

Beiträge zur Lehre
der
elektrischen Muskelreizung.

INAUGURALDISSERTATION
zur
ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

in der
Medicin, Chirurgie und Geburtshülfe

vorgelegt
der hohen medicinischen Facultät

der
UNIVERSITÄT ZÜRICH

den 16. März 1861

durch

WILHELM NÄGELI

von Kllchberg, Kt. Zürich.

ZÜRICH,
Druck von F. Walder & Sohn
1861.

Beiträge zur Lehre

der

elektrischen Muskelreizung.

von Hermann von Helmholtz

IN AUCTORITÄT

ERLANGEN DER DOCTORWÜRDE

in der

Medizin, Chirurgie und Geburtshilfe

vorgelegt

der hohen medicinischen Fakultät

der

UNIVERSITÄT ZÜRICH

den 15. März 1851

durch

WILHELM MÄGERL

von Kempten, in Zürich

ZÜRICH.

Druck von F. Walder & Sohn

1851

Seinem hochverehrten Lehrer

HERRN PROFESSOR DR.

ADOLF FICK

aus

aufrichtiger Dankbarkeit

gewidmet

vom Verfasser.

Das Gesetz der elektrischen Nerven und Muskeleirregung hat du Bois-Reymond so formulirt:

„Nicht der absolute Werth der Stromdichtigkeit in jedem Momente ist es, den der Bewegungsnerv mit Zuckungen des zugehörigen Muskels beantwortet, sondern die Veränderung dieses Werthes von einem Augenblicke zum andern, und zwar ist die Anregung zur Bewegung, die diesen Veränderungen folgt, um so bedeutender, je schneller sie bei gleicher Grösse vor sich gingen oder je grösser sie in der Zeiteinheit waren.“

In der That fügen sich diesem Gesetze alle bis dahin bekannt gewesene Versuche über elektrische Reizung an Säugethieren und Amphibien. Es lassen sich jedoch aus diesem Gesetze Konsequenzen ziehen, welche von vorn herein wenig Wahrscheinlichkeit für sich haben. Das Gesetz fordert gar keine bestimmte Zeit für das Durchflossensein des Nerven oder Muskels vom Strome. Diese Zeit sollte daher unendlich klein werden können, ohne der Stärke der Schliessungs- oder Oeffnungszuckung Eintrag zu thun, wofern nur die Schwankung der Stromdichtigkeit beim Schliessen oder Oeffnen der Kette gehörig rasch geschieht. Wie gesagt ist diese Konsequenz des du Bois'schen Gesetzes keineswegs an sich wahrscheinlich. Man wird doch wohl anzunehmen haben, dass die Theilchen des Muskels, während er von einem elektrischen Strom durchflossen ist, sich in einem veränderten Zustande befinden und dass das Eintreten in diesen veränderten Zustand die Schliessungszuckung zum Ausdrucke hat; ebenso wird das Wiederaustreten aus diesem Zustande (der Spannung möchte ich sagen) und die Rückkehr in den gewöhnlichen als Oeffnungszuckung erscheinen. Es ist nun nicht anzunehmen, dass irgendwelche Materie in einen Zustand eintritt absolut gleichzeitig mit dem Entstehen der Ursache, dass vielmehr die Ursache eine gewisse, wenn auch noch so kurze Zeit gewirkt haben müsse, um den Zustand in voller Stärke zu

entwickeln. Man darf demnach wohl vermuthen, dass zur Erzielung einer Schliessungszuckung nicht der blosse Schluss eines Stromkreises genügt, dass vielmehr derselbe eine Zeit lang geschlossen sein muss. Wird er wieder geöffnet, noch ehe der Muskel in den hypothetischen Zustand kommen konnte, so wird voraussichtlich die Schliessungszuckung nicht oder nur schwach zu Stande kommen und ebenso die Oeffnungszuckung ausbleiben, weil eben der Muskel gar nicht in einem veränderten Zustand war, aus dem er durch eine Oeffnungszuckung in seinen gewöhnlichen Zustand zurückzukehren hätte.

Es sind nun auch schon Thatsachen bekannt, welche zur Stütze dieser Vermuthung dienen können. Erstens gehört hierher eine Beobachtung von Harless, die in einer kurzen Notiz in den Münchener gelehrten Anzeigen 1857 bekannt gemacht ist. Er fand, dass bei einer bestimmbaren Anzahl von Stromunterbrechungen letztere aufhören physiologisch zu wirken, und dass der unterbrochene Strom die Wirkung eines constanten gewinnt. Vorläufiger Berechnung nach sollten sich im Mittel 10000 Unterbrechungen in der Sekunde als erforderlich gezeigt haben, um den Tetanus verschwinden zu machen, welcher bei Verminderung dieser Zahl sofort wieder auftritt. Diese Thatsache ist übrigens noch ziemlich verwickelter Art und kann daher nicht unmittelbar die oben ausgesprochene Vermuthung beweisen. Harless hat sie einfach konstatirt ohne daraus einen weitem Schluss zu ziehen.

Fick gelangte auf anderem Wege dazu die Richtigkeit des du Bois'schen Gesetzes anzuzweifeln. Er untersuchte nämlich die Reizbarkeit der Muschelschliessmuskeln durch Elektrizität. Während es bei der leichten Reizbarkeit der Amphibien und Säugethiermuskeln für den Ausschlag der Zuckung gleichgültig ist, ob der Strom nach vollendetem Schluss länger oder kürzer dauere, muss die trägen Muschelmuskeln der Strom eine namhafte Zeit durchfliessen, damit seine Schliessung eine Zuckung erzeuge und andererseits entsteht bei ihm Oeffnungszuckung nur dann, wenn vorher der zu öffnende Strom den Muskel während einer

längern Zeit durchflossen hatte. Es war somit wenigstens schon eine irritabele Substanz gefunden, die sich dem du Bois'schen Grundgesetze der elektrischen Reizung nicht fügte.

Indem Fick sich von dieser Thatsache überzeuete, beschloss er zu untersuchen, ob nicht auch bei den Muskeln von Amphibien und Säugethieren der Strom einer gewissen Zeit bedürfe, um Zuckung zu erregen, ob es in der That für den Ausschlag der Zuckung einerlei sei, ob der Strom dessen Schluss oder Oeffnung, die Zuckung erregt, längere oder kürzere Zeit andauere, oder ob der Ausspruch von du Bois seine Richtigkeit habe, dass zwischen Elektrizitätsmenge und physiologischer Wirkung durchaus keine wesentliche und unmittelbare, sondern vielmehr nur eine ganz zufällige, willkürliche und durch Nebenumstände vermittelte Beziehung stattfinde. Natürlich war zu vermuthen, dass die zur Zuckung erforderliche Stromdauer bei den Froschmuskeln ausserordentlich viel kleiner sein werde als bei den so überaus trägen Muschelmuskeln.

Um darüber Gewissheit zu erhalten, unternahm ich unter der Leitung von Professor Fick eine Reihe von Experimenten, an Froschmuskeln, deren Resultat nun hier vorgelegt werden soll.

Zunächst war ein Apparat erforderlich, der folgenden Bedingungen Genüge zu leisten hatte: Er musste erstens die Grösse der Zuckung angeben, welche auf eine Erregung hin eintritt, da hypothetisch angenommen worden war, dass die Grösse der Zuckung im Verhältniss stehe zu der Elektrizitätsmenge, die während eines kurzdauernden Stromschlusses durch den Muskel fliesst.

Es musste ferner durch den Apparat ermöglicht werden, dass der elektrische Strom den Muskel nur während eines sehr kleinen Zeitraums, der nicht über einen kleinen Bruchtheil einer Sekunde betragen durfte, durchfloss, weil sonst, wenn dies nicht geschieht, sich in dem Ausschlag der Zuckung kein Unterschied zeigen würde, da jede etwas länger dauernde Stromschliessung bei der leichten Reizbarkeit des Froschmuskels hinreichen würde das Maximum des Ausschlages herbeizuführen. Es musste so-

dann dieser kurze Moment des Stromschlusses nach Belieben variabel gemacht werden können.

Um das Verhalten des Muskels unter denselben Umständen aber bei verschiedener Stromstärke kennen zu lernen, musste am Apparat eine Vorrichtung getroffen sein, um die Intensität des Stromes verändern und die Stromstärke selbst messen zu können, was beides durch Einschaltung eines Flüssigkeitsrheostaten und eines nicht sehr empfindlichen Galvanometers leicht gelang.

Entsprechend der ersten Bedingung wurde der Muskel mit dem kurzen Arme eines Hebels so in Verbindung gebracht, dass die Grösse der Zuckung durch den Winkel gemessen werden konnte, den der Hebel beschreibt, wenn der Muskel aus dem Zustand der Ruhe in den der Erregung versetzt wird.

Der zweiten Anforderung betreffend die Dauer des Stromschlusses suchten wir durch verschiedene Vorrichtungen nachzukommen. Anfangs benutzten wir hiezu einen Apparat, an welchem der Schluss in der Weise zu Stande kam, dass während des Fallens eines Gewichtes von einer gegebenen Höhe an einer bestimmten Stelle sich zwei feine Metalldrähte streiften.

Der Apparat war sehr einfach so konstruirt, dass in zwei Schlitten ein Brettchen sich senkrecht auf- und abwärts bewegte, das mit einem Gewicht belastet war. Das Brettchen trug einen Metallstift, an welchem ein feiner und langer Kupferdraht befestigt war, der einerseits in eine freie Spitze auslief, andererseits mit dem einen Pole der Säule verbunden war. Bei der grossen Feinheit des Drahtes durfte man darauf rechnen, dass die notwendige Entfaltung seiner Krümmungen der Bewegung des belasteten Brettchens keinen Widerstand entgegensezte. In der Nähe des untern Endes des mit den beiden Schlitten versehenen Gestelles war ein anderes äusserst feines Drähtchen wagrecht ausgespannt, so dass es von dem vorerwähnten freien Ende querüber gestreift werden musste. Dieses Drähtchen war mit dem andern Pole der galvanischen Kette in bleibender Verbindung, jedoch war in diese Verbindung der Froschmuskel

eingeschaltet. Offenbar war bei dieser Einrichtung der Muskel genau während der Zeit vom Strom durchflossen, während welcher die am Fallbrett befestigte freie Drahtspitze mit dem am Gestell befestigten Drähtchen in Berührung war. Diese Zeit war offenbar um so kürzer, je grösser die Geschwindigkeit war, die das Brettchen an der betreffenden Berührungsstelle der Drähte erreicht hatte. Die Geschwindigkeit musste ihrerseits abhängen von dem Raum, welchen das Fallbrett bis zum Augenblick der Berührung der Drähte durchlaufen hatte. Kannte man die Geschwindigkeit des Brettchens im Moment der Berührung der beiden Drähte, so konnte man aus derselben und aus dem Durchmesser der Drähte die Dauer der Schliessung numerisch bestimmen.

An irgend einer Stelle der eben beschriebenen Ketten-schliessung war ausserdem ein wenig empfindliches Galvanometer eingeschaltet. Begreiflicherweise wurde seine Nadel im Moment des Vorübergleitens nicht merklich abgelenkt, jedoch konnte man nach Beendigung einer Versuchsreihe, während der Muskel sich noch im Kreise der Kette befand, durch dauernde Schliessung derselben, in der Weise der momentanen, die bleibende Ablenkung beobachten, welche der dauernde Strom, den die angewandte Kette in dem angewandten Leiterkreis zu erzeugen im Stande ist, hervorbringt. Der oben erwähnte Flüssigkeitsrheostat war als Nebenschliessung zum Muskel angebracht. Endlich ist noch zu erwähnen, dass der Strom in den Muskel durch unpolarisierbare Elektroden geleitet wurde. Es wäre dies zwar nicht nöthig gewesen bezüglich des sehr kurzdauernden Kettenschlusses, der als Reiz diente. Dagegen hätte sich bei nachmaliger Bestimmung der Stromstärke, wobei, wie gesagt, die Kette längere Zeit geschlossen blieb, die Polarisation störend einmischen können.

Folgende Versuchsreihen wurden mit diesem Apparat an-
gestellt:

Tab. I.**Fallapparat ohne Belastung.**

Fallhöhe	Zuckung	Rheostat	Stromstärke
m. Hand	1,2	2 c. m.	1,5°
" "	1	"	"
1 c. m.	0	"	"
2 m. m.	0	"	"

1 Gramm Belastung auf dem Muskel.

Fallhöhe	Zuckung	Rheostat	Stromstärke
m. Hand	4,4	6 c. m.	5,5°
"	4	"	"
0,3 c. m.	1,8	"	"
0,5 "	2	"	"
0,5 "	2	"	"
1	0,8	"	"
1	1,6	"	"
2	0,9	"	"
5	0,6	"	"
20	0	"	"
m. Hand	3,8	15 c. m.	11,5°
"	3,4	"	"
0,5	2	"	"
2	1,8	"	"
5	1,2	"	"
25	0,6	"	"
m. Hand	3,2	unendlich	22°
"	2,8	"	"
0,5	2	"	"
5	1,6	"	"
15	1	"	"
25	1,2	"	"

Tab. II.

II. Versuchsreihe mit frischem Muskel. Belastung = 50 Gr.

Fallhöhe	Zuckung	Rheostat	Stromstärke
0,1	4,5	1 c. m.	0,5°
0,1	5	"	"
0,3	4	"	"
0,5	2,8	"	"
0,5	3	"	"
0,5	4	"	"
1	2	"	"
1	3,5	"	"
1	2,5	"	"
1	4	"	"
2	3,2	"	"
2	2,5	"	"
2	4	"	"
5	3,2	"	"
5	2,5	"	"
5	4,2	"	"
7	3,5	"	"
7	2,5	"	"
7,5	0	"	"
8	0	"	"
8	0	"	"
8	3,2	"	"
9	0	"	"
9	0	"	"
10	0	"	"
10	4	"	"
20	0	"	"
20	4,5	"	"
m. Hand	4,5	"	"
"	4,5	"	"
"	5,2	"	"
"	4,5	"	"
"	4,5	"	"

m. Hand in Quecksilber geschlossen Zuckung = 4,5

Tab. III.

Fallhöhe	Zuckung	Rheostat	Stromstärke
0,3	4,5	21 c. m.	11°
1	4,5	"	"
1	4,2	"	"
5	6	"	"
12	4,8	"	"
16	5	"	"
29	5,5	"	"
m. Hand	5	"	"
"	5	"	"
"	5,5	"	"

Tab. IV.

Fallbrett unbelastet.

Fallhöhe	Zuckung	Rheostat	Stromstärke
0,5	4,5	21 c. m.	11°
2	4,5	"	"
5	4	"	"
5,5	3,8	"	"
16	4	"	"
16	4	"	"
m. Hand	3,8	"	"
"	5	"	"
"	5,5	"	"
"	5,2	"	"

Tab. V.
Fallbrett unbelastet.

Fallhöhe	Zuckung	Rheostat	Stromstärke
m. Hand	2,8	1 c. m.	0,5
"	3,5	"	"
"	2,5	"	"
"	2,2	"	"
"	2,8	"	"
0,2	2,2	"	"
0,5	0	"	"
0,5	1,5	"	"
1	0,8	"	"
1	0,6	"	"
1	0,5	"	"
1	0,5	"	"
1,5	0	"	"
2	0	"	"
2	1	"	"
2	0	"	"
2	0	"	"
2	0	"	"
2	0,6	"	"
2	0	"	"
2	0	"	"
3	0	"	"
3	0	"	"
3	0	"	"
3	0	"	"

Zu den Tabellen noch folgende Bemerkungen, die auch für die noch folgenden zum Theil gelten:

In der Rubrik Fallhöhe bedeutet „m. Hand“: dass das Fallbrett langsam an dem Drähtchen mit der Hand vorübergeführt werde. Unter der Rubrik Rheostat bedeutet unendlich: dass der Rheostat ausgeschaltet, d. h. die Nebenschliessung ganz unterbrochen war.

Die Zahlen in der Rubrik Stromstärke sind die Ablenkungen des Galvanometers in Graden.

Aus den vorgelegten Resultaten wird man ersehen, dass der vorhin beschriebene Apparat nicht zu dem vorgesetzten Zwecke genügt. Die Grösse der Zuckung steht ersichtlich in keinem gesetzlichen Zusammenhange mit der Höhe, von der das Fallbrett herabgefallen ist. Zu der einen Folgerung sind wir jedoch nach den so eben mitgetheilten Versuchen schon berechtigt: Die Zuckung des Muskels ist überhaupt kleiner, wenn die Dauer des durch seinen Schluss und seine Oeffnung sie erregenden Stromes ausserordentlich kurz ist, als wenn diese Dauer einen namhaften Bruchtheil einer Sekunde beträgt. Es zeigten sich nämlich in den obigen Tabellen ganz konstant die grössten Zuckungswerthe in den Versuchen, wo das Brettchen gar nicht in freiem Fall rasch durch die Schlitzte glitt, sondern vielmehr ganz langsam mit der Hand hindurch geführt wurde.

(Vergleiche die Werthe in Tabelle I — III)

Im Uebrigen dagegen entspricht nicht immer wie zu erwarten gewesen wäre einer grössern Fallhöhe eine kleinere Zuckung. Wir dürfen jedoch hieraus keineswegs schliessen, dass überall bei grösserer Fallhöhe die Geschwindigkeit auch wirklich grösser und folglich die Dauer des Schlusses kleiner gewesen wäre. Es ist vielmehr zu vermuthen, dass die Widerstände des Fallapparates zu gross waren, um eine den Fallgesetzen entsprechende regelmässige Beschleunigung des Fallbrettchens zu Stande kommen zu lassen. Wir überzeugten uns hievon thatsächlich durch Versuche, die nach dem Principe der Pouillet'schen Zeitmessungsmethode mit dem Multiplikator an gestellt wurden.

Es ergab sich dabei, dass die Dauer der Berührung beider Drähte im Fallapparate bei gleicher Höhe bald grösser, bald kleiner war und bei kleinerer Fallhöhe oft kleiner als bei grösserer. — Dies zeigt sich auch gelegentlich in den Tabellen VI—XIII. Beispielsweise gehörte in Tab. VI zur Fallhöhe 25 die Ablenkung 60° zur Fallhöhe 2 nur eine Ablenkung von 22° . Sehr klein, wohl viel kleiner als $\frac{1}{100}$ Sekunde war sie natürlich in

allen Fällen, obwohl ich hierüber leider keine numerischen Angaben machen kann.

Es hätte mir nun eigentlich nahe gelegen, das Prinzip des elektrischen Chronoskopes überhaupt in diese Untersuchung einzuführen. Man konnte ja ein empfindliches Galvanometer gleichzeitig mit dem Muskel in den Kreis der Kette bringen und aus seiner Ablenkung und der nach Beendigung der Versuchsreihe bestimmten Stromstärke die Zeitdauer des Ketten schlusses in den einzelnen Versuchen direkt berechnen. Wir haben in der That derartige Versuche angestellt, deren Resultate nachstehend verzeichnet sind:

Tab. VI.

Ausschlag des Multiplikator	Zuckung	Rheostat	Fallhöhe
a. d. Hmmg.	7	9,5 c. m.	m. Hand
60°	6	"	25
30°	5	"	m. Hand
22°	4	"	2
7°	5	"	9
7°	4	"	12,5

Tab. VII.

a. d. Hmmg.	5	23 c. m.	m. Hand
5°	4,5	"	10
0°	5,5	"	10

Tab. VIII.

a. d. Hmmg.	7,5	unendlich	m. Hand
stark a. d. Hmg.	7	"	"
a. d. Hmmg.	6	"	12
30°	5	"	2
30°	6	"	1,5
25°	3,5	"	m. Hand
6°	4,5	"	10
5°	4,5	"	12
3°	4,5	"	10

Tab. IX.

Versuche mit demselben Muskel, wie in Tabellen VI, VII und VIII.

Ausschlag	Zuckung	Rheostat	
stark a. d. Hmg.	5,5	6	mit Hnd.
a. d. Hmg.	5	"	" "
" " "	4,8	"	" "
" " "	5,5	"	" "
leise " " "	3	"	" "
stark a. d. Hmg.	2,2	"	" "
a. d. Hmg.	1,5	"	" "
65	2,5	"	" "
60	2,5	"	" "
45	2	"	" "
40	4,5	"	" "
35	4,5	"	" "
25	4,5	"	" "
20	4	"	" "
10	3,5	"	" "
8	3,5	"	" "
3	3	"	" "
0	3	"	" "
0	2,8	"	" "
0	2,5	"	" "

Der Frosch, dessen Muskel zu der letzten Versuchsreihe benutzt worden war, hatte sich ein paar Tage im warmen Zimmer befunden.

Tab. X.
Frischer Muskel.

Multiplikator- ablenkung	Zuckung	Rheostat
stark a. d. Hmg.	15	unendlich
" " " "	12	"
a. d. Hmg.	14,5	"
25°	10	"
7°	11	"
6°	11	"
4°	10,5	"
4°	11,5	"
in Quecksilber geschlossen.	12,5	"
Hemmg.	6,5—10	unendlich
40°	6	"
30°	5,5	"
24°	6	"
20°	4,8	"
15°	5	"
10°	4,2	"
5°	4—4,3	"
3°	4,3—4,7	"
0°	1,7	"

Tab. XI.

Multiplikator- ablenkung	Zuckungsgrösse	Rheostat
88°	4,8	14
20°	4,3	"
17°	4,8	"
12°	4,8	"
6°	3,8	"
5°	3,8	"
4°	3,8	"
3°	4,3	"
3°	2,8	"
zweifelhaft	0,6	"
0°	0,3	"
in Quecksilber geschlossen.	4,8	"

Tab. XII.

Muskel durch Inductionsströme zuvor ermüdet.

Ausschlag am Multiplikator	Zuckung	Rheostat	
a. d. Hmmg.	0,6 — 0,7	10 c. m.	
40°	0,5	"	
10°	0,4	"	
stark a. d. Hmg.	0,9	unendlich	
" " " "	0,8	"	
" " " "	0,8	"	
a. d. Hmmg.	0,7	"	
" " "	0,7	"	
" " "	1	"	
50°	0,5	"	
35°	0,6	"	
20°	0,5	"	
15°	0,5	"	
6°	0,3	"	
5°	0,3	"	
5°	0,3	"	
2°	0,2	"	
a. d. Hmmg.	2,8	10 c. m.	
"	0,8	"	
30°	0,5	"	
6°	0,3	"	
5°	0,3	"	

Tab. XIII.

Versuchsreihe mit frischem unermüdetem Muskel.

Ausschlag am Multiplikator	Zuckung	Rheostat
5°	1,5	unendlich
a. d. Hmng.	5,5	2 c. m.
Schwach a. d. H.	6	"
" " "	5,2	"
80°	5,2	"
80°	6,5	"
80°	7	"
60°	5,5	"
50°	5,5	"
45°	5,5	"
14°	6,5	"
10°	7,5	"
10°	7	"
10°	6	"
6°	6	"
6°	4,8	"
5°	4	"
5°	5	"
3°	3	"
3°	3,4	"
3°	2,6	"
3°	2	"
2°	3	"
2°	1,7	"
Kaum merklich	0,1	"
" "	0,2	"
" "	0,8	"
" "	0,9	"
" "	0,7	"
" "	0,7	"
" "	0,8	"
" "	0,8	"
Unbedeutende Schwankung	1,2	"

Es scheint auf den ersten Blick, als ob diese Resultate einen genügenden Beweis lieferten für den Satz, dessen Bewahrheitung Zweck dieser Arbeit ist. Die Zuckungen fallen in der That im Allgemeinen um so stärker aus, je grösser die gleichzeitige Multiplikatorablenkung ist, d. h. je länger der Kettenschluss gedauert. In manchen der mitgetheilten Reihen tritt zwar das Resultat nicht ganz deutlich hervor, es ist alsdann durch die Ermüdungseinflüsse verdeckt, denen nicht Rechnung getragen ist. Es lässt sich nämlich bei genauerer Erwägung der Umstände zeigen, dass die nach dieser Versuchsmethode zu gewinnenden Resultate, auch wenn sie ganz regelmässig wären, doch nicht zu einem vollgültigen Beweise benutzt werden könnten. Durch die Einführung eines Multiplikatordrahtes von 20,000 einander sehr nahe liegenden Windungen wird der elektrische Vorgang beim Schliessen des Kreises bedeutend komplizirt. Man ist nicht berechtigt anzunehmen, dass in verschwindend kleiner Zeit in dem gedachten Kreise der Strom in den Beharrungszustand kommt, in welchen er nach Verfluss einer endlichen Zeit kommen würde. Die vielfachen Induktionsströme, welche in den einzelnen Windungen des Multiplikators entstehen müssen, verzögern die Herstellung des Beharrungszustandes vielleicht beträchtlich. Wenn also die Oeffnung der Kette sehr rasch auf die Schliessung folgt, so hat vielleicht in keinem Augenblicke die volle Stromstärke, wie sie sich bei längerer Dauer des Schlusses entwickeln würde, bestanden und auf den Muskel gewirkt.

Je kürzer die Zeit zwischen Schluss und Oeffnung der Kette bei diesem Vorgange ist, um so kleiner ist vielleicht der höchste Werth der Stromstärke, welchen dieselbe während der in Rede stehenden kurzen Zeit erreicht. Die Kleinheit der Zuckung ist deshalb in den letzterwähnten Versuchen möglicherweise nicht allein dadurch bedingt, dass ein Strom von gleicher Stärke während kürzerer Zeit einwirkt, sondern auch dadurch, dass überhaupt nur ein weniger starker Strom zu Stande kam. Mit voller Bestimmtheit lässt sich freilich über diese Dinge, welche zu den verwickeltsten der Elektrizitätslehre gehören, nicht leicht etwas

sagen, aber man sieht jedenfalls, dass eine Entscheidung der hier schwebenden Frage auf diesem Wege nicht zu erlangen ist. Man musste daher wieder zurückkommen zu einer Anordnung, bei welcher eine annähernde Zeitbestimmung möglich war, ohne dass sich ein in 20,000 Windungen aufgewundener Draht im Kreise der Kette befand.

Wir versuchten es noch mit einer andern Anwendung des Fallprinzips. Wir liessen einen Hebel, dessen längerer Arm belastet war, um eine horizontale Axe beweglich herabfallen, so dass die Last einen Kreisbogen beschrieb. Die messingene Axe lief in zwei Spitzen aus, die mit leichtem Druck in messingenen Lagern ruhten. Wir hofften auf diese Weise den Reibungswiderstand soweit vermindert zu haben, dass nun der aus verschiedener Höhe herabfallende Hebel in derselben Lage angekommen sehr verschiedene und einigermassen bestimmbare Geschwindigkeiten erlangen würde. Am langen Hebelarme, sehr weit von der Axe entfernt, war hier in ähnlicher Weise wie beim vorhin beschriebenen Fallbrett ein mit dem einen Kettenpole verbundener, dünner Draht befestigt. Er lief wie jener in eine freie Spitze aus, welche allemal, wenn der Hebel in eine bestimmte Lage gekommen war, an einem mit dem andern Kettenpole verbundenen, feinen Drähtchen vorüberglitt.

Leider zeigten die Resultate der mit dem neuen Apparat angestellten Versuche, die daher gar nicht mitgetheilt werden sollen, nicht mehr Regelmässigkeit als die mit dem erstern. Es müssen also auch hier die Widerstände noch so gross und so ungleich gewesen sein, dass eine regelmässig beschleunigte Bewegung nicht entstehen konnte.

Es würden sich ohne Zweifel die beiden beschriebenen Fallapparate derart vervollkommen lassen, dass die Zeit des Ketenschlusses mittelst derselben nach Willkühr verändert werden könnte. Da mir aber leider die Mittel nicht zu Gebote standen, vollkommnere, nach diesem oder andern Prinzipien konstruirte Apparate herbeizuschaffen, so muss ich verzichten auf die Begründung eines Gesetzes, welches den quantitativen Zusammen-

hang zwischen Zuckung und Dauer des Kettenschlusses beherrscht. Dass ein solcher besteht, ist schon durch die mitgetheilten Versuchsreihen sehr wahrscheinlich gemacht, insbesondere ist in dieser Beziehung noch hervorzuheben, dass auch in den mit dem zweiten Fallapparat angestellten Versuchen ganz konstant die grössten Zuckungen dann eintreten, wenn der eine Draht mit der Hand langsam am andern vorübergeführt wurde. In solchen Versuchen war ohne Zweifel die Dauer des Kettenschlusses vielmal grösser, als in allen den Versuchen, in welchen bei herabfallendem Hebel das freie Drahtende an dem gespannten Drähtchen rasch vorüberglitt. Um jedoch den zu beweisenden Satz über allen Zweifel zu erheben, wurden noch in folgender Weise Versuchsreihen angestellt, die ein unzweideutiges Resultat geliefert haben.

Ein freies Drahtende, mit dem einen Kettenpole in Verbindung, wird über ein mit dem andern Kettenpole verbundenes, gespanntes Drähtchen geführt, in ähnlicher Weise, wie dies durch das fallende Brett oder den fallenden Hebel geschehen war, wobei sich ausserdem im Kreise der Kette dieselben Apparate befanden, wie bei den schon beschriebenen Versuchsreihen. Nach einiger Uebung gelang es begreiflicherweise sehr leicht, einige sehr verschiedenen Geschwindigkeiten nahezu immer wieder gleich hervorzubringen. Wir haben drei solcher Geschwindigkeitsstufen benutzt. Die eine soll durch „schnell“, die zweite durch „mittel“, die dritte durch „langsam“ bezeichnet werden. Freilich ist nicht entfernt daran zu denken, die numerischen Werthe dieser Geschwindigkeiten zu bestimmen, indessen zeigen doch die folgenden Tabellen zur Genüge, dass stets die Zuckung um so grösser ist, mit je geringerer Geschwindigkeit die mit der Kette verbundenen Drähte an einander vorüber geführt wurden.

Tab. XIV.

Art der Berührung	Zuckung	Rheostat
langsam	16	unendlich
"	18	"
"	18,5	"
"	20	"
"	21	"
schnell	8	"
"	7,5	"
"	8,5	"
"	8,5	"
"	9,5	"
"	10,2	"

Tab. XV.

langsam	14,5	unendlich
"	15	"
"	15	"
"	16	"
"	16	"
schnell	6	"
"	6,2	"
"	7,2	"
"	6,3	"
sehr schnell	1,5	"

Tab. XVI.

Art der Berührung	Zuckung	Rheostat	
langsam	2,5	3 c. m.	
"	3	"	
"	3,5	"	
"	4	"	
"	4,2	"	
"	4,6	"	
"	3,6	"	
"	4,5	"	
	} 3,7		
mittel	1,3	"	
"	2	"	
"	2,5	3	
"	2,2	"	
"	1,6	"	
"	3	"	
"	3,5	"	
"	1,5	"	
"	1	"	
"	3,2	"	
	} 2,2		
schnell	0,5	"	
"	0,6	"	
"	0,6	"	
"	0,7	"	
"	0,8	"	
	} 0,6		
sehr schnell	0,5	"	
"	0,4	"	
	} 0,4		

Tab. XVII.

Art der Berührung	Zuckung	Rheostat
langsam	15	20 c. m.
"	16,3	"
"	16,3	"
"	15	"
"	17,5	"
"	17	"
"	18,5	"
mittel	8,5	"
"	9	"
"	10	"
"	11	"
schnell	6	"
"	7	"
"	6,5	"
"	6,5	"
"	6,5	"
"	6,3	"
"	7	"
"	7,2	"
"	7	"
"	7,5	"
"	7,8	"
"	7,8	"
sehr schnell	1,5	"

Tab. XVIII.

Art der Berührung	Zuckung	Rheostat
langsam	16,8	unendlich
"	17	"
"	17	"
"	17	"
mittel	13,3	"
"	14	"
"	14,5	"
"	14,5	"
schnell	6,5	"
"	7,3	"
"	8	"
"	8,5	"
"	8,5	"
"	8,5	"
"	8,8	"

Ich will noch folgenden etwa zu erhebenden Einwänden hier begegnen. Die Verschiedenheit der Reizgrösse, könnte jemand behaupten, ist in den mitgetheilten Versuchen nicht bedingt durch die verschiedene Dauer des Kettenschlusses, sondern durch die verschiedene Art desselben.

Allerdings ist nicht zu läugnen, dass bei verschieden raschem Vorüberführen der beschriebenen Drähte, das Anschwellen der Stromstärke von 0 bis zu ihrem Maximalwerthe bei beginnender Berührung, und das Sinken derselben vom Maximalwerthe wieder auf 0 beim Aufhören der Berührung, in verschiedener Weise geschehen muss. Die Verschiedenheiten, welche dabei zu erwarten sind, sind jedoch gewiss derart, dass dadurch die Beweiskräftigkeit der vorgelegten Versuche eher erhöht als vermindert werden muss. Wollte sich ein Gegner auf den Stand-

punkt des du Bois'schen Fundamentalgesetzes des elektrischen Reizes stellen, so wird er doch ohne Zweifel zugeben müssen, dass bei raschem Vorübergleiten zweier Drähte an einander die Steilheit der Stromstärke im geschlossenen Kreise nicht langsamer anschwillt und wieder sinkt als bei langsamem Vorübergleiten. Wofern überhaupt ein merklicher Unterschied statthaben sollte, musste das Anschwellen und Absinken der Stromstärke jedenfalls schneller sein beim raschen Vorübergleiten der Drähte. In den zuletzt mitgetheilten Tabellen beispielsweise darf man in allen den Fällen, wo in der ersten Spalte „schnell“ steht, eine grössere Steilheit der Dichtigkeitskurve gegen die Abscissenaxe der Zeit erwarten, als in den Fällen, welche in der ersten Spalte mit „langsam“ bezeichnet sind. Ohne Zweifel ist zwar in diesen die Steilheit der Dichtigkeitskurve bei Schluss und Oeffnung der Kette schon so gross, dass eine merkliche und wirksame Vergrösserung unmöglich sein dürfte. Man hätte daher vom Standpunkt des du Bois'schen Fundamentalgesetzes, welches die Grösse der Reizung von jener Steilheit allein abhängig macht, in den mit „schnell“ bezeichneten Fällen eine ebenso starke oder allenfalls stärkere Zuckung zu gewärtigen, als in den mit „langsam“ bezeichneten, jedenfalls aber keine schwächere.

Ein anderer Einwand, der auf den ersten Blick gewichtiger erscheinen kann, liesse sich gründen auf die von Helmholtz gefundenen Gesetze der Summirung des Reizes.

Bekanntlich fand dieser Forscher, dass die Wirkung zweier rasch auf einander folgenden Reize grösser ist als die eines einzelnen, selbst wenn der einzelne Reiz schon so stark ist, dass eine weitere Steigerung seiner Intensität keine Vermehrung der Zuckung mehr zur Folge hat. Es muss jedoch der zweite Reiz so rasch auf den ersten folgen, dass der vom ersten ausgelöste Zuckungsvorgang noch nicht vorüber ist. Helmholtz fand in dieser Beziehung näher Folgendes. Der zweite Reiz verkürzt den Muskel um nahezu soviel, als er den ruhenden Muskel verkürzt haben würde. Sind demnach beide Reize gleich stark und trifft der zweite den Muskel im Stadium der grössten Verkürzung,

so fällt die Gesamtverkürzung doppelt so stark aus, als sie bei jedem einzelnen der Reize ausgefallen sein würde. Trifft aber der zweite Reiz den Muskel in irgend einem andern Stadium der Verkürzung, so wird die Gesamtverkürzung nicht so gross. Nehmen wir beispielsweise an, der erste Reiz habe erst den 4ten Theil der, ihm wie dem gleichen zweiten Reiz, zukommenden Verkürzung v hervorgebracht, und in diesem Augenblicke wirke der zweite Reiz ein, so wird die Gesamtverkürzung nur $\frac{5v}{4} = \frac{v}{4} + v$ werden. Dasselbe würde sich auch ereignen, wenn die Verkürzung in Folge des ersten Reizes, nachdem sie einen Augenblick lang $= v$ gewesen, wieder auf $\frac{v}{4}$ gesunken wäre und nun der zweite Reiz einwirkte. Auf diese Thatsachen gestützt könnte nun einer die mitgetheilten Versuche folgendermassen erklären wollen:

„Es wirkten in allen Fällen zwei Reize auf den Muskel ein, zuerst der Schluss der Kette beim Beginn der Berührung der Drähte, sodann die Oeffnung der Kette in dem Augenblicke, wo die Berührung wieder aufhörte. Die Wirkung dieser beiden Reize musste sich zu einer Gesamtzuckung summiren. Die Grösse dieser Gesamtzuckung hängt ab nicht nur von der Stärke der einzelnen Reize, sondern auch von der Zeitdauer, die zwischen ihnen verstreicht, und zwar dergestalt, dass sie um so kleiner ausfallen muss, je kleiner diese Zeit ist, vorausgesetzt, dass dieselbe überall kleiner als das Stadium der steigenden Energie des Muskels ist. Je kleiner nämlich der Zeitabschnitt alsdann ist, zu einer um so kleinern, dem ersten Reize verdankten Verkürzung addirt sich die vom zweiten herrührende, die für alle Fälle als konstant gedacht werden mag.“

Sollte dieser Einwand stichhaltig sein, so müsste es einen Grenzwert der Zeit zwischen Schluss und Oeffnung der Kette geben, für welchen die Zuckung ein Maximum wäre. Dieser Grenzwert wäre offenbar kein anderer, als die Zeit der steigenden Energie, d. h. die Zeit, welche verstreicht vom Augenblick der Reizung bis zu dem Augenblicke, in welchem der

Muskel am meisten verkürzt ist. Es würde dann allerdings für alle kleinern Zeitwerthe die Zuckung kleiner ausfallen müssen, aber auch für alle grössern. Von einem derartigen Grenzwertb zeigt sich in unsern Versuchen keine Spur. Wir haben zwar, wie aus dem obigen hervorgeht, leider darauf verzichten müssen, die Zeitdauer des Kettenschlusses numerisch zu bestimmen, indessen dürfen wir doch annehmen, dass diese Zeitdauer bei einigermaßen raschem Vorüberführen des einen Drahtes am andern in den meisten Fällen kleiner war, als das Stadium der steigenden Energie, wie es Helmholtz bestimmt. Bei sehr langsamem Vorüberführen der Drähte war diese Zeitdauer voraussichtlich beträchtlich länger. Es hätte somit in den Fällen des allerlangsamsten Vorüberführens wiederum eine Verminderung der Zuckung sich zeigen müssen, die, wie obige Tabellen ausweisen, niemals beobachtet wurde. Ueberdies setzt derjenige, der den fraglichen Einwand machen wollte, voraus, dass die untere Grenze der Verkürzung, bei unendlichen Abnahmen der zwischen beiden Reizen verfließenden Zeit, diejenige Verkürzung ist, welche der eine der beiden Reize für sich allein hervorbringen würde. Dass dies nicht der Fall war, können wir durch mehrere, besonders auf diesen Einwand gerichtete Versuche belegen. In einigen Versuchsreihen nämlich wurde gelegentlich derselbe Stromkreis, welcher sonst durch Berührung der beiden Drähte geschlossen und alsbald wieder geöffnet wurde, in Quecksilbernäpfchen geschlossen und einige Zeit geschlossen gehalten. Man konnte auf diese Weise die Schliessungs- und Oeffnungszuckung jede einzeln beobachten. Die Schliessungszuckung für sich war in allen diesen Fällen bedeutend grösser, als die durch Schluss und Oeffnung zusammen hervorgebrachte Zuckung, wenn die zwischen Schluss und Oeffnung verflossene Zeit eine sehr kurze war. (Man vergleiche Tabelle Nr. II am Ende, sowie Tab. X u. XI.)

Leider haben wir es versäumt, die Grösse der Oeffnungszuckungszuckung in solchen Fällen auch noch zu notiren, jedoch erinnere ich mich deutlich, dass auch diese grösser war,

als die Zuckung bei rasch an einander vorübergleitenden Drähten in derselben Versuchsreihe.

Zu dem nun schon mehr wie hinlänglich widerlegten Einwand noch die Bemerkung, dass in den Helmholtz'schen Versuchen, auf die er gegründet war, als einzelner Reiz weder ein Kettenschluss noch eine Kettenöffnung diene, vielmehr ein Induktionsstoss, der als elektrischer Vorgang der Schliessung und Oeffnung einer Kette zusammen entspricht.

Wie ich glaube ist nach diesen Betrachtungen der Satz, den ich durch diese Arbeit zu beweisen mir vorgesetzt habe, über jeden Zweifel erhaben:

Wenn der Schliessung einer Kette die Oeffnung derselben sehr rasch folgt, so fällt die Zuckung schwächer aus, als wenn die Kette geschlossen bleibt. —

Thesen.

I.

Die Grösse der elektrischen Reizung ist nicht allein abhängig von der Geschwindigkeit der Stromdichtigkeitsschwankung im Muskel.

II.

Krankheit ist Ernährungsstörung.

III.

Die Anwendung der Kälte als antiphlogisticum bei tief sitzender Entzündung ist erfolglos.

IV.

Die auf einmal vorgenommene gänzliche Entleerung hydropischer Ansammlungen ist nachtheilig.

V.

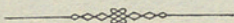
Chlorose ist identisch mit Anaemie.

VI.

Die Harnanalyse ist ein diagnostisches und prognostisches Hilfsmittel bei der Pneumonie.

VII.

Es ist ein Kunstfehler, bei acutem Glaucom die Iridectomie nicht zu machen.



Themen

I.

Die Größe der elektrischen Leistung ist nicht allein abhängig von der Geschwindigkeit der Stromleitung, sondern auch von der Widerstandskraft des Leitungsmediums.

II.

Erreichte ist Erreichung.

III.

Die Anwendung der Wärme als antiseptisches Mittel bei der Behandlung ist erfolgreich.

IV.

Die auf einem bestimmten Gegenstande bestehende hydrostatische Auswirkung ist nachteilig.

V.

Chlorose ist identisch mit Anämie.

VI.

Die Hormone sind ein diagnostisches und prognostisches Mittel bei der Diagnose.

VII.

Es ist ein Rezeptur, bei dem die Indikation nicht zu machen.