	3,1
40	7	4,1	8,5	5,8	2,8	4,02
45	9,1	4,8	10	7	3,8	5,2
50	9,1	5,5	10,5	8	4,7	6,1
55	9,5	5,8	10,9	8,8	5,5	7
60	9,6	5,9	11	9	6,02	7,8
65	9,1	6,1	11	9	6,9	8,1
70	8,5	6,1	10,8	9,02	7,6	9
75	7,5	6	10,1	8,8	8	9,4
80	6,5	5,8		7,8	8,8	10
85	4,5	5,7	9,5	7,1	9,5	10,6
90	2,5	5,6	9	7,2	9,9	11
95	0,5	5,2	8	5	10,2	11,6
100	...	4,6	7	3,8	10,7	12
105		4,6	6	2,5	11	12,3
110		4,6	5	1,7	11,5	12,3
115		3,6	3,9	1	11,8	13
120			2,5	0,8	12,1	13,01
125		3,1	1,5	0,1	12,5	12,5
130			0,5		12,5	11,9
135		2,2	0		12,5	11
140			...		12,5	10
145		2,1			12,5	8,7
150					12,5	6,6
155					12,5	4,9
160						2,5
165					12	0,6
170					11,8	0
175					11,5	
180					11,1	
195		1,6			8,6	
250		0			2	

Man erkennt sofort bei dem Muskel, welcher während des Tetanus fixirt war, in viel höherem Grad die charakteristischen Eigenthümlichkeiten der Ermüdungcurve; noch auffallender wird diess, wenn wir die wesentlichen Merkmale unmittelbar neben einander stellen.

Muskel mit freier — mit fixirter Sehne

A. Vor dem Tetanus

Dauer der latenten Reizung	0,0169	0,0182 Secunden
Zeitmoment für die Maximal- Ordinate nach	0,0754	0,0845 Secunden
Zeitmoment für die erste Rückkehr der Curve zur Abscisse	0,128	0,1625 Secunden

B. Nach dem Tetanus

Dauer der latenten Reizung	0,0221	0,0286 Secunden
Zeitmoment für die Maxi- mal-Ordinate nach	0,0884	0,1846 Secunden
Zeitmomente für die erste Rückkehr der Curve zur Abscisse nach	0,382	0,325 Secunden

Es kann aber nicht verborgen bleiben, dass wir es bei dem Muskel, dessen Sehne während des Tetanisirens fixirt war, mit einer weiteren Complication zu thun haben, wie sich aus der Vergleichung jener Factoren ergibt, nach welchen wir die Leistungsfähigkeit schätzen. Ich stelle diese Grössen wieder unmittelbar nebeneinander.

	Muskel mit freier		mit fixirter Sehne	
	vor	nach	vor	nach
	dem Tetanus		dem Tetanus	
F	664,56	724,2	1959,6	634,74
Absc.	294	103	231	114
mittl. Ord.	2,27	7,03	8,48	5,56

Es ergibt sich daraus, dass durch die Fixirung der Sehne während des Tetanus diejenigen Bedingungen in hohem Grad

begünstigt werden, welche gewöhnlich während der Erholung aus vorausgegangener Erschöpfung die Werthe von F und selbst $Ord.$ in die Höhe zu treiben vermögen.

Fesselt man den Muskel während des Tetanus, so dass er sich gar nicht verkürzen kann, was natürlich eine grosse Anfangsspannung erheischt, so sieht man ihn sehr rasch vollkommen reizlos werden; allein dabei treten wieder so manigfache Umstände zugleich auf, dass ich es unterlasse, hierüber weiter zu berichten, zumal sich keine bemerkenswerthen neuen Thatsachen dabei herausgestellt haben.

Wir betrachten jetzt jene beiden Muskeln in der Zeit der Erholung; den einen aber 39 Minuten, den anderen 1 Stunde nach dem Tetanus.

	Muskel mit freier 39 Minuten nach dem Tetanus	mit fixirter Sehne. 60 Minuten
Dauer der latenten Reizung	0,0104	0,02106 Secunden
Zeitmoment für die Maximalordinate nach	0,08125	0,156 Secunden
Zeitmoment für die erste Rückkehr der Curve zur Abscisse	0,1755	0.2145 Secunden
$F =$	903,12	1201.33
Absc. $=$	136,5	164
mittl. Ord. $=$	6,61	7,32

Aus dieser Vergleichung ergibt sich, dass die charakteristischen Eigenthümlichkeiten der Ermüdungscurve viel langsamer verschwinden, wenn die Sehne während des Tetanus fixirt war. Der Werth von F und O fällt noch im letzten Fall, wenn er im ersten Fall schon wieder bedeutend gestiegen war; der Werth von Absc. hat verhältnissmässig weniger dort abgenommen als hier; ebenso verhält es sich mit der Zeitdauer der latenten Reizung. Wir schliessen, dass ein Muskel, dessen Sehne während des Tetanus fixirt ist, langsamer dem ursprüng-

lichen Zustand entgegenrückt, als der andere, dass jener also sich schwerer erholt.

Wir müssen aber weiter schliessen, dass in ihm die Manipulation beim Tetanisiren gewisse Momente begünstigt, welche bei dem anderen erst in der Erholungszeit Platz greifen und sich steigern, während sie hier schon während des Tetanisirens nahezu erschöpft worden sind.

Man kann also kurz sagen: Muskeln, deren Sehne bei mässiger Anfangsspannung, während des Tetanus fixirt ist, schreiben hinterher Curven, welche den Charakter viel grösserer Ermüdung tragen; gleichzeitig aber besitzen sie gleich nach dem Tetanus die Eigenthümlichkeiten, welche andere Muskeln erst später in der Periode der Erholung gewinnen, ohne dass sich dieselben bei jenen im Verlauf der Zeit steigern könnten.

Wenn Muskeln auf die angegebene Weise fixirt werden, also nicht im Maximum der Spannung, so ändert sich bei dem Tetanisiren doch ihre Form. Ich versuchte nun jede Formveränderung während des Tetanisirens unmöglich zu machen und doch die nebenherlaufende Dehnung gänzlich zu vermeiden, Dazu habe ich mich folgenden Mittels bedient: Ich fertigte cylindrische Patronen aus steifem Papier von 1 Zoll Durchmesser an, welche unten mit einem durchbohrten Kork geschlossen waren; oben befanden sich in der Hülse ein Paar tiefe Einschnitte. Wie gewöhnlich wurde der Gastrocnemius mit dem Knochenstumpf des Kniegelenkes und dem stählernen Muskelhalter befestigt, dessen Stange längs der Axe der Patrone durch das Loch im Kork geschoben war; die Achillessehne wurde mit einem Faden umschlungen, der Muskel aber in mässiger Spannung durch den Faden erhalten, welcher um ein rundes Hölzchen gewickelt worden. Dass der Muskel frei in der Axe der Patrone seine Lage behielt, wurde dadurch erreicht, dass man das Hölzchen in den Einschnitten am oberen Ende der Patrone einlagerte. Der Muskel war vorher mit reinem Olivenöl auf seiner ganzen Oberfläche bestrichen und nun wurde die Patrone mit frisch angerührtem dünnem Brei aus Fraueneis-Gips mit aller

Vorsicht bis zur Höhe des vorderen Sehnen-Endes angefüllt. Nach einer halben Stunde hatte man einen ganz festen, dem Muskel ganz genau anliegenden Gipsmantel. Die Patrone konnte weggenommen, die Sehne mit dem Zeichenhebel in Verbindung gebracht und der Muskel in dieser Hülle tetanisirt werden. Die Vortrefflichkeit der Gipsform, die Sicherheit, dass nirgends zwischen dem Muskel und dem Mantel irgend eine Luftblase zu entdecken war, hätten diese zuerst angewendete Methode als vollkommen ausreichend erscheinen lassen, wenn nicht zu fürchten gewesen wäre, dass bei den vergleichenden Versuchen durch das im Mantel zurückgehaltene Wasser die Stromdichte für den darin eingeschlossenen Muskel beträchtlich herabgedrückt und solcher Weise das Maass des Reizes für diesen viel kleiner geworden wäre als für den damit verglichenen, nicht eingegipsten Muskel.

Der anzuwendende Mantel musste also ein Isolator sein. Von allen erstarrenden, hiezu brauchbaren Massen zeigte sich wegen ihres niederen Erstarrungspunktes und wegen der grossen Festigkeit im erstarrten Zustand die Cacaobutter am geeignetsten. Sie wurde nach dem Erwärmen bis zu 25° Cels. abgekühlt, ehe man sie ganz wie oben beschrieben worden ist, zum Guss verwandte, und nachher in der kalten Winterluft noch tiefer abgekühlt, bis die Masse vollkommen erhärtet war. Die Patrone wurde sodann entfernt, und der Muskel so lange in seinem Cacao-Mantel im Zimmer liegen gelassen bis er die Temperatur des frei gebliebenen, also $13-15^{\circ}$ Cels. wieder angenommen hatte.

Ich vermuthete, dass unter solchen Umständen der mit der Sehne des Muskels verbundene Zeichenhebel vollkommen in Ruhe bleiben werde, wenn ich durch den Muskel den Inductionsschlag leitete. Wie sehr war ich überrascht, als sich statt der erwarteten geraden Linie eine lang gestreckte Curve von 0,4 Millim. Maximalordinate aufzeichnete.

Es ist unnöthig zu versichern, dass ich mit aller Sorgfalt und bei jedem Versuch nach Luftbläschen oder einer Luft-

schicht zwischen Muskel und Mantel spalte, aber vergebens. Die Abgüsse in Gips und Cacaobutter waren stets vollkommen scharf und vollständig, die Masse durchaus hart in ihrem Innern; auch waren nie Lücken oder Poren zu erkennen und überdem waren die Curven, welche auf diese Weise von gleich grossen Muskeln geschrieben wurden, so übereinstimmend in ihrer Form und ihrem Umfang, wie es nie hätte der Fall sein können, wenn sie vom Ausweichen der Muskelmasse in Lusträume bedingt gewesen wären, welche der Zufall nothwendig mit wechselnder Grösse hätte erzeugen müssen. Die Vorsicht, welche ich brauchte, um das dichte Anliegen des Cacaomantels sicher herbeizuführen, nämlich das sorgfältige Ueberziehen der Muskeloberfläche mit einer Schicht Olivenöl, hatte zur Folge, dass sich die Cacaobutter dem Muskel vollkommen anschmiegte, wie sie denn auch der Patrone ganz fest, ohne den geringsten Zwischenraum anlag. Wer also nicht trotz allen diesen Versicherungen einen dennoch vorhandenen Spielraum zwischen Muskel und Mantelinnenfläche wegen etwaiger Contractur des Gusses beim Erhärten annehmen will, muss mit mir der Ueberzeugung sein, dass sich unter diesen Umständen die Muskelsubstanz bei ihrer Contraction verdichtet habe. Denn die Verkürzung war sichtbar, sie betrug, wie erwähnt, 0,4 Millimeter und nirgends konnte sich der Querschnitt vergrössern, also musste das Volum abgenommen haben.

Nun weiss man, dass die Contraction im Moment der Zuckung nicht auf allen Punkten des Muskels gleichzeitig Platz greift, sondern verhältnissmässig langsam fortkriecht; warum sollte dabei nicht ein Theil des Muskels auf den anderen einen Druck ausüben und in den elastischen Massen eine kleine Volumsabnahme hervorrufen können, wenn für die gewöhnliche Formänderung jeder Weg abgeschnitten ist?

Wenn ich auch in soferne meinen Zweck nicht erreicht hatte, nämlich zu tetanisiren, ohne dass sich dabei am Muskel irgend ein Theil im Geringsten äusserlich bewegen konnte, so war doch das gewonnen, dass er ohne zugleich gedehnt zu

werden in seiner Bewegung aufs Aeusserste eingeschränkt wurde. Sehen wir nun zu, welche Curven er schrieb, nachdem er im Mantel tetanisirt und wieder daraus befreit worden war.

Tetanisirt hatte ich aber in diesen Versuchen, so lange, bis jede Spur einer Bewegung des Zeichen-Hebels verschwunden war.

I.

Curve, welche im Mantel geschrieben wurde:

F.	Absc.	mittlere Ord.
136,3	95,9	1,42
Ausserhalb des Mantels, 4 Minuten nach dem Tetanus:		
911,64	136	6,7
Detto 7 Minuten nach dem Tetanus:		
647,52	126	5,13

Ich verglich nun auch die Curve des Gastrocnemius der einen Seite desselben Thieres, welcher tetanisirt und nicht eingeschlossen gewesen war mit dem der anderen, welcher im Cacaomantel tetanisirt wurde, und zwar in nachstehender Reihenfolge:

1) Zuckungcurve des Muskels im Mantel .

F.	Absc	mittlere Ord.
170,4	138	1,23

der Tetanus dauerte 10.5 Minuten.

2) Zuckungcurve desselben Muskels ausser dem Mantel, nach dem Tetanus

511,2	111	4,605
-------	-----	-------

6 Minuten nach dem Tetanus.

3) Zuckungcurve des anderen tetanisirten Muskels

621,96	99	6,282
--------	----	-------

10 Minuten nach dem Tetanus.

4) Zuckungcurve des vorher eingeschlossenen und tetanisirten Muskels

468,6	112	4,183
-------	-----	-------

15 Minuten nach dem Tetanus.

Man sieht jetzt schon, dass hier ganz ähnliche Verhältnisse obwalten, wie bei jenen Muskeln, deren Sehne wir während des Tetanus fixirt hatten. In der Zeit, in welcher die Erholung eintreten sollte, nahm weder F noch Ord. so zu, wie man hätte erwarten sollen, sondern ab, ja im einen Fall wuchs sogar noch Absc.

Die Muskeln waren während des Tetanus hintereinander gespannt, so dass bei beiden die Dichte und Richtung des Stromes gleich gewesen sein musste. Es schien also aus diesen Versuchen schon hervorzugehen, dass die eingeschlossenen Muskeln durch den gleichen Reiz schneller ermüdet werden, und sich unvollständiger wieder erholen.

Indessen beruhigte ich mich bei derartigen Versuchen nicht; war ja doch die Anfangsspannung in beiden nicht genau gleich gemacht, und die Zeit der Reizung nicht vollkommen gleich, sondern ihr Einfluss nur annäherungsweise durch die Reihenfolge der einzelnen Versuche eliminirt.

In den entscheidenden Versuchen mussten diese Fehlerquellen beseitigt und zugleich der Tetanus möglichst lang fortgesetzt werden. Demgemäss wurde ein Frosch geschlachtet, der eine Gastrocnemius in der Patrone befestigt und an dem Apparat mit 20 Grm belastet; in der dadurch erlangten Ausdehnung wurde der Faden seiner Sehne an der Patrone befestigt und sofort der andere Gastrocnemius in seiner die Verdunstung verhütenden Hülse mit 20 Grm belastet. Dann wurde der erste wie gewöhnlich mit Cacao umhüllt. Bis zum Reizversuch blieben also beide mit dem gleichen Gewicht belastet.

Zuerst liess ich nun die einfache Zuckungscurve des nicht eingeschlossenen Muskels aufzeichnen. Dann wurde derselbe gemeinschaftlich mit dem anderen, beide also noch mit 20 Grm. belastet, tetanisirt bis der Zeichenhebel auf den alten Stand zurückgekehrt war. Rasch liess ich jetzt von ihm mehrere einfache Zuckungscurven aufzeichnen und befreite zuletzt den im Mantel eingeschlossenen, um von ihm bei einer Belastung mit

20 Grm. ebenfalls eine Curve zu gewinnen. Die Ergebnisse waren folgende:

		F	Absc.	Ord.	
Curven des nicht eingeschlossenen Muskels	vor dem Tetanus	511,2	84,2	6,07	
	nach dem Tetanus	299,2	160	1,87	unmittelbar nach dem Tetanus.
		306,7	116,2	2,64	3 Minuten nach dem Tetanus.

Die Curve des eingeschlossen gewesenen Muskels war und blieb auch noch nach einer Stunde eine gerade Linie; d. h. er war vollkommen erschöpft und erholte sich gar nicht wieder.

Aus dem Allen darf der Schluss gezogen werden, Muskeln, welchen während des Tetanisirens so viel als möglich auf irgend eine Weise die Möglichkeit abgeschnitten ist, ihre Form zu verändern, ermüden mit einer bestimmten Modification ihrer Zuckungcurve leichter und erholen sich schwerer als solche, deren Formveränderung während des Tetanus im weitesten Umfang zugelassen wird. Es kann also die Ermüdung ihren Ursprung nicht in einer von der Verkürzung abhängigen Abnützung der festen Gewebmassen haben, und wir sind gezwungen auf die Speisung dieser Maschine, d. h. den Muskelsaft und dessen secundäre Wirkung auf die elastischen Massen zurückzukommen.

III. Abschnitt.

Wenn man Muskeln vertikal aufhängt und zuerst mit schwachen Gewichten belastet, hierauf ihre Oberfläche mit Fliesspapier so sorgfältig abtrocknet, dass sie bei einem mit dem Spiegel schief darauf geworfenen Licht ganz matt erscheint, dann das Gewicht beträchtlich vergrössert, so dauert es nicht lange, bis die vorher matte Oberfläche glänzend wird, und bis man mit der Loupe selbst ganz kleine Perlen bemerkt,

welche schnell zusammen fließen und die Spiegelung des Lichtes verstärken. Dasselbe zeigt sich bei Compression; dasselbe zeigt sich bei Muskeln während des fortgesetzten Tetanus. Durch alle diese Veranlassungen wird also Flüssigkeit aus dem Innern des Muskels auf seine Oberfläche gefördert; sie schwitzt durch die Hüllen hindurch, und es fragt sich, was enthält diese Flüssigkeit? ist sie bloss Wasser, oder finden sich darin auch wichtigere Bestandtheile, vor Allem Eiweiss?

Ich habe folgende quantitative Methode gewählt, um die Frage zu erledigen:

Bei einem grossen, äusserlich mit Tuch vollkommen abgetrockneten Frosch wurde rasch die Schlinge einer starken Ligatur, welche um das Becken gelegt war, so fest als möglich gezogen. Nachdem das Thier geköpft war, wurde um jeden Oberschenkel, so hoch oben als es anging eine zweite Ligatur angelegt und oberhalb derselben die Amputation vorgenommen. Aus dem Muskelstumpf entfernte man auf das Sorgfältigste mit Fliesspapier, Blut und Lymphe. Inzwischen waren zwei Phiolen je mit 142 Grm. destillirtem Wasser gefüllt, in welches die Schenkel so versenkt wurden, dass das Niveau desselben bis zur Ligatur reichte. In dieser Lage war jeder Schenkel in seinem Glas festgehalten. Von den Zehen des einen ging ein Kupferdraht mit isolirendem Ueberzug durch das Wasser wieder heraus zum Metronom.

Der obere Muskelhalter stand mit einem zweiten Draht in Verbindung, welcher zur Inductions-Vorrichtung ging. Der Pendel des Metronom machte 3 Schwingungen in der Secunde und schloss jedesmal für einige Bruchtheile der Secunde den Kreis, in welchem sich der Muskel befand. Während dieser Zeit traf dann jedesmal eine Reihe dichtgedrängter Inductionsstösse bei möglichst starkem Strom den Schenkel und versetzte seine Muskeln in Tetanus. Der andere Schenkel wurde nicht gereizt. Bei beiden waren genau an denselben Stellen und mit Schonung der Blutgefässe die Lymphräume des Ober- und Un-

terschenkels unter dem Wasser durch lange Hautschnitte geöffnet worden.

Das Tetanisiren wurde in der angegebenen Weise $1\frac{1}{2}$ Stunden fortgesetzt; das Glas mit dem anderen Schenkel wurde mehrmal geschüttelt, um auch hier eine Bewegung der Flüssigkeit zu veranlassen, welche dort durch die tetanischen Zuckungen entstand.

Nachdem die Schenkel an dem gleichen Ort 24 Stunden in ihren Phiolen aufbewahrt worden waren, wurde das Wasser, in welchem sie sich befunden hatten, analysirt.

Schon für das blosse Auge war ein grosser Unterschied in beiden Proben zu bemerken: das Wasser, in welchem sich der tetanisirte Muskel befunden hatte, war stark getrübt und zeigte fein flockigen Niederschlag; das Wasser mit dem anderen Muskel war vollkommen hell. Zusatz von einem Tropfen Salpetersäure zu einer kleinen Probe des Wassers verursachte dort sofort einen dicklichen, grobflockigen, gelblichen Niederschlag, hier nur eine schwache Trübung, welche sich erst nach längerer Zeit zu kleinen Flöckchen sammelte.

Aus jeder Phiole wurden jetzt, nachdem mit einem Zug beide Schenkel entfernt worden waren, je zwei Proben des wohl geschüttelten Wassers genommen, und zwar je 61 Cub. Cent. Paarweise wurden diese zur Bestimmung der festen Bestandtheile und des darin enthaltenen Albumins benützt.

A. Bestimmung des festen Rückstandes.

61 Cub. Cent. enthielten dort, wo der tetanisirte Muskel sich befunden hatte, 0,0683, in dem anderen Gefäss nur 0,0403 Grm.

Somit waren in die ganze Wassermenge der ersten Phiole: 0,1589 und in die der zweiten: 0,0938 Grm. in 24 Stunden übergegangen. Das Verhältniss der festen Bestandtheile war somit

$$1 : 1,7.$$

In Folge des Tetanisirens waren also 70% feste Bestandtheile mehr in das Wasser hinüber getrieben worden, als ohnedem ausgelaugt wurden.

B. Bestimmung des trockenen Coagulum.

Die beiden Proben von je 61 Cub. Cent. wurden mit absolutem Alkohol versetzt und bei 100° eingetrocknet, hierauf mit kochendem Wasser behandelt und auf gewogene Filtra gebracht, ausgelaugt, bei 100° getrocknet und gewogen.

Die Probe des Wassers, in welchem die Muskeln tetanisirt worden waren, enthielt:

0,0298 Grm. trocknes Coagulum,
die andere Probe: 0.01459 Grm.

Es waren demnach in der ganzen Wassermenge der ersten Phiole 0,0693, in der anderen: 0,0339 Grm. enthalten.

Diese Zahlen verhalten sich wie 1 : 2,04. Es war also durch das Tetanisiren über noch einmal soviel Eiweiss dem umgebenden Wasser zugeführt worden als sonst. Hier treffen 36,2 trocknes Coagulum auf 100 feste Theile, dort 43.

Die Muskeln des Thieres waren sehr blass und enthielten von vorn herein sehr wenig Blut. Es ist ganz undenkbar, dass der grosse Ueberschuss von festen Bestandtheilen und Eiweiss im einen Fall auch nur zum grösseren Theil von dem Druck auf die Gefässe während des Tetanus herrühren konnte; zudem bewies ja die Fällung des Eiweiss schon während des Auslaugens, dass ein anderer integrireder Bestandtheil des Muskelsaftes, nämlich die während des Tetanisirens frei gewordene Säure in vorwiegender Menge an das umgebende Wasser übertreten war. Warum also nicht auch das Eiweiss? Wir schliessen mit vollem Recht, dass die bei Zug, Druck und Tetanus an der Oberfläche des Muskels zum Vorschein kommende Flüssigkeit, Muskelsaft mit allen seinen integrirenden Bestandtheilen sei. Dieser Muskelsaft kann also seinen Ort ändern; er wird deplacirt bei jeder Formveränderung des Muskels. Er wandert von innen nach aussen bei der Reizung, und es fragt

sich, ob er in umgekehrter Richtung seinen Ort wechselt in den Momenten der darauf folgenden Ruhe, also zur Zeit der Erholung.

Ich habe dies nicht auf chemischem Weg durch die Waage, sondern auf physiologischem Weg mit Hilfe des graphischen Verfahrens zu entscheiden gesucht, eingedenk dass sich bei dem Frosch um die Muskeln herum die grossen Lymphräume befinden, in welchen genug Vorrath von eiweisshaltiger Flüssigkeit aufgespeichert ist, welche Gelegenheit hat in der Zeit der Ruhe in die Tiefe des ermüdeten Muskels hinabzuwandern. Es handelte sich also darum, Muskeln mit einander zu vergleichen, deren Blutgehalt gleich war, und welche sich in Nichts von einander unterscheiden, als dass bei dem Einen der Lymphraum des Unterschenkels geöffnet war, bei dem Anderen geschlossen blieb. Das Verfahren, welches ich zuerst einhielt, war folgendes: Bei dem lebenden Thier wird eine Ligatur um das unterste Ende des Oberschenkels geschlungen, fest zugezogen, und dadurch, dass man diese Operation an beiden Beinen so rasch als möglich nach einander macht, der Blutgehalt in beiden gleich erhalten. Nachdem dann das Thier geköpft ist, wird die Amputation oberhalb der Ligatur vorgenommen. Bei dem einen Unterschenkel wird die Haut des Tarsus möglichst wenig weit der Länge nach aufgeschlitzt, und die Achillessehne vorsichtig von der Aponeurose abgetrennt. Das Kniegelenk wird in dem Muskelhalter befestigt, und das Präparat in das feuchte Muskelgehäuse zurückgezogen. An dem anderen Unterschenkel wird die Haut der Länge nach über der Rückfläche des Gastrocnemius aufgeschlitzt, nach rechts und links zurückgeschlagen, und mit sorgsamer Schonung der Blutgefässe rings um den Muskel her die Lymphe mit Fliesspapier aufgesogen. Die Achillessehne wird hier ebenso blossgelegt und abgeschnitten wie bei dem anderen Schenkel. Nach diesen Vorbereitungen wird zuerst die Sehne des einen, dann die des anderen Muskels mit dem Zeichenhebel in gewöhnlicher Weise verbunden und von jedem die erste einfache Zuckungskurve gewonnen. Beide Muskeln

werden sodann hintereinander gespannt und bis zur Erschöpfung tetanisirt; dabei bemerkt man schon, dass an dem Muskel mit geöffnetem Lymphraum die Zuckungen früher unmerklich klein werden als bei dem anderen. Ist dies eingetreten, so lässt man wie vorher einen Muskel nach dem anderen wieder mit dem gleichen Gewicht belastet und wieder entlastet werden. Auch ist die Lagerungsweise des Tarsus in beiden ganz gleich. Man kann dann auf's Neue tetanisiren, nochmal einfache Zuckungen schreiben lassen, und die Wirkung der Zeit durch die geeignete Reihenfolge der Versuche zu eliminiren suchen.

Ich will die Resultate von nur zwei solchen Experimenten anführen. Die Bezeichnungen sind die gleichen wie in den früheren Tabellen.

I. Versuch.

Bei geöffnetem Lymphraum:

	F	Abse.	Ordn.
a) vor dem Tetanus	1260,96	130,9	9,63
b) nach dem Tetanus	170,4	105	1,62

Bei geschlossenem Lymphraum:

a) vor dem Tetanus	920,16	102	9,02
b) nach dem Tetanus	941,46	141	6,67

II. Versuch.

Bei geöffnetem Lymphraum:

a) vor dem I. Tetanus	1388,76	133	10,44
b) nach dem I. Tetanus	1022,4	165,5	6,17

Bei geschlossenem Lymphraum:

a) vor dem I. Tetanus	766,8	103	7,44
b) nach dem I. Tetanus	1065,0	120,3	8,85

Bei geöffnetem Lymphraum:

nach dem II. Tetanus:

1,5 Minuten	340,8	119	2,86
10 Minuten	869,04	133	6,53

Bei geschlossenem Lymphraum:
nach dem II. Tetanus:

F.	Absc.	Ord.	
1047,96	159	6,59	5,5 Minuten)
724,2	132	5,48	15 Minuten) nachher.

Ich habe mich aber mit diesen Versuchen nicht begnügt, weil die Zeit noch zu wesentliche Veränderungen mit sich bringt, und weil ich glaubte, noch grössere Sorgfalt auf die Gleichartigkeit aller übrigen Nebenumstände verwenden zu müssen, obwohl die Unterschiede in den Erfolgen dieser Vorversuche zu gross und bei Wiederholungen zu constant waren, als dass ich bedeutende Fehler im Verfahren hätte voraussetzen dürfen. Um aber jedem Zweifel auszuweichen, habe ich den Schreibapparat meines Myographion zu dem Zweck umgebaut und sonst noch Einiges abgeändert, wovon jetzt zu berichten ist.

Vor der Tafel des Myographion wurden zwei Zeichenhebel von genau gleicher Länge, Oscillationsdauer und Vergrösserung des Ausschlages aufgestellt. Zwischen beiden standen die beiden Rollen, über welche die an den Hebeln befestigten und die kleinen Waagschalen tragenden Fäden liefen. Die Befestigung der in ihren langen Fadenschlingen schwebenden Stahlstängchen an den Achillessehnen wurde verändert, indem es mir darauf ankam, in beiden Präparaten die anatomische Lagerung der Achillessehnen in Nichts zu ändern. Diese wurden deshalb auch mit der Aponeurose in Verbindung gelassen; unmittelbar oberhalb des Knorpels der Sehne wurde jede genau an derselben Stelle und genau von denselben Seiten her in das gezahnte Maul von serres fines geklemmt und deren Spirale am Stahlstängelchen des Zeichenhebels befestigt. Alle anderen Manipulationen blieben gleich.

Die Drahtanordnung war folgende: von der einen Klemme der Inductionspirale zu dem Muskelhalter des einen Unterschenkels; von dessen Achillessehne in der Form des frei schwingenden Stahlstäbchens zum Zeichenhebel; der Strom geht dann

von diesem durch sein Lager in das Stativ. Von dem Stativ läuft ein Draht zum Halter des zweiten Unterschenkels, von dessen Sehne aus sich der Strom auf dem Stahlstäbchen zum zweiten Zeichenhebel, und durch dessen Lager zum betreffenden Stativ fortpflanzt, um schliesslich von hier aus die zweite Klemme der Inductionsspirale zu erreichen. Die Aehnlichkeit der zuerst von beiden Muskeln gleichzeitig geschriebenen Curven bürgt natürlich dafür, dass die ganze Anordnung den gewünschten Grad der Gleichartigkeit hatte. Es genügt, einen einzigen Versuch ausführlich mitzutheilen, indem sich in allen übrigen die Resultate immer gleich geblieben sind.

Curven des Muskels

A. im geschlossenen Lymphraum B. im geöffneten Lymphraum

Vor dem Tetanus

a	{	F	587,88	{	F	570,84	ä
		Absc.	86		Absc.	92	
		Ord.	6,83		Ord.	6,204	

2 Minuten nach dem ersten kurzen Tetanus

b	{	F	860,52	{	F	1160,2	b'
		Absc.	124		Absc.	198	
		Ord.	6,93		Ord.	5,85	

13 Minuten nach dem ersten Tetanus

c	{	F	1448,4	{	F	1160,2	c'
		Absc.	212		Absc.	174,5	
		Ord.	6,83		Ord.	6,64	

Zweiter Tetanus, 14 Minuten nach dem ersten,

9 Minuten nach dem II. Tetanus

d	{	F	1874,4	{	F	852	d'
		Absc.	211,3		Absc.	195	
		Ord.	8,87		Ord.	4,3	

24 Stunden nach dem II. Tetanus

e	{	F	323,76	{	F	0	e'
		Absc.	181		Absc.	0	
		Ord.	1,78		Ord.	0	

Die anfängliche Verkürzung während des Tetanus war in beiden Muskeln genau gleich gross.

Was ein einziger Blick auf die gezeichneten Curven lehrt, erkennt man auch aus der voranstehenden Tabelle: Muskeln, deren Lymphräume geöffnet sind, ermüden viel rascher und erholen sich viel schwerer. Es wird diess noch klarer, wenn wir die für die Eigenthümlichkeit der Curvenformen entscheidenden Messungen überblicken:

Setzen wir die Grössen, welche für die erste Curve a und a' gelten gleich $1 =$ so erhalten wir

Dauer der latenten Reizung		Werth der Maximal-Ordinate		Länge der Abscisse bis zum Punkte der Maximalordinate	
b = 1,08	b' = 2,58	b = 1,08	b' = 0,606	b = 1,25	b' = 1,46
c = 1,094	c' = 2,64	c = 1,25	c' = 0,66	c = 1,43	c' = 1,41
d = 1,16	d' = 3,57	d = 1,20	d' = 0,46	d = 1,48	d' = 1,79
		e = 0,25		e = 1,70	

Allen Erfahrungen zu Folge sind die eiweissartigen Flüssigkeiten, wie Blut, Serum etc. im Stande bei ihrer Berührung mit dem Muskel, dessen Erregbarkeit länger zu erhalten, mit einem Wort die Kraftquelle für seine Verkürzung abzugeben. Wenn nun also erwiesen worden, dass eine derartige Flüssigkeit bei den Contractionen nach aussen wandert, wenn gezeigt worden, dass die Muskeln in den geschlossenen Lymphräumen langsamer ermüden und sich schneller erholen, als die ausser ihnen, so muss angenommen werden, dass in der Erholung die eiweiss-haltige Flüssigkeit der Lymphe einen Weg von aussen nach innen zu den wesentlichen Theilen des Muskels findet; und diese Wanderung mit der bezeichneten Richtung während der Erholung war es, welche bewiesen werden sollte und wie ich glaube, auf diese Weise auch streng bewiesen ist.

Damit gewinnt nun auch die Lymphe zunächst der Frösche, eine viel höhere Bedeutung für den Muskelmechanismus als man bisher angenommen. Ihre weiten Räume rings um die Muskulatur dieser Thiere stellen die Vorrathskammern dar, von welchen

aus viel rascher, als diess bei der langsamen Blutbewegung möglich wäre, die Kraftquelle für die oft sehr energischen und länger anhaltenden Bewegungen auf dem einfachsten Weg in das Innere der Muskeln gefördert werden kann.

Wenn nun das Wandern der Muskelflüssigkeit bei der Thätigkeit nach aussen, in der Ruhe nach einwärts im Allgemeinen erwiesen war, so musste man fragen: zwischen welchen Punkten erfolgt die Wanderung?

Ich betrachte mit Kühne die Muskeln als reihenweise geordnete mit einer Flüssigkeit erfüllte Schläuche, in welchen die Disdiaklasten suspendirt sind. Die Form dieser Schläuche bedingt es, dass zwischen ihnen, wenn auch in sehr schmalen Interstitien, ebenfalls Flüssigkeit sich befindet. Der Muskelsaft, welchen wir bei den forcirten Formveränderungen des Muskels auf der Oberfläche ausschwitzen sehen, kommt aus einer tieferen Schicht, und überall würde sich auf jeder neuen künstlichen Mantelfläche des cylindrisch gedachten Muskels unter den gleichen Umständen dasselbe ereignen. Die kleine auf der natürlichen Oberfläche zu Tage tretende Menge von Flüssigkeit kann nicht durch ihr Austreten diese grossen Folgen haben, welche schliesslich zur Erschöpfung führen, sondern darauf wird es im Wesentlichen überhaupt ankommen, dass ein Theil der Muskelflüssigkeit bei der Contraction seinen Ort wechselt, placirt wird.

In der später zu entwickelnden Theorie wird es sich zeigen, warum ich sogleich mein Augenmerk auf die Muskelschläuche lenkte. Wenn eine elastische Masse während ihrer Formänderung zugleich ihr Volum ändert, so hat diess nichts Auffallendes. Halten wir aber an der Ansicht fest, dass innerhalb und ausserhalb der elastischen Muskelschläuche eine so gut wie nicht comprimirbare Flüssigkeit steht, so wird sich der Durchmesser des Schlauches mit Veränderung seines Rauminhaltes nur dann ändern können, wenn ein Theil seines nicht comprimirbaren Inhaltes aus den Röhren entweicht. Ändert man also z. B. die Länge eines Muskelschlauches irgend wie, so

darf seine Durchmesseränderung nicht erheblich über das Maass hinausgehen, welches unter Beibehaltung des ursprünglichen Volums gestattet ist.

Um dieses zu ermitteln, befestigte ich auf dem Mikroskopisch zwei gegeneinander sanft verschiebbare Klemmen, deren gegenseitige Entfernung auf einer getheilten Schiene mit Hilfe des Nonius und der Loupe sehr genau bestimmt werden konnte. Im Ocular des Mikroskops befand sich ein Mikrometer. Nun wurde ein Schlauch eines sehr dünnen parallelfasrigen Muskels ins Auge gefasst, nachdem derselbe ganz schwach angespannt war. Ohne den gemessenen Muskelschlauch aus dem Auge zu verlieren, wurde die lineare Spannung etwas vergrössert, wobei man sich aber noch von der Elasticitätsgrenze entfernt hielt; der Durchmesser wurde auf's Neue bestimmt und die Länge am Nonius wieder abgelesen. Diess wurde dann verschiedene Male wiederholt und es ergab sich folgendes Resultat:

Als die Länge der Muskelschläuche z. B. um 16% durch Dehnung vergrössert wurde, verkleinerte sich der mikrometrisch gemessene Durchmesser so, dass das Volum des Schlauches, als Cylinder berechnet, von 0,0318 auf 0,015 Cub.-Milim. herabgedrückt wurde.

Nahm die Länge um 31% zu, so sank der cubische Inhalt des Schlauches auf 0,0043 herab.

So oft die Versuche an verschiedenen Schläuchen verschiedener Muskeln wiederholt werden mochten: immer ergab sich, dass durch Dehnung das Volum sehr beträchtlich verkleinert wurde. Es kam nun darauf an, zu entscheiden, ob die Volums-Abnahme des Gesamt-Muskels, welche bei der Dehnung vielleicht beobachtet werden konnte, irgend wie der Volums-Abnahme der Schläuche nahe komme. Diess liess sich natürlich nicht mit dem Maassstabe entscheiden, sondern nur mit der Waage. Ich benützte ein c. 2 Millimeter dickes, 6 Millim. breites, und 8 Cent. langes Fischbeinstäbchen, bohrte oben und unten ein Loch hinein, zog durch die Bohrlöcher einen in Oel getränkten Faden, und knüpfte denselben so fest,

dass das Stäbchen dadurch in einer starken Krümmung gehalten wurde. Der Gastrocnemius eines frisch geschlachteten Frosches wurde an seiner natürlichen, aber möglichst reducirten Knochenbefestigung mittelst weichen Kupferdrahtes am einen Ende des Fischbeines befestigt; durch die Achillessehne wurde ein zweiter Draht geführt und am unteren Ende desselben fixirt, aber so, dass der Muskel nicht gespannt war. Er mass 2,9 Centimeter. Nun wurde er vorsichtig mit reinem Oel bepinselt und die ganze Vorrichtung mittelst eines haarfeinen Platindrahtes an die hydrostatische Waage gehängt, um unter Oel gewogen zu werden.

Die zur Herstellung des Gleichgewichtes erforderliche Belastung betrug:

0,584.

Sofort wurde ohne irgend eine Aenderung in der Aufstellung, auf der Waage selbst unter dem Oel der Faden durchschnitten, welcher das Fischbein gespannt erhielt. Der Muskel wurde dadurch bis zu einer Länge von 3,7 Cent. gedehnt und die Belastung musste auf 0,5852 erhöht werden. Es war also allerdings eine, wenn auch sehr kleine Verdichtung durch die Dehnung herbeigeführt worden. Allein die Trägheit, mit welcher die hydrostatische Waage schwingt, zumal wenn der Körper, welcher gewogen werden soll, von Oel umgeben ist, und welche mir verbietet, die oben bezeichnete Differenz als absolut genau zu bezeichnen, verlangte, dass ich mich über die Empfindlichkeit der Waage unter diesen Umständen unterrichtete. Ich schnitt also jetzt ein Stückchen vom Muskel weg, und musste in Folge dessen das Gewicht der Waagschale auf 0,5607 reduciren. Die Differenz betrug demnach 0,0245. Der ganze Muskel hatte in der Luft ohne Knochen und Sehnen 0,6362 Grm. gewogen: das abgeschnittene Stückchen wog 0,111 Grm; also war das Volum des eingetauchten Muskels durch die Entfernung dieses Stückchens um nicht ganz $\frac{1}{6}$ verkleinert. Hätte sich demnach bei der Dehnung um 27% der ganze Muskel nur um $\frac{1}{6}$ seines ursprünglichen Volums verkleinert, so hätte ich nahe 2,5 Cent.-

Grm. statt, 1,2 Milligrm. dem früheren Gewicht zufügen müssen. Da sich also der Rauminhalt der Muskelschläuche in einem viel höheren Maass bei der Dehnung verkleinert als der des Gesamtmuskels bei den entsprechenden, oder selbst viel höher getriebenen Dehnungsgraden, so ist auf das Bestimmteste erwiesen, dass dabei ein Theil des flüssigen Inhaltes die Schläuche verlässt und in die Interstitien geräth.

Damit ist nun der Kreis des Thatsächlichen meiner Versuche geschlossen und es wird gestattet sein, die gewonnenen Erfahrungen mit bereits früher gemachten zusammen zu stellen.

IV. Abschnitt.

Theorie.

Wenn ich im Folgenden eine Theorie über den Vorgang bei der Ermüdung und Erholung aufzustellen versuche, so geschieht das nicht mit der Absicht zu zeigen, wie dieser Vorgang sein könnte, wenn man die Tragweite meiner Resultate beliebig erweitern wollte, sondern ich will damit im Gegensatz zu dem, was man Hypothese nennt, nichts weiter als einen zusammenhängenden, präcisen Ausdruck zu finden suchen für die Gesamtheit der Resultate, welche meine eigenen Untersuchungen und die Anderer gegeben haben.

Es ist mir unwiderlegbare Thatsache, welche die neuere Physiologie gegenüber dem verbliebenen Dynamismus festgestellt hat, dass die Zersetzung chemischer Verbindungen im Körper die Kraftquelle ist, aus welcher die Leistungsfähigkeit der Organe quillt.

Hieraus folgt weiter, dass die Function derselben nur bestehen kann, so lange zersetzbare Substanz vorhanden ist; dass sie aufhört, wenn diese erschöpft ist, und wiederkehrt, wenn jene zurückerstattet wird, und gleichzeitig die alten Bedingungen für ihre Zersetzung wieder ihr Recht finden. Für die Muskelthätigkeit ist die Natur dieser Substanz auch längst bezeichnet, es ist das Eiweiss. Vorrath zersetzungsfähigen Eiweisses im

Muskel und seine Zersetzung bedingt die Functionsfähigkeit des Muskels; Verbrauch und Hemmung der Zersetzung des Eiweisses schwächt und hemmt schliesslich seine Function; Wiedersatz und Veranlassung zu neuer Zersetzung gibt die Functionsfähigkeit zurück. Ein wichtiger Schritt weiter in der Erkenntniss der Vorgänge bei Ermüdung und Erholung wurde von Voit gethan, welcher die Bedingungen für die Eiweisszersetzung genauer feststellte, und zeigte, dass nicht der einfache Contact mit Sauerstoff die zur Function der lebendigen Theile allein ausreichende Zersetzungsform bedingt, sondern dass die *Wanderung der Flüssigkeit durch die Gewebe* der zweite wichtige Factor ist; und dass nur während dieser Wanderung die Zersetzung in der verlangten Weise vor sich gehe. Darauf beruht die Wichtigkeit jenes intermediären Kreislaufes aufgenommener Nahrungsstoffe, welche zuerst von ihm mit voller Schärfe experimenteller Beweise nachgewiesen wurde.

Diese Stoffbewegung durch Zellen und Gewebe durchdringt den ganzen Organismus, aber auf ihrem Weg bewirkt sie die verschiedensten Effecte, je nach der Eigenthümlichkeit der Organbestandtheile, je nach den Wegen, auf welchen sie wandern muss, und den Veränderungen, welche sie dabei erleidet.

Die Function einer Drüse ist die Sekretbildung. Periodische Schwankungen in der Masse des Productes, temporäre Sistirung des Sekretionsgeschäftes, Sterilität der Drüse sind Unterschiede im Leben dieses Organes, welche wir, wenn wir davon eine Empfindung hätten, ebensogut mit Ermüdung, Erholung, Erschöpfung u. dgl. bezeichnen würden. Es sind ferner Unterschiede, welche im Allgemeinen von genau denselben Ursachen, von der Saftströmung und Substanz-Zersetzung abhängen wie die Function des Muskels und seine wechselnden Zustände. Der Vorgang der Sekretion im speciellen Falle ist aber erst dann erklärt, wenn wir Richtung, Wege und Grösse jener Strömung, und ihre Rückwirkung auf die durchströmten Gewebelemente, auf die Natur der Zersetzung, sowie auf die Bildung ihrer nächsten und entfernteren Producte kennen gelernt haben. Bei den glei-

chen Grundprinzipien wird dies in jeder Drüse wieder anders, und für jede auf besonderem Weg erst zu finden sein. In dem Muskel herrschen abermals die gleichen Prinzipien; eine Theorie der Ermüdung und Erholung kann also nur den inneren Mechanismus aufdecken wollen, durch welchen jene allgemein verlangten Bedingungen auf ihre besondere Weise in diesem Gebilde erfüllt werden.

Für die verschiedenen Methoden der physiologischen Forschung ist es eine Genugthuung, wenn von den entgegengesetzten Seiten her die einzelnen Wege auf ein und demselben Punkt zusammentreffen, wie ich dies für das Problem der Ermüdung und Erholung beweisen zu können hoffen darf.

Was durch chemische Analysen früher von mir schon bewiesen war, was auch Voit¹ in seinen Untersuchungen und in mehr allgemein gültiger Form betont hat, findet in den gegenwärtig mitgetheilten Erfahrungen seine weitere Bestätigung. Es ist nicht das geformte Gewebe des Muskels, in welchem bei der Thätigkeit Zersetzung und Verbrauch oder wiederherstellbare Abnützung eintritt, und damit die Erscheinung der Ermüdung oder Erschöpfung entsteht, sondern der Ausgangspunkt für Leistungsfähigkeit und Unfähigkeit liegt in der eiweisshaltigen Flüssigkeit des Muskelsaftes. Die Leistung eines Muskels besteht aber nicht bloss darin, dass er sich verkürzt, sondern bekommt einen wechselnden Werth durch die Art der Verkürzung. Die Zuckungsform in ihrer manigfachen Gestalt entspricht hier dem Sekret der Drüse in seiner wechselnden Zusammensetzung. Diese Zuckungsform ist aber keineswegs der einfache Ausdruck für Intensität und Art der chemischen Zersetzung, aus welcher zuletzt freilich immer die Kraftquelle für die Verkürzung stammt, sondern die Folge sehr verschiedener ineinander greifender Wirkungen chemischer und physikalischer Processe. Es steht fest, dass es nicht dasselbe Massensystem ist, in welchem der

(1) Voit über die Wirkung des Kochsalzes, Caffee's und der Bewegung auf den Stoffwandel etc. pag. 9, 12, 17, 62, 193.

Impuls zur Bewegung ausgeht und in welchem die ganze Bewegungsform abläuft, sondern dass ein Theil dieser Masse nur passiv der Bewegung der anderen folgen muss und nur auf die im Ganzen resultirende Bewegungsform je nach seinen eigenen Zuständen influirt. Wir werden als die eine Masse den Inhalt der Schläuche, als die andere die Schläuche selbst anzusehen haben, und in jener einen Theil der Flüssigkeit voraussetzen müssen, welche wir als Muskelsaft aus dem Organ gewinnen können.

Die Gegenwart einer solchen Flüssigkeit in den Schläuchen, wie sie Kühne schon mit so vielen Mitteln zu beweisen gesucht hat, dürfte durch die im III. Abschnitt mitgetheilten Messungen ihrer Volumina bei der Dehnung im Gegensatz zu dem Volum des Gesamtmuskels als eine jetzt ausgemachte Sache betrachtet werden. Es ist unzweifelhaft, dass der Ausgangspunkt für die Bewegung im Inneren des Schlauches liegt; denn auch ein einzelner ganz isolirter Schlauch kann sich noch verkürzen. Die Leistungsfähigkeit der darin enthaltenen wirksamen Theilchen wird wesentlich von der Natur der Flüssigkeit und dem dadurch bedingten Zustand jener Theilchen abhängen; denn das ist der allgemeinste Satz der Physiologie, dass die Function des Organes von seiner Form und Mischung und seinen physikalischen Eigenschaften bedingt ist, die letzteren aber selbst wieder von dem Medium wesentlich abhängen, in welchem sie sich befinden.

Für diese Theilchen besteht ein gesetzlicher Zusammenhang zwischen der Intensität des Reizes und dem Umfang der davon abhängigen Bewegung in ihnen. Denn sie wächst in gewissem Verhältniss und bis zu einer gewissen Grenze mit jener. Sie ändert sich aber auch mit den Umständen, wenn der Reiz gleich bleibt. Die Beweglichkeit dieser Theilchen ist also je nach Maassgabe der Umstände eine variable. Die Beweglichkeit wird Null, wenn die für den ganzen Vorgang nothwendige Menge disponiblen Eiweisses verbraucht ist, oder wenn neben noch vorhandenem Eiweiss irgend welche Einflüsse dessen Nutzen paralsiren. Die Beweglichkeit wird ihr Maximum erreichen,

wenn die aus der Zersetzung des Eiweiss entspringende Triebkraft im Moment der Reizung den Grenzwert ihres Vorrathes zeigt.

Auf den letzten Effect der Reizung wirkt neben dieser Beweglichkeit der im Muskelschlauch enthaltenen wirksamen Theile die Beschaffenheit des Schlauches selbst ein, welcher nebst den übrigen, zum Gesamtmuskel gehörigen unwirksamen Theilen die Momente des Widerstandes, und im Conflict mit der primären Bewegung wesentlich die Zuckungsform bestimmt. Diese inneren Widerstände können gesteigert werden durch äussere, welche wir in Form angehängter Gewichte wirken lassen, und es ergibt sich, dass bei gleichem Reiz und gleicher Beweglichkeit der inneren Theile der wachsende Widerstand eine Verkürzung und Abflachung der Curve ohne nennenswerthe Beschränkung der terminalen Oscillationen herbeiführt. Bei gleichem Widerstand und vergrösserter innerer Beweglichkeit, oder bei einer durch Steigerung des Reizes herbeigeführten Vergrösserung der Bewegung, was dasselbe ist, verlängert sich die Curve und vergrössert sich ihre mittlere Ordinate. Dort nimmt die Leistungsfähigkeit ($F \propto \text{Absc.} \propto O.$) ab. hier zu. Sinkt die Grösse der Widerstände ohne compensirende Gegenwirkung wachsender Beweglichkeit, oder gar gleichzeitig mit dem Werth der letzteren, so flacht sich die Curve weiter ab, ihre Maximalordinate wird später erreicht, ihre terminalen Oscillationen verschwinden. Verkleinern sich die Widerstände in ungleich grösserem Verhältniss als die Beweglichkeit der wirksamen Moleküle sinkt, so kann die Leistungsfähigkeit, ja selbst die mittlere oder Maximalordinate grösser werden, als sie zu der Zeit ihrer grössten Beweglichkeit gewesen war. Damit sind die allgemeinen Anhaltspunkte zur Ermittlung der Bedingungen gegeben, unter welchen die einzelnen Zuckungsformen auftreten.

Vorerst aber müssen wir unsere Betrachtung wieder auf andere Punkte lenken. Nicht bloss der Muskel wird wenigstens auf Zeiten hinaus leistungsunfähig, welcher abgeschnitten vom Kreislauf seinem Tod entgegengeht, sondern auch der,

welcher durchströmt von Blut und Ernährungsmaterial wie die übrigen Organe zu längerer Ruhe verdammt ist. Der intermediäre Kreislauf genügt also so wenig wie die Circulation des Blutes in ihm die normale, beim Gebrauch des Muskels im Leben geforderte Leistungsfähigkeit zu erhalten. Für dieses Organ ist ein weiterer Mechanismus nöthig, welcher die allgemeine Säftebewegung in ihm mit allen ihren Folgen steigern muss.

Dieser Mechanismus liegt in der Pumpe, als welche der Muskelschlauch bei seiner Formveränderung auf den Parenchymsaft wirkt, indem er mit jeder Längenänderung relativ in beträchtlichem Maass seinen Inhalt ändert, und somit leicht nach aussen bei der Abweichung von seiner natürlichen Länge Flüssigkeit abgibt und bei Rückkehr zur alten Form wieder aufnimmt. Damit ist die Wanderung der Flüssigkeit durch das Gewebe mit allen seinen Folgen in hohem Grad begünstigt und zwar in doppelter Weise, wie sogleich gezeigt werden soll.

Es hat sich gefunden, dass bei der einmaligen Wanderung dieser Flüssigkeit durch das Gewebe des Muskels, bei der nach aussen, nicht alles wanderungsfähige Eiweiss zersetzt wird. Neben den Zersetzungsproducten, z. B. der Säure, tritt unzersetztes Eiweiss hindurch. Während des Durchtrittes aber wird Eiweiss zersetzt und seine Zersetzung liefert die Kraftquelle. Für die Thätigkeit des Muskelschlaches ist aber sein Inhalt von Wichtigkeit und es kann nicht gleichgiltig sein, wenn ihm zersetzungsfähiges Eiweiss entzogen wird, was unzersetzt gleichfalls theilweise hinaus wandert und in die Interstitien geräth. Dort aber und nur dort finden sich die Blutgefässe mit ihrem alkalischen Inhalt und dem Serum. Je mehr davon vorhanden ist, sei es aufgestaut oder in Circulation, um so leichter kann dies saure Zersetzungsproduct und seine Rückwirkung auf das physikalische Verhalten des Muskelschlaches und auf die chemische Beschaffenheit des interstitiellen Muskelsaftes neutralisirt werden.

Mit grosser Leichtigkeit kehrt die Flüssigkeit nach der Contraction zurück in die Schläuche und um so mehr Eiweiss

mit, je weniger an der trennenden, für die Eiweissdiffusion von vorneherein sehr geeigneten Membran etwas geändert ist, und je weniger die molekuläre Anordnung des Eiweisskörpers jenseits derselben erschüttert oder verändert worden. Mögen bei dieser Rückkehr im Contact mit dem Geweb auch abermalige Veränderungen vor sich gehen, immer wird eine für den Vorgang der Zuckung nothwendige Füllung des Schlauches mit Eiweiss wieder Platz greifen können.

Um so weniger aber ist das der Fall, je kleiner die Menge des Ersatz bietenden Eiweisses ist, und je weniger beim Austritt eingeleitete Veränderungen aussen wieder paralytirt (Neutralisation der Säure durch Blutalkali), oder neue Bedingungen zur Zersetzung (Sauerstoff aus dem Blut oder überhaupt der Umgebung) wieder mit hereingebracht werden. Nur im Wechsel der Formveränderung und deren Wirkung auf die Säftebewegung im Innern des Muskels erhält sich seine Leistungsfähigkeit auf der mittleren normalen Höhe: dauernde Ruhe, wie dauernde Verkürzung erschöpft ihn.

Man darf aber nicht vergessen, dass neben der durch die Formänderung der Schläuche begünstigten Massenbewegung immer noch die einfache Diffusion einhergeht; dass jener Mechanismus, in Folge dessen rückwärts die Flüssigkeit wieder eindringt, nur dann vollkommen und augenblicklich genügt, wenn in unmittelbarer Nähe noch eiweisshaltige Stoffe in hinlänglicher Menge disponibel sind, und dass je weniger dies der Fall ist, um so längere Zeit verstreicht, bis auf dem Weg der Diffusion der Verbrauch wieder gedeckt ist, welchen die Wanderung nach aussen begleitet hatte.

In der Zeiteinheit verlangt der thätige Muskel eine raschere Zersetzung als der unthätige. Genügte für den letzteren der einfache Säftekreislauf, so muss er bei der Thätigkeit beschleunigt werden, weil er sonst nicht ausreicht, anhaltende Arbeit des Muskels verrichten zu lassen. Die Contraction selbst ist der Hebel für die Beschleunigung der Zersetzung mit allen ihren

Folgen, und darin allein liegt die Bedeutung des Mechanismus, welchen wir hiefür in dem Muskel nachgewiesen haben.

Wir kommen jetzt zum zweiten Punkt, nämlich zu den secundären Folgen des Durchtritts der Flüssigkeit durch die Membran. Sie beruhen auf der Natur eines Zersetzungsproductes und dessen Rückwirkung auf die physikalische Beschaffenheit des Muskelschlauches. Wir kennen vorläufig nur eines, dessen Einfluss in dieser Beziehung näher von mir studirt wurde: es ist die Säure. Wir wissen, dass sie in sehr kleinen Mengen das Muskelgewebe weicher macht, und dass in Folge dessen die den Inhalt umschliessenden Schläuche der Bewegung um so weniger Widerstand werden entgegensetzen, je mehr sich diese erste Wirkung der Säure entfalten kann. Gereizte Muskeln schreiben um so früher und um so prägnanter die für die Ermüdung charakteristischen Curven mit langer Abscisse, flachem Bogen, langer latenter Reizung, spät erreichter Ordinate und verwischten Terminal-Oscillationen, je weniger Blut sie enthalten, je weniger alkalische eiweisshaltige Flüssigkeit ihnen geboten ist, um ihre Erholung zu ermöglichen. Wir haben weiter die auffallende Thatsache gefunden, dass auch ohne Ersatz durch circulirendes Blut, ja in blutarmen Muskeln in noch auffallenderem Grad die Leistungsfähigkeit ($F. \times \text{Absc.} \times \text{Ord.}$) während der Erholung grösser werden kann, als sie vor der Ermüdung war; dass aber nie bei dem ausgeschnittenen Muskel die ursprüngliche Zuckungsform mit ihrer kurzen Abscisse und ihrem raschen Schwung wiederkehrt. Woher kommt diese auffallende Erscheinung? Ueberlegen wir, dass diese eigenthümliche Zuckungsform gerade bei denjenigen Muskeln am Bestimmtesten hervortritt, bei welchen wir die Wanderung der Flüssigkeit nach aussen mechanisch begünstigt haben, sei es durch Zug oder innere Compression, oder selbst durch gewisse Maasse der Intensität oder Dauer des Tetanus, bedenken wir weiter, dass diese Formen gerade dann am ehesten auftreten, wenn wir den blutarmen Muskel schon näher seiner Starre untersuchen, dagegen nicht, wenn wir das alkalische Blut in

den Gefässen stagniren oder circuliren lassen, so dürfte es ausgemacht sein, dass die Gegenwart der Säure, welche die grössere Weichheit des Muskelschlauches bedingt, die kräftigen elastischen Rückwirkungen des Schlauches auf den in Bewegung begriffenen Inhalt vermindert, und Curven veranlasst, denen gleich, welche frische Muskeln bei verminderter Belastung und Intensität des Reizes schreiben. Liegt die Kraftquelle des Eiweiss in seiner Zersetzungsperiode, und steht sie in directem Zusammenhang mit der Masse des Eiweiss, so kann die daraus entspringende Triebkraft nicht wachsen, wenn die Eiweissmenge sich verringert. Die Energie des Muskels kann also nicht gesteigert sein, wenn in der Erholung ein unvollkommener Ersatz an verbrauchtem Stoff eintritt; sie kann es also auch nicht sein, wenn unter jenen Umständen die Maximalordinate und das Product aus mittlerer Ordinate und Abscisse über das ursprüngliche Maass des frischen Muskels anwächst. Es kann also nur bei verminderter Beweglichkeit oder Energie der wesentlichen Theile die gesteigerte Nachgiebigkeit des Schlauches die Curve jene Gestalt gewinnen lassen. Durch Zug, Druck und Contraction wird die Wanderung des Inhalts durch die Membran begünstigt; dadurch die Zersetzung gesteigert, die Säurebildung erhöht, die Elasticität des Schlauches vermindert und die Energie der wirksamen Theile durch Stoffverbrauch verkleinert. Das sind die Ursachen, welche die charakteristische Curvenform ermüdeter Muskeln bedingen.

Wenn der Muskel sich wieder erholt, so geschieht dies um so vollkommener, d. h. die ursprüngliche Zuckungsform wird um so früher und mit allen ihren Eigenthümlichkeiten wieder genommen, je mehr die rückwärts wandernde Flüssigkeit wieder den früheren Inhalt des Schlauches in jeder Beziehung ersetzt. Dies ist noch am Ehesten möglich, so lange die Circulation besteht, langsamer oder gar nicht mehr, wenn das im Muskel enthaltene Blut auf das Minimum reducirt ist. Damit hängt nun auch die vollkommenere oder unvollkomme-

nere Neutralisirung der bei der Zersetzung von Eiweiss gebildeten Säure in den Interstitien zusammen.

Der Process der einmal eingeleiteten Säurebildung bedarf keiner weiteren Unterstützung durch organische Gewebe; er geht fort auch ausserhalb des Körpers im ausgepressten Muskelsaft und wird sich auch im Inneren des Muskels fortsetzen, so dass die Wirkung der Säure nur aufgehoben wird durch ihre Abstumpfung und Entfernung im Blutstrom. Wo diese Momente fehlen, wird sie sich anhäufen, und wie bei der ersten Entwicklung der Todtenstarre die Schläuche dehnbarer machen, woher es kommt, dass die Curve der Erholung jene Eigenthümlichkeiten, die oben bezeichnet wurden, erlangt und die Leistungsfähigkeit erhöht scheinen lässt, trotz dem, dass die Energie der primär bewegten Massen je mehr und mehr sinken muss, wenn der Eiweissersatz unvollständig ist. In der Erholung vom Kreislauf ausgeschlossener und bis zu einem gewissen Grad vorher erschöpfter Muskeln, bedingt der, wenn auch ungenügende Ersatz an Eiweiss die theilweise Rückkehr der anfänglichen Energie in den wesentlichen Theilen, die im Wachsen begriffene Wirkung der Säure die weitere Verminderung der Elasticität des Schlauches: und so entstehen die noch immer lang gestreckten Curven, in welchen aber sowohl F als mittlere Ordinate, ja selbst die Maximalordinate grösser sein kann als vor der Ermüdung, während die Abscisse sich verkürzt. Diese Formen können überall da schon unmittelbar nach der Reizung eintreten, wenn sich durch gleichzeitige Nebenumstände, Druck, Zug u. s. w. die Bedingungen für ihre Entstehung schon während der Reizung geltend gemacht haben, welche ausserdem erst im Lauf der Zeit in der Periode der Erholung Platz greifen.

Tetanisiren wir bis zur Erschöpfung, so treten kurz vor der vollständigen Vernichtung der Reizbarkeit die ganz kurzen, flachen, rasch in die Abscisse zurücksinkenden Curven auf, deren F und Maximalordinate so sehr verkleinert ist. Säurebildung und Eiweissverlust hat dabei nahezu den höchsten Grad erreicht, welcher die Function des Muskels unwiederbringlich

vernichtet. Jetzt ist die Energie des Muskels auf's Aeusserste gesunken, die Elasticität der Schläuche wieder gesteigert; denn solche Muskeln können vom Tetanus direct in die exquisite Todtenstarre hinübergeführt werden. Damit sind die Bedingungen für die kurze, flache, rascher zur Abscisse wieder zurückbiegende Curve der fast ganz erschöpften Muskeln gegeben, wie sie frische Muskeln schreiben, wenn man die Intensität des Reizes sehr vermindert, das angehängte Gewicht sehr erhöht hat.

Am schönsten treten diese Verhältnisse bei der Beobachtung derjenigen Muskeln ins Licht, welche wir dem Einfluss der steigenden Temperatur aussetzen. Je mehr und mehr wird dadurch, wie ich nachgewiesen habe, die Zersetzung des Eiweiss gefördert, die Säuremenge gesteigert, und was ausserhalb des Muskels im isolirten Saft vor sich geht, habe ich auch im Inneren des Muskels zu verfolgen gelehrt². An den Curven sehen wir nun, wie anfänglich die Maximalordinate immer höher hinaufrückt, ein Zeichen, dass in Folge der lebhaftern Zersetzung die inneren Triebkräfte wachsen. Die Wirkung der in der Zeiteinheit gesteigerten Zersetzung überholt bis zu einer gewissen Grenze die Wirkung des Verbrauches; dabei werden die Schläuche im Anfang immer nachgiebiger, und wir erhalten Curven, denen ähnlich, welche der frische Muskel bei mittlerer Temperatur dann schreibt, wenn der Reiz gesteigert, die Belastung verkleinert worden ist. Dies geht je nach Umständen bis zum 30. oder 34. Grad Celsius fort; dann aber, wenn durch die Vorbereitung zur Gerinnung das Eiweiss in seiner molekulären Constitution erschüttert ist — dann plötzlich sinkt die Energie auf das Minimum herab, und die grosse Menge von Säure, welche frei wird, bedingt die Elasticitätsvergrösserung des Schlauches, in Folge dessen die rasch und nicht hoch erhobene Curve mit terminalen Oscillationen zur Abscisse zurück-schnellt.

(2) Vgl. über die Muskelstarre, Sitzungsbericht der mathem. phys. Classe der Akademie der Wissenschaften 10. November 1860.

Damit glaube ich alle bis jetzt bekannt gewordenen Thatsachen in einen gemeinschaftlichen Rahmen ohne Zwang geschlossen und den inneren Mechanismus, welcher Ermüdung und Erholung anbahnt in Einklang mit den Resultaten gebracht zu haben, zu welchen die Stoffwechsel-Untersuchungen im Grossen und Ganzen und mit ganz anderen Mitteln geführt hatten.

3) Herr Seidel überreicht der Classe im Auftrag der beiden Brüder, Herrn Hermann und Robert von Schlagintweit, den ersten Band des Werkes, welches sie über die von ihnen in Gemeinschaft mit ihrem verstorbenen Bruder Adolph unternommene Reise nach Indien und Hochasien erscheinen lassen¹, nebst den dazu gehörigen vier grossen Karten².

Er bemerkt, dass dieser Band, ausser der Einleitung und der Uebersicht des Unternehmens, vorzugsweise die astronomischen Ortsbestimmungen und die magnetischen Beobachtungen nebst den aus denselben gezogenen Resultaten enthält. Die Reisenden waren mit den instrumentalen Hilfsmitteln für die Ortsbestimmungen sehr gut ausgerüstet, und da für einen Theil der von ihnen besuchten Gegenden bisher nur sehr rohe Angaben vorlagen, so liefern ihre Beobachtungen einen werthvollen Beitrag für die Geographie von Hochasien. Die Unterschiede zwischen den neuen Bestimmungen und den seitherigen Annahmen treffen natürlich mit den stärksten Beträgen auf die geographischen Längen (für die nördlichen Theile von Tibet er-

(1) Results of a scientific Mission to India and High Asia etc by H. A. and R. de Sch. — Vol. I. Leipzig. Brockhaus 1861.

(2) Dieses Geschenk ist seitdem von den Herren von Schlagintweit durch die Ueberreichung der ganzen ersten Lieferung des zu dem Werke gehörigen Bilder-Atlasses vervollständigt worden.