Einwirkung) durch weitere Thätigkeit dieses Ferments zu CO_2 und NH_3 zerspalten werden. Es ist schon von Hoppe-Seyler und von Kistiakowsky nachgewiesen, dass sich bei der Einwirkung des Pepsins auf Eiweisskörper keine Kohlensäure entwickelt. Einige Versuche, die ich mit einer 24 Stunden (bis zur Lösung des Fibrins) verdauten Eiweissmasse anstellte und bei welchen ein durch die mit Baryt übersättigte Flüssigkeit drei Stunden lang hindurchgeleiteter Wasserstoffstrom nur einige Zehntel Milligramm Ammoniak an die vorgelegte Salzsäure abgab, zeigten deutlich, dass bei der Verdauung keine Ammoniakbildung stattgefunden hatte.

Herrn Professor Hoppe-Seyler, meinem hochverehrten Lehrer, welcher mich zu dieser Arbeit anregte und die Ausführung derselben leitete, spreche ich meinen herzlichsten Dank aus.

Die mehrfachen Interferenzen der Nerven- erregungen.

Von

G. Valentin.

(Nebst Taf. III.)

Die an einem anderen Orte¹⁾ dargestellten Untersuchungen über die Interferenz der gleichzeitigen elektrischen Erregung zweier von einander entfernter Strecken eines und desselben Nerven bewogen mich, die Prüfungen auf drei und auf vier Bezirke auszu-dehnen. Die Combinationslehre zeigt, dass die Gesamtsumme der hierbei möglichen Einzelversuche mit der Menge der interferirenden Nervenabschnitte schnell wächst. Die Prüfung von fünf Strecken desselben Nervenstammes liesse sich desshalb nicht an einem und

1) Dieses Archiv Bd. VII. S. 458.

demselben Thiere, wie wir sehen werden, vollständig durchführen. Will man sich nicht der Gefahr von Selbsttäuschungen aussetzen, so kann man nicht Sorgfalt genug auf diese Art von Forschungen verwenden. Man darf nur solche Versuche unter einander vergleichen, in denen die Grösse und die Art der Erregung möglichst genau übereinstimmen. Hat man auch dieses erreicht, so kann immer noch der Wechsel der augenblicklichen Nervenstimmung Schwierigkeiten bereiten. Ich musste daher die Schlüsse, welche ich aus ungefähr zwei Tausend fünf Hundert aufgeschriebenen Muskelcurven zog, in hohem Grade einschränken.

1. Anzahl der zu einer vollständigen Versuchsreihe nöthigen Erregungen.

Die Erkenntniss der verschiedenen Wirkungsarten einer mehrfachen Reizung einer bestimmten Ordnung oder einer gegebenen Anzahl von Nervenstrecken fordert, dass man nicht bloß den Einfluss der mannigfachen Verbindungen von diesen, sondern auch den der Einzelfälle der früheren Ordnungen verfolgt. Die Untersuchung der vierfachen Interferenzen macht z. B. auf diese Weise die der drei-, der zwei- und der einfachen nöthig.

Wir wollen der Kürze wegen die erste und oberste, dem centralen Nervensysteme zunächst gelegene Strecke mit *s* (Portio superior), die zweite peripherisch folgende mit *m* (Portio media), die dritte mit *i* (P. inferior) und die vierte mit *u* (P. ultima) bezeichnen. *p* (peripherisch gerichtet) zeigt an, dass der elektrische Strom die Abtheilung des Nerven ab- und *c* (central gerichtet), dass er sie aufsteigend durchsetzt.

Eine einzige Nervenstrecke giebt zwei mögliche Fälle, eine Erregung mit dem auf- und eine mit dem absteigenden Strome.

Dieser Werth steigt schon auf $4+4=2^3=8$, wenn man zwei Nervenstrecken für alle einfachen und zusammengesetzten Fälle prüfen will. Jede der beiden Nervenstrecken kann einzeln von jeder der beiden Stromesrichtungen durchflossen werden. Man hat die vier einfachen Erregungsarten:

1. <i>s.p.</i>	3. <i>i.p.</i>
2. <i>s.c.</i>	4. <i>i.c.</i>

Nun liefern die beiden Stromesrichtungen $2^2=4$ Variationen zu 2. Man hat die Amben *p.p.*; *c.c.*; *p.c.*; *c.p.* Jede von ihnen verbindet sich mit zwei Nervenstrecken. Man erhält darnach:

5. s.p.i.p.	7. s.p.i.c.
6. s.c.i.c.	8. s.c.i.p.

Die vier anderen möglichen Verbindungen i.p.s.p.; i.c.s.c.; i.c.s.p. und i.p.s.c. sind natürlich mit 5 bis 8 gleichwerthig.

Ich nannte in dem früheren Aufsatz No. 5 die erste, No. 6 die zweite positive, No. 7 die erste und No. 8 die zweite negative Interferenz, Ausdrücke, die anzeigen, ob die zweite Stromesrichtung gleichartig oder entgegengesetzt ist.

Die Zwischenstrecke zwischen zwei erregten Nervenbezirken bildet natürlich einen feuchten Leiter, der ebenfalls Ströme aufnimmt. Arbeitet man mit Einstichsnadeln, so empfangen die Nachbarstücke der geprüften Nervenstrecken Stromeschleifen, von denen einzelne in entgegengesetzter Richtung wie der Hauptstrom fließen können. Dasselbe findet in der Nervenstrecke selbst statt, wenn sie noch von ihren natürlichen Nachbartheilen umgeben oder von ihnen gesondert, und nur in zwei Punkten, oder überhaupt bloss in einem Theile ihres Querschnittes von den Elektroden berührt wird.

Fig. I.

Fig. I kann uns klar machen, wie sich die Verhältnisse der Zwischenstrecke bei der Erregung zweier Nervenbezirke verhalten. $a\ b$ sei der Nerv, p_s und c_s bezeichnen die beiden Pole des oberen und p_i und c_i die des unteren Nervenabschnittes. Die erste positive Interferenz giebt $c_s\ p_i$ und die zweite $p_s\ c_i$ für die Zwischenstrecke. Diese liefert also einen Strom, welcher den beiden anderen, unter einander gleichgerichteten entgegengesetzt ist, wie die Pfeile es andeuten. Wir können daher sagen, dass sich eine negative Interferenz durch die Zwischenstrecke bei jeder der beiden positiven Interferenzen einschaltet. Wir wollen ihn den ersten Zwischenstrom nennen. Es

versteht sich, dass man $n-1$ solcher Zwischenströme bei dem Gebrauche von n -Nervenstrecken hat, in denen der Strom gleichgerichtet durchfließt.

Gehen wir nun zu den Erregungen dreier Nervenstrecken über, so kommen hier zwei neue einfache Erregungen hinzu. Man hat also im Ganzen die sechs einfachen Fälle.

1. s.p.	3. m.p.	5. i.p.
2. s.c.	4. m.c.	6. i.c.

Die drei Nervenstrecken s, m und i lassen sich zu $1 + 2 = 3$ Amben combiniren. Man erhält die binären Verbindungen s.m.; s.i.; m.i. Jede von ihnen kann aber ab- oder aufsteigend durchflossen werden und das erste der beiden combinirten Nervenstücke die gleiche oder die entgegengesetzte Stromesrichtung, wie das zweite darbieten. Man findet daher vier Möglichkeiten für jede Ambe und folglich 3×4 oder zwölf Einzelfälle zweifacher Erregungen, nämlich:

7. s.p.m.p.	11. s.p.i.p.	15. m.p.i.p.
8. s.c.m.c.	12. s.c.i.c.	16. m.c.i.c.
9. s.p.m.c.	13. s.p.i.c.	17. m.p.i.c.
10. s.c.m.p.	14. s.c.i.p.	18. m.c.i.p.

Die dreifachen Erregungen geben zu keinen Versetzungen der Nervenstrecken Veranlassung. Da alle drei Bezirke von dem Strome gleichzeitig durchsetzt werden, so erhält man s.m.i.=s.i.m.=i.s.m. u. s. w. Dieses würde hingegen nicht mehr Statt finden, wenn man mit mehreren ungleich starken oder sich verschieden rasch abgleichenden Strömen arbeitete, wie ich dieses in einigen, der mit zweifacher Interferenz angestellten Versuche gethan habe. Jener Satz gilt selbst bei dem Gebrauche eines einzigen Stromes nur unter der in keinem Falle streng richtigen Voraussetzung, dass alle Nervenstrecken dieselbe Grösse des Leitungswiderstandes darbieten. Bildet man jetzt die dreifachen Verbindungen, die bei den zweifachen unter No. 5 bis 8 verzeichnet worden, so kann jede von ihnen mit m.c. oder mit i.c. vereinigt werden. Man erhält also im Ganzen $2 \times 4 = 2^3$ oder acht dreifache Erregungsarten, nämlich:

19. s.p.m.p.i.p.	23. s.p.m.c.i.c.
20. s.c.m.c.i.c.	24. s.p.m.c.i.p.
21. s.c.m.p.i.p.	25. s.c.m.p.i.c.
22. s.p.m.c.i.c.	26. s.c.m.c.i.p.

Wir können uns noch auf einem anderen Wege überzeugen, dass nur acht verschiedene Einzelfälle dreifacher Erregungen unter den oben erwähnten Voraussetzungen möglich sind. Setzen wir zu jeder der zwölf zweifachen Erregungen, die unter No. 7 bis 18 angeführt worden, je ein p oder ein s zu der dritten fehlenden Nervenstrecke hinzu, so erhalten wir $2 \times 12 = 24$ dreifache Reizungen. Bezeichnen wir jede von diesen mit derselben Nummer, welche

die ursprüngliche zweifache Erregung führt, setzen aber unten noch ein p hinzu, wenn die dritte Nervenstrecke absteigend, und ein c, wenn sie aufsteigend durchflossen wird; so finden wir, dass die Anordnung von s, m und i für unseren Fall gleichgültig ist:

$$\begin{array}{ll} 7_p = 11_p = 15_p & 12_p = 10_c = 17_c \\ 8_p = 14_c = 18_c & 13_p = 17_p = 7_c \\ 9_p = 18_p = 11_c & 16_p = 9_c = 13_c \\ 10_p = 14_p = 15_c & 8_c = 12_c = 16_c \end{array}$$

Die 24 Fälle kommen also auf $\frac{24}{3} = 8$ verschiedene Fälle zurück.

Geben schon die dreifachen Erregungen 26 verschiedene Fälle, so steigt diese Zahl auf 80 bei der Prüfung von vier Nervenstrecken. Da jede von diesen ab- und aufsteigend durchflossen werden kann, so hat man 8 einfache Reizungsarten. Die vier Nervenstücke lassen sich zu $\frac{4.3}{1.2} = 6$ Amben combiniren. Jede dieser Amben hat aber zwei positive und zwei negative Interferenzfälle. Man erhält daher 24 verschiedene Arten doppelter Erregungen. Die vier Nervenstrecken liefern ferner $\frac{4.3.2}{1.2.3} = 4$ verschiedene Ternen, nämlich s.m.i.; s.m.u.; m.i.u.; s.i.u. Da jede von diesen 8 verschiedene Fälle giebt, wenn man die beiden Stromesrichtungen berücksichtigt, so hat man 32 dreifache Erregungsarten. Die Anordnung der vier Nervenstrecken bleibt wiederum unter den oben gemachten Voraussetzungen gleichgültig. Man braucht also nur eine einzige Combination in Betracht zu ziehen. Dagegen liefern die beiden Stromesrichtungen 1) zwei Fälle, in denen alle vier Strecken von derselben Stromesrichtung, 2) zwei Mal vier, in denen je drei Strecken von der gleichen und eine von der entgegengesetzten und 3) zwei Mal drei Fälle, in denen je zwei Abtheilungen von der gleichen und die beiden anderen von der entgegengesetzten Stromesrichtung durchflossen werden. Da alle Fälle, in denen die eine Stromesrichtung drei und die entgegengesetzte die vierte Nervenstrecke durchsetzt, schon in No. 2 enthalten sind, so hat man im Ganzen 16 Fälle. Die vierfachen Interferenzen geben also 8 einfache, 24 doppelte, 32 dreifache und 16 vierfache, also im Ganzen 80 Erregungsarten.

Da kein Nerv eines Frosches oder einer Kröte diese Zahl von Reizungen ohne wesentliche Aenderung und schliessliche Erschöpfung der Empfänglichkeit aushalten würde, so vertheilte ich immer die verschiedenen Fälle planmässig auf eine Reihe einzelner Thiere.

Es dürfte die Zeit nicht mehr fern sein, wo man physiologische Versuche an den Nerven von Krokodilen und Riesenschildkröten anstellen wird. Wir wollen daher noch die fünffachen Erregungen im Einzelnen betrachten.

Die beiden entgegengesetzten Stromesrichtungen geben zunächst $2 \times 5 = 10$ einfache Reizungsarten. Die fünf Nervenabtheilungen lassen sich zu $\frac{5.4}{1.2} = 10$ Amben verbinden. Jede von ihnen liefert aber $2^2 = 4$ Einzelfälle, wenn man alle möglichen Vertheilungen der Stromesrichtungen als Variationen in Betracht zieht. Man erhält auf diese Weise $10 \times 4 = 40$ zweifache Erregungsarten. Die fünf Nervenstrecken führen ferner zu $\frac{5.4.3}{1.2.3} = 10$ Ternen und jede Terne zu $2^3 = 8$ verschiedenen Verbindungsarten der Stromesrichtungen. Die Zahl der dreifachen Erregungsweisen beträgt also $10 \times 8 = 80$. Die Menge der Quaternen der fünf Nervenabschnitte gleicht $\frac{5.4.3.2}{1.2.3.4} = 5$. Jede von ihnen bietet $2^4 = 16$ Verbindungen der Stromesrichtungen dar. Dieses liefert wiederum $5 \times 16 = 80$ Fälle vierfacher Erregungen. Da die Anordnung der fünf Nervenstrecken unter den früher gemachten Voraussetzungen gleichgültig ist, so giebt die gleichzeitige Reizung aller fünf Strecken $2^5 = 32$ Fälle. Die Interferenz von fünf Nervenstrecken hat also 10 einfache, 40 zweifache, 80 dreifache, 80 vierfache und 32 fünffache, mithin 242 Erregungsarten, wenn man den gleichen Strom durch alle Nervenstrecken gehen und die Ungleichheit der Leitungswiderstände und die Stromeschleifen unbeachtet lässt.

Ich habe die Herleitung für fünf Nervenstrecken so dargestellt, dass sie leicht zu einer allgemeinen Gleichung durch Induction führt. Nennen wir die Summe aller möglichen Erregungsarten S und die Anzahl der Nervenstrecken n, so haben wir:

$$\begin{aligned}
 S &= 2^1 \cdot \frac{n}{1} + 2^2 \cdot \frac{n(n-1)}{1.2} + 2^3 \cdot \frac{n(n-1)(n-2)}{1.2.3} + 2^4 \cdot \frac{n(n-1)(n-2)(n-3)}{1.2.3.4} \\
 &\quad + 2^5 \cdot \frac{n(n-1)(n-2)(n-3)(n-4)}{1.2.3.4.5} + \dots \\
 &\quad + 2^n \cdot \frac{n(n-1)(n-2) \dots [n-(n-1)]}{n!} \\
 &= 2^1 \cdot \frac{n}{1} + 2^2 \cdot \frac{n(n-1)}{1.2} \dots + 2^n \\
 &= \sum_{r=1}^n 2^r \cdot (n)_r.
 \end{aligned}$$

$(n)_r$ bedeutet in dem letzteren Ausdrucke den Binomialcoefficienten oder den Coefficienten des r ten Gliedes einer nach der Newton'schen Regel entwickelten Reihe, welche den Werth eines zur n ten Potenz erhobenen Binoms ausdrückt. Das n über und die 1 unter dem Summenzeichen zeigt an, dass alle ganzen Einheiten entsprechenden Werthe von 1 bis n genommen werden sollen. Das Glied $r=0$, das der Einheit gleichen würde, fällt in unserer Gleichung fort. Der letzte Coefficient ist natürlich ebenfalls $= 1$.

Die Zahl der möglichen Fälle steigt sehr rasch mit der Anzahl der Nervenstrecken. Man findet, dass 6 Nervenabtheilungen 728 und 10 schon nicht weniger als 59048 verschiedene Erregungsarten geben würden.

Man könnte natürlich das n , welches allen Gliedern mit Ausnahme des letzten gemeinschaftlich ist, ausserhalb der Parenthese stellen und dieses später für $n-1$; $n-2$ u. s. f. für die entsprechenden Gliedergruppen wiederholen, sowie die in jedem Nenner vorkommenden Zahlen der Factorenfolge gegen die Potenzen von 2 und gegen einzelne Werthe der Zähler der Binomialcoefficienten heben. Es ist aber zweckmässiger, die Formel so zu lassen, wie sie oben geschrieben worden, weil sie nicht bloß die Gesamtsummen aller Erregungsarten angiebt, sondern weil auch jedes ihrer einzelnen Glieder die Zahl der Einzelfälle anzeigt, welche der durch den Exponenten von 2 ausgedrückten Menge der gleichzeitig gereizten Nervenstrecken entspricht.

Da die Reihe $2^1 + 2^2 + 2^3 \dots$ divergirt, so gilt dieses auch für die oben angeführte Reihe, weil der kleinste Binomialcoefficient der Einheit gleicht. Dieses sagt aber aus, dass eine unendlich grosse Zahl von Nervenstrecken eine Menge von verschiedenen Erregungsarten darbietet, die sich durch keine endliche Grösse mehr angeben lässt.

2. Versuchsverfahren.

Die einzelnen Ergebnisse lassen sich nur dann wechselseitig vergleichen, wenn ihnen dieselben Erregungsgrössen zum Grunde liegen. Der Strom muss also nicht bloß eine unveränderliche Stärke, sondern auch, wo möglich, dieselbe Abgleichungsgeschwindigkeit darbieten. Man darf daher nicht den erregenden Kreis von freier Hand schliessen, sondern muss dieses einem todten, möglichst unveränderlichen Mechanismus überlassen. Ich bediente mich hierzu

wiederum des an einem anderen Orte¹⁾ abgebildeten Uhrwerkes, das zugleich den zum Aufschreiben der Muskelcurven bestimmten Cylinder drehte.

Wollte ich Kettenströme anwenden, so ging der von dem positiven Pole kommende Leitungsdraht zu der rechten Klemme eines nach der Form des Eisenlohr'schen eingerichteten Rheostaten, der allen beliebigen ganzen Zahlen entsprechende Widerstände von einer bis vier Tausend Siemens'schen Einheiten einzuschalten gestattete. Er diente gewöhnlich zur Hauptschliessung des erregenden Kreises, während die Froschnerven nur einen Theil einer Nebenschliessung bildeten. Das Uhrwerk besitzt fünf Achsen, deren Umdrehungsgeschwindigkeit immer um den Factor zehn wächst. Der aus Neusilber bestehende Aufschreibecylinder wurde immer auf die dritte Achse, mit welcher er in metallischer Berührung blieb, gesetzt. Wollte man die Kette durch einen passenden Mechanismus schliessen und erst nach einem verhältnissmässig grösseren Zeitraume wiederum öffnen lassen, so musste man den für physiologische Versuche immer bedenklichen Quecksilberschluss gebrauchen. Ein kleiner viereckiger Holzklotz, der eine passende Oeffnung in seiner Mitte besass, wurde durch diese über die zweite Uhrwerksachse so geschoben, dass eine gegenseitige Berührung nirgends stattfand, und auf den Messingdeckel des das Uhrwerk enthaltenden Kastens gesetzt. Eine Vertiefung desselben führte einen möglichst reinen und staubfreien Quecksilbertropfen, der halbkugelig hervorragte und von dem ein eiserner Leitungsdraht ausging. Die zweite Uhrwerksachse trug oben einen Eisenstift, der rechtwinkelig gebogen war und mit seinem Spitzentheile den Quecksilbertropfen je ein Mal bei einem Umgange durchschnitt. Man konnte ihn höher oder tiefer stellen, so dass er in dem ersteren Falle eine kürzere und in dem letzteren eine längere Zeit nöthig hatte, das Quecksilber zu durchsetzen.

Die erste, rechte Klemme des Rheostaten entliess noch zu diesem Zwecke einen Kupferdraht zu einer mit dem Uhrwerke metallisch verbundenen Klemme. Der von dem Quecksilbertropfen ausgehende Eisendraht verband sich durch eine Klemme mit der linken Klemme des Rheostaten und diese mit dem negativen Pole des Elementes oder der Batterie. Ging das Uhrwerk, so schloss

1) Versuch einer pathologischen Physiologie der Nerven. Leipzig und Heidelberg. 1864. 8. Erste Abtheilung. S. 86.

sich der Nebenkreis in dem Augenblicke, in welchem der Spitzenthail des auf der zweiten Uhrwerksachse befindlichen Eisenstiftes in den Quecksilbertropfen trat und öffnete sich, so wie es ihn verliess. Der Hauptstrom ging immer durch den Rheostaten, während die Nebenschliessung nur zeitweise vervollständigt wurde. Stellte man den Rheostaten auf einen grösseren Widerstand ein, so lief ein stärkerer Strom durch den Nebenkreis und umgekehrt.

Wollte man den Gebrauch des Quecksilbers dadurch vermeiden, dass man dieses durch ein Metallplättchen, über das ein Metallstift hinbewegt wurde, ersetzte, so würde man keine unter einander vergleichbare physiologische Wirkungen erhalten, weil es unmöglich ist, hier immer dieselben Abgleichungsgeschwindigkeiten herzustellen. Selbst das Quecksilber erfüllt nur dann diese Bedingung möglichst annähernd, wenn es ganz rein und staubfrei ist.

Arbeitet man mit Nerven, welche dem Zuckungsgesetze des lebenden Nerven gehorchen, also blosse Schliessungszuckungen liefern, so kann man die reinsten Versuche mit der bei Gelegenheit der Beschreibung des Uhrwerkes auch abgebildeten Anschlagsvorrichtung anstellen. Der elektrische Nebenstrom geht dann durch das Uhrwerk, den Neusilbercylinder, der zum Aufzeichnen der Muskelcurven dient, einen in ihm befindlichen Stift, der den Hebel der Anschlagsvorrichtung berührt und fortschleudert und kehrt zuletzt von dieser zurück. Die Kette bleibt hier immer nur einen kleinen Bruchtheil einer Secunde und zwar für eine um so kürzere Zeit geschlossen, je rascher sich der Cylinder dreht. Dieser Zeitraum dauerte $\frac{1}{35}$ bis $\frac{1}{63}$ Secunde in den hierher gehörenden Versuchen der Art.

Ich habe bis jetzt die Anordnung, welche zur Einschaltung der Nervenstämme nöthig ist, der leichteren Uebersichtlichkeit wegen nicht erwähnt. Wir wollen sie jetzt näher betrachten.

Das verlängerte Mark des Frosches oder der Kröte wurde quer durchschnitten und das Gehirn zerstört. Ich machte hierauf einen zweiten Querschnitt dicht über dem Becken, also nahe über dem obersten Theile des Schwanzbeines und zermalmte das Rückenmark. Dieses Verfahren gewährt den Vortheil, dass sich fast nie Krämpfe in den Hinterbeinen erzeugen und die Reizungsempfänglichkeit schwächen. Der Ausschluss des Rückenmarkes sichert vor zwei anderen Störungen. Die Zusammenziehungen werden nicht selten unter dem Einflusse des Rückenmarkes, besonders bei dem Gebrauche aufsteigender Ströme, stürmischer und unregelmässiger. Da der

Strom, welcher die einzelnen Abschnitte des Hüftgeflechts durchsetzt, die Empfindungsfasern desselben ebenfalls trifft, so kann sich eine Reflexerregung der Nervenfasern einfinden, welche der unmittelbaren Reizung nachläuft, indem die Reflexübertragung eine grössere oder kleinere Zeitgrösse fordert.

Ich durchschneide hierauf die Haut, welche die eine Achillessehne bedeckt, trenne alle Theile des Unterschenkels, die vor dem untersten Abschnitte desselben liegen, quer durch, entferne diejenige Parthie, welche das spätere Spiel des Wadenmuskels stören könnte, gänzlich, enthäute den Fuss, damit man in ihn desto leichter den Hacken des Myographion einstechen könne, und schneide die äussere Fusshälfte hinweg. Der Frosch wird dann auf einer Korkplatte, die auf einem beliebig einstellbaren Brette des am Myographion befindlichen Stativs angenagelt ist, mit Nadeln so festgestochen, dass der Wadenmuskel mit seiner unteren Hälfte unter dem Brette zu stehen kommt und nur seitlich unverrückbar und senkrecht spielen kann. Ich aequilibrire vorher das Myographion für diejenige Stellung des Schreibstiftes, bei welcher die Spitze desselben den Aufschreibecylinder berührt, befestige hierauf die innere Hälfte des Fusses an dem Haken des Myographion und hänge unten ein Hubgewicht von 5 Grm. an. Das andere Bein wird so angestochen, dass es das Spiel des sich verkürzenden Wadenmuskels in keinem Falle stören kann.

Die rechte Klemme des Rheostaten, die z. B. den positiven Poldraht der erregenden Batterie aufgenommen hat, entlässt noch einen Draht, den eine grosse Messingklemme mit vier Drähten verbindet, von denen jeder zu einer rechten Batterieklemme eines von drei oder vier Punkt-Stromwendern geht. Die von den linken Batterieklemmen derselben kommenden Drähte vereinigen sich in einer zweiten grossen Klemme, die einen zu einem Schliesser verlaufenden Draht entlässt. Der andere von diesem Letzteren kommende Leitungsdraht tritt zur linken Klemme des Rheostaten, der schon den negativen Poldraht der Batterie aufgenommen hat.

Jede der beiden Ableitungsklemmen je eines Punkt-Stromwenders biegt sich zu der Einstichsvorrichtung. Sie besteht aus zwei stählernen in einem Holzcylinder befestigten Einstichsnadeln, deren spitze Enden um ungefähr drei Millimeter wechselseitig abstehen. Der rechte Ableitungsdraht ist mit dem rechtwinkelig umgebogenen Ende der rechten und der linke mit der linken Einstichs-

nadel durch eine kleine Messingklemme verbunden. Das oberste Nadelpaar kommt in die Gegend des obersten Theiles des Hüftgeflechtes, da, wo die drei stärkeren Aeste desselben (Nervus inguinalis, N. cruralis und N. ischiadicus) nahe an einander zu verlaufen beginnen, also ungefähr in der Höhe der Grenze des letzten Wirbels und des Schwanzbeines. Die zwei oder drei anderen Nadelpaare werden je drei Millimeter tiefer eingesetzt. Will man es dabei, wie ich es immer that, selbst bei der Prüfung von vier Nervenstrecken vermeiden, dass man zuletzt in den Oberschenkel kommt, so muss man so grosse Frösche und Kröten nehmen, dass sie 9 bis 10 Centimeter von der Mundspitze bis zum After messen. Der schmale Zwischenraum zwischen dem Darm- und dem Schwanzbeine begünstigt das richtige Einstechen der Nadeln in die unversehrten Theile, das man durch Uebung bald lernt. Ich habe übrigens auch nicht selten Hüftgeflechtpräparate¹⁾ hergestellt und sie mit der Rückseite an der Korkplatte des Myographion befestigt, so dass man das Hüftgeflecht unmittelbar sehen konnte.

Ein jedes Nadelpaar wird so eingestochen, dass sich seine obere Nadel mit dem Drahte der rechten und seine untere mit dem der linken Ableitungsklemme des ihm zugewiesenen Stromwenders verbindet. Der erregende Strom fliesst dann durch die Nervenstrecke absteigend, wenn der Stromwender vorne, und aufsteigend, wenn er hinten geschlossen wird. Er ist nach der Oeffnung des Stromwenders gänzlich abgehalten. Der noch eingeschaltete Schliesser hat zum Zweck, den Eintritt des Stromes verhindern zu können, wenn selbst der Stromwender geschlossen worden.

Zeichnet man sich die Stromwege auf, so wird man finden, dass die Vereinigung der Zuleitungsdrähte in den grossen Klemmen keine Störung der Stromesbahnen erzeugt. Wäre aber auch dieses der Fall, so würde die eine Klemme die Unordnung, welche die andere erzeugt hat, durch die entgegengesetzte Unordnung aufheben.

Ich habe noch ein anderes, freilich verwickelteres Verfahren gebraucht, bei welchem die unmittelbare Berührung einzelner Leitungsdrähte hinwegfällt. Man lässt die Hauptanordnung, wie früher, schaltet aber einen Punktschliesser in dem Verlaufe eines jeden Drahtes ein, der zu einem Stromwender geht und in jeden, der von ihm zurückkommt. Will man also n-Nervenstrecken gleichzeitig

1) Zeitschrift für Biologie von Pettenkofer und Voit. Bd. XI. München 1875. S. 263.

prüfen, so braucht man hierzu $2n$ Schliesser. Die linke Klemme des ersten Stromwenders wird noch mit der rechten des zweiten, die linke von diesem mit der rechten des dritten u. s. w. verbunden, jedoch so, dass immer ein Schliesser eingeschaltet ist. Man hat also zu diesem Zwecke $n-1$ Schliesser nöthig. Wir werden später sehen, dass man noch $n-1$ Schliesser braucht, um mit nahezu demselben Leitungswiderstande zu arbeiten, man möge eine, zwei, drei oder vier Nervenstrecken gleichzeitig erregen. Man muss also im Ganzen $2n+2(n-1)=2(2n-1)$ Schliesser, mithin 14 bei 4; 10 bei 3 und 6 bei 2 Nervenabschnitten zu Hülfe ziehen. Will man eine Nervenstrecke ansprechen, so schliesst man nur die beiden Schliesser des zu ihr gehörenden Stromwenders. Zwei benachbarte Nervenabschnitte fordern, dass der Schliesser des zuleitenden Drahtes des Stromwenders des ersten, und der des ableitenden Drahtes der zweiten Nervenstrecke und der Zwischenschliesser zwischen den beiden Stromwendern geschlossen werden. Man kann aber auch die beiden, einem jeden Stromwender beigegebenen Schliesser ohne den Zwischenschliesser schliessen. Dieses doppelte Verfahren lässt sich auch auf die gleichzeitigen drei- oder vierfachen Erregungen übertragen.

Soll man mit Kettenströmen tetanisiren, so treibt man das Hammerwerk des hämmernden Stromwenders¹⁾ mit drei grossen, mit verdünnter Schwefelsäure geladenen Zink-Kohlenelementen. Ein eingeschalteter Schliesser macht es möglich, den Hammer erst in dem passenden Augenblicke in Thätigkeit zu setzen. Die Batterie, welche die Nervenstücke erregen soll, kann von beliebiger Stärke sein und ihr Strom als Haupt- oder als Nebenstrom durch die thierischen Theile geleitet werden. Man nimmt sie am Besten schwach oder schaltet sonst den Rheostaten ein, der keine zu starke Ströme durch die Nebenschliessung des organischen Theils gehen lässt, wenn der Hauptkreis einen geringeren Widerstand darbietet. Berühren die auf- und niedergehenden Schliessungsblätter die oberen und die unteren Platinspitzen abwechselnd, so werden die thierischen Theile von entgegengesetzt gerichteten hydro-electrischen Wechselströmen durchflossen. Hat man ein Papierblatt eingeschaltet, so tetanisirt man mit einseitig verlaufenden Strömen, die man ab- oder aufsteigend durchleiten kann.

Will man einfache Inductionsschläge benutzen, so bringt

1) Zeitschrift für Biologie. Bd. XI. S. 295.

man den Anker des Hammers in bleibende Berührung mit den Eisenkernen durch die Stellschraube oder man schraubt sie so weit empor, dass sie die Hammerfeder nicht mehr erreicht. Ein Draht hingegen verbindet in diesem Falle die eine Polsäule mit dem Anfange der inducirenden Rolle. Der inducirende Kreis aber wird erst durch einen eingeschalteten Schliesser oder vermöge des Durchtrittes des Eisenstiftes durch den Quecksilbertropfen oder durch die Anschlagsvorrichtung geschlossen. Die inducirte Rolle verbindet sich mit dem Kreise, welcher die thierischen Theile enthält. Der Oeffnungsschlag folgt unmittelbar auf den Schliessungsschlag, wenn man sich der Anschlagsvorrichtung bedient. Beide können hingegen durch eine merkliche Zwischenzeit bei den zwei anderen Schliessungsarten getrennt werden.

Die Tetanisation mit Inductionsströmen fordert keine weitere Aenderung, als dass man den Hammer so einstellt, dass er in Thätigkeit kommt, so wie man den im inducirenden Kreise befindlichen Schliesser geschlossen hat oder der Eisenstift den Quecksilbertropfen durchschneidet. Bedient man sich dabei des Abblendungs-Magnetelectromotors, so kann man Wechselströme, blosse Schliessungs- oder blosse Oeffnungsströme nach Belieben anwenden.

Gebraucht man auch einen nahezu beständigen Strom, welchen die mit verdünnter Schwefelsäure geladenen Zink-Kohlenelemente mindestens eben so gut, als die sogenannten beständigen Batterien mit Schwefelsäure oder mit dieser und Salpetersäure liefern, so muss man doch noch dafür sorgen, dass die Abgleichungsgeschwindigkeiten möglichst übereinstimmend in den verschiedenen Versuchen ausfallen. Man lässt daher immer das Uhrwerk so lange gehen, bis es seine gleichmässige Geschwindigkeit erreicht hat und sorgt dafür, dass der Quecksilbertropfen von jeder Staubbedeckung befreit ist.

Die Leitungswiderstände vergrössern sich mit der Zahl der gleichzeitig gereizten Nervenstrecken. Gäbe also z. B. eine einfache oder eine zweifache Reizung eine grössere Hubhöhe, als eine drei- oder vierfache, so könnte die günstigere Wirkung in dem ersteren Falle von der grösseren Stärke des erregenden Stromes herrühren. Man muss daher die Leitungswiderstände für alle Zahlen der erregten Nervenstrecken gleich zu machen suchen.

1) Zeitschrift für Biologie von Pettenkofer und Voit. Bd. XI. München 1875. S. 295.

Der Versuch, einen so grossen Leitungs-Widerstand in den Kreis einzuschalten, dass ihm gegenüber der Unterschied des Leitungswiderstandes der Nervenstrecken vernachlässigt werden könnte, stösst auf Schwierigkeiten. Nicht nur eine Säule absoluten Weingeistes von 10 Centimeter Länge und $3\frac{1}{2}$ Millimeter Durchmesser des kreisförmigen Querschnittes, sondern auch eine solche von Wasser, die 24 Centimeter lang war und denselben Querschnitt hatte, machte die stärksten Schläge des hämmernden Magnetelectromotors wirkungslos, wenn dieser auch von einer Batterie von sechs grossen Zink-Kohlenelementen getrieben wurde, die mit verdünnter Schwefelsäure geladen waren. Die Einschaltung einer halb so langen Wassersäule führte zwar zu Muskelverkürzungen. Man durfte aber dann kaum mehr voraussetzen, dass der Widerstand der einzelnen Nervenstrecken verhältnissmässig unbedeutend ausfiel und daher einflusslos blieb.

Ein anderes Mittel bewährte sich ebenfalls nicht. Die Nervenstücke wurden dem Hauptkreise einverleibt, so dass also der Rheostat hinwegfiel. Man machte aber den inneren Widerstand des erregenden Elementes so gross, dass ihm gegenüber der Leitungswiderstand der Nervenstücke nicht mehr in Betracht kam. Ich füllte ein kleines Zink-Kohlenelement mit Weingeist von 0,85 sp. G. und setzte eine überschüssige Menge von Kochsalz hinzu. Gab dasselbe Element, mit einer starken Salzlösung geladen, einen Ausschlag von 90° an einer mit 32 Windungen versehenen Boussole, so erzeugten die geringeren electromotorischen Kräfte und der grössere innere Widerstand jener Füllung nur eine Ablenkung von 5° . Man kann es dazu bringen, dass reizbare Froschpräparate antworten. Allein die Erfolge fehlen bei dem Sinken der Empfänglichkeit.

Das beste Mittel, das sich ebenso gut bei dem Gebrauche von Ketten-, wie bei dem von Inductionsströmen anwenden lässt, besteht in der Einschaltung einer ergänzenden Anzahl fremder Nervenstrecken. Der die thierischen Theile erregende Kreis erhält noch drei Schliesser, die mit ihm und wechselseitig unter einander durch Drähte verbunden sind. Ein jeder Schliesser entlässt aber noch je einen Draht von jeder seiner beiden Messingsäulen. Die zwei Drähte gehen zu den zwei Enden eines Paares von Einstichsnadeln, deren Spitzen ungefähr drei Millimeter wechselseitig abstehen. Ich nehme dann einen Frosch oder eine Kröte von nahezu derselben Grösse, wie das Thier, dessen Wadenmuskel die Curven

aufzeichnen soll, tödtete es in derselben Weise wie dieses, und steche die drei Nadeln in das Hüftgeflecht, wie in dem zu dem Versuche dienenden Thiere ein. Man kann auch im Nothfalle ein Hüftgeflechtpräparat aus der nicht gebrauchten Hälfte des Letzteren benutzen, schneidet es jedoch von dem Körper los und befestigt es an einem entfernten Orte. Will ich alle vier Nervenstrecken reizen, so lasse ich die drei Schliesser des Nebenpräparates geschlossen, so dass hier ein rein metallischer Weg, also eine Bahn von verschwindend kleinem Widerstande hergestellt wird. Errege ich drei Nervenstrecken des Prüfungspräparates, so öffne ich einen, bei der Ansprache von zwei Nervenabschnitten zwei und bei der von drei alle drei Schliesser des Nebenpräparates. Der Strom geht auf diese Weise immer im Ganzen durch vier Nervenstrecken. Die Leitungswiderstände bieten also dann keinen wesentlichen Unterschied in den einzelnen Versuchen dar. Man kann zugleich hierbei den Einfluss von diesen prüfen, indem man z. B. zuerst eine einfache Reizung mit geschlossenen Schliessern einleitet und sie dann nach Oeffnung eines, zwei und aller drei Schliesser wiederholt.

Fig. II wird einen Begriff geben, wie sich die Tafeln der Muskelcurven, aus welchen die in dieser Abhandlung mitgetheilten Folgerungen gezogen wurden, herstellten. Die Abbildung bezieht sich auf die Wirkungen einfacher Inductionsschläge. Die rechts hinzugeschriebenen Buchstaben s.p.m.p.i.p.u.p.; i.p.u.p.; m.p.i.p. u. s. f. zeigen nach der schon im Anfange dieses Aufsatzes gegebenen Erläuterung an, wie viele und welche Nervenabschnitte gereizt wurden und in welcher Richtung der erregende Strom dahinging. s ist die Curve, welche durch den einfachen Schliessungs- und o diejenige, welche durch den zugehörigen Oeffnungsschlag erzeugt wurde. Ich habe links die Zahl der Minuten, die seit der Zerstörung des centralen Nervensystemes verflossen waren, angegeben.

3. Vergleichung der drei- und der vierfachen Nervenenerregungen mit den zwei- und den einfachen.

1) Hat man auch alle äusseren Verhältnisse möglichst gleich gemacht, so ereignet es sich doch häufig, dass eine einzige Reizung hinreicht, den Stimmungszustand einer Nerven-

strecke oder einer Anzahl derselben wesentlich zu ändern, weil die Thätigkeit selbst und die Electrolyse des Stromes eine andere Molecularanordnung als früher hinterlassen. Man sieht dieses sowohl bei den einzelnen Erregungen, als bei den Interferenzen mehrerer am Deutlichsten, wenn man Ströme gebraucht, welche der Grenze der Wirkungslosigkeit nahe stehen. Ein erster Versuch giebt dann eine starke Zusammenziehung. Ein zweiter lässt Alles in Ruhe. Man erhält erst von Neuem Verkürzungen, wenn man den erregenden Strom unmittelbar verstärkt oder einen grösseren Widerstand in den Hauptstrom einschaltet, damit der die Nervenstücke enthaltende Nebenstrom auf diese Weise gewinne. Ich werde an einem anderen Orte näher zu erläutern Gelegenheit haben, wie der Durchgang des Stromes durch eine Nervenstrecke die Empfindlichkeit längerer, oberer und unterer Nervenstücke für eine gewisse Zeitdauer bleibend erhöhen oder erniedrigen kann.

2) Arbeitet man an frischen, lebenskräftigen Nerven, so genügt oft eine geringe Verstärkung des erregenden Ketten- oder Inductionsstromes, die kräftigsten Zusammenziehungen in einer Reihe wiederholter Versuche hervorzurufen, mithin die schädlichen Folgen der Abnutzung und der Electrolyse unmerklich zu machen. Hat man den Rheostaten in den Hauptstrom eingeschaltet, so reicht hierfür oft die Einführung eines grösseren Widerstandes von wenigen Siemens'schen Einheiten hin. Eine geringe Annäherung der inducirten Rolle des Magnetelectromotors an die inducirende leistet dasselbe für Inductionsströme. Der blosse Gebrauch von Schliessungsströmen fordert eine grössere Verstärkung, als der von Oeffnungsströmen. Alle diese Aenderungen müssen aber um so bedeutender ausfallen, je mehr die Reizempfindlichkeit der Nerven gesunken ist.

3) Die Richtung des electricischen Stromes bildet kein ausschliessliches Bedingungsglied des Erfolges der electricischen Reizung. Auf- und absteigende Ströme erzeugen im Allgemeinen um so häufiger die gleichen Muskelcurven nach der Ansprache einer oder mehrerer Nervenstrecken, je lebenskräftiger die Nerven, je stärker die Reizung und je geringer die durch sie bewirkte Erschöpfung ist. Obgleich beide Stromesarten in entgegengesetzter Weise auf die Galvanometernadel wirken, so läuft doch auch eine Molecularveränderung von der Erregungsstelle

zu den Nervenenden, nicht blos bei ab-, sondern auch bei aufsteigendem Strome ab.

Der wesentliche Unterschied, der schon zwischen den Antworten der Galvanometernadel und denen des Muskels bei der gleichzeitigen Erregung zweier Nervenstrecken eintreten kann¹⁾, wiederholt sich nicht selten für die Interferenzen von drei oder vier Nervenabschnitten. Die Galvanometernadel bleibt ruhig, wenn s.p.i.c. oder s.c.i.p. auf zwei Nervenstücke wirken. Wir haben aber schon bei den zweifachen Interferenzen gesehen, dass jeder dieser beiden Fälle oder nur einer, starke Verkürzungen hervorrufen kann. Die Galvanometernadel verlässt nicht den Nullpunkt, wenn z. B. die dreifachen Stromverbindungen s.c.m.p.i.p.; s.c.m.p.i.c.; s.p.m.c.i.c. oder s.c.m.p.i.p. hindurchgehen. Jedes irgend kräftige Froschpräparat beantwortet aber alle diese Fälle mit starken Zusammenziehungen. Der gleiche Gegensatz wiederholt sich bei den vierfachen Erregungen, z. B. für s.c.m.p.i.c.u.p.; s.p.m.c.i.p.u.c. u. s. w.

Ich habe schon an einem anderen Orte den Versuch mitgeteilt, der den Unterschied der Wirkungen auf das Galvanometer und die Nerven unmittelbar anschaulich macht. Man verbindet den Querschnitt und die Längsfläche des oberen Abschnittes des Nerven mit dem Galvanometer, so dass die Nadel desselben den ruhenden Nervenstrom und den Electrotonus anzeigt. Reizt man eine Nervenstrecke mit einem electrischen Strome, so giebt der Einbruch desselben eine negative Schwankung und eine Schliessungszuckung, und dann einen electrotonischen Ausschlag. Der Austritt desselben hingegen lässt die Magnetnadel zurückgehen, weil der Electrotonus aufhört, während der nach dem Zuckungsgesetze des lebenden Nerven thätige Nerv den Muskel zu keiner Verkürzung anregt. Dasselbe Versuchsverfahren lässt sich auf mehrfache Erregungen und zwar am Besten bei der gleichen, die einzelnen Nervenstrecken durchsetzenden Stromesrichtung anwenden.

4) Der gegebene Stimmungszustand des Nerven, mithin die Molecularbeschaffenheit desselben entscheidet über die Leistungen der mehrfachen, wie über die der einfachen Erregungen in durchgreifendster Weise. Man findet häufig, dass frisch eingefangene

1) Dieses Archiv Bd. VII. S. 474.

Frösche eine grössere Reihe von Reizungen an kühlen Regentagen besser, als bei heissem Sommerwetter ertragen. Es giebt Thiere der Art, welche aufsteigende Ströme kräftiger, als absteigende beantworten und andere, die das Umgekehrte darbieten. Solche Eigenthümlichkeiten können sich aber nach wiederholten Reizungen wiederum verlieren. Hat die Zerstörung des Rückenmarkes heftige Wechselkrämpfe erzeugt, so pflegt hierdurch die Reizempfindlichkeit wesentlich zu leiden. Stärkere Ströme erzeugen dann nicht bloss Schliessungszuckungen, sondern noch später fortdauernde Zusammenziehungen, deren Unruhe sich durch Ab- und Niedergänge der Muskelcurve verrathen.

5) Der Gebrauch der inducirten Wechselströme führt zu unreinen Versuchen, weil hier die raschere Abgleichung der Oeffnungsströme physiologisch stärker wirkt, als die langsamere der Schliessungsströme. Dagegen gestattet die Tetanisation durch Kettenströme mittelst des hämmernden Stromwenders befriedigendere Prüfungen der durch die Reizung bewirkten Stimmungsänderung der verschiedenen Nervenabschnitte.

Man stellt ihn so ein, dass die Nadel des in dem Kreise befindlichen Galvanometers den Nullpunkt während des Hämmerns nicht verlässt. Nun werden die den Nervenstrecken beigestellten Stromwender geschlossen, so dass die Erregung s.p.m.p.i.p.u.p. gibt, wenn die Schliessungsblätter des hämmernden Commutators die unteren Stellschrauben und daher s.c.m.c.i.c.u.c., wenn sie die oberen Stellschrauben berühren. Die erstere Erregungsart tritt also bei der ersten, dritten oder überhaupt einer ungeraden Ordnungszahl der Reizung auf, und die zweite bei jeder geraden. Hat man auf diese Weise 2 bis $2\frac{1}{2}$ Secunden lang tetanisirt und die Muskelcurve aufschreiben lassen, so bringt man die den Nervenabschnitten zugesellten Stromwender in die entgegengesetzte Stellung, so dass jetzt die ungeraden Ordnungszahlen s.c.m.c.i.c.u.c. und die geraden s.p.m.p.i.p.u.p. geben. Obgleich nun alles, mit Ausnahme der allerersten Erregung, wie früher ist, obgleich sich die Erregungen nur um eine einzige Stelle verschoben haben, so zeigt doch fast immer die Muskelcurve eine andere (nicht gerade immer kleinere) grösste Hubhöhe und bisweilen selbst andere Gestalten.

6) Zwei, drei oder vier Nervenstrecken, von denen jede allein den electrischen Strom nicht beantwortet, geben häufig eine starke Zusammenziehung, wenn sie,

zu mehreren verbunden, auf dieselbe Weise gereizt werden. Sind z. B. s.p.; m.p.; i.p.; s.p.m.p.; s.p.i.p.; m.p.i.p. erfolglos geblieben, so kann s.p.m.p.i.p. eine starke Zusammenziehung erzeugen, wenn man selbst keine Ausgleichung der Leitungswiderstände vorgenommen hat, zum Beweise, dass sich die grössere Leistung mit dem grösseren Widerstande zu verbinden im Stande ist, dieser also dann nicht allein das Maassgebende bildet.

7) Man stellt die reinsten Versuche an solchen Präparaten an, die stundenlang nach dem Zuckungsgesetze des lebenden Nerven antworten, d. h. nur Schliessungszuckungen bei allen Verbindungsarten der einzelnen Nervenstrecken geben. Da ich Fälle beobachtete, in denen grosse kräftige Frösche dieser Norm immer noch gehorchten, wenn der erregende Strom von 100 zu 20 einzelnen Elementen verbundenen grossen Zink- und Kohlenplatten, die mit verdünnter Schwefelsäure geladen waren, oder von 8 grossen mit Schwefel- und Salpetersäure versehenen Bunsen'schen Elementen herrührte, so folgt, dass nicht die Stärke des Stromes an und für sich, sondern die Aenderung der Beschaffenheit des Nerveninhaltes, den er erzeugt, die dann oft auftretende Oeffnungszuckung erzeugt. Es erklärt sich hieraus, weshalb diese einen ganz anderen Gang der Veränderung darbietet, wie die Schliessungszuckung. Ein Zahlenbeispiel möge das Nähere erläutern.

Der erregende Strom ging von zwei Zink-Kohlenelementen aus, die mit einer Mischung von Kochsalz- und Alaunlösung geladen waren. Der Rheostat, durch welchen der Hauptstrom trat, war auf einen Widerstand von 5 Siemens'schen Einheiten eingestellt, so dass kein sehr starker Strom den Nebenkreis, welcher die Nervestücke einschloss, durchsetzte. Ich habe immer die in doppelter Vergrösserung aufgezeichneten Muskelcurven mit einer in halbe Millimeter getheilten Glasplatte ausgemessen. Man konnte daher noch $\frac{1}{20}$ Millimeter mit befriedigender Sicherheit schätzen. Dieses ist der Grund, weshalb ich die Werthe bis zu dieser Grenze angebe, obgleich sie unter der Zuverlässigkeit der Beobachtungen liegt und noch Ungenauigkeiten von mehreren Millimetern, die aber natürlich nicht vorhanden waren, die Beweiskraft des Beispiels nicht beeinträchtigen würden.

Versuchs- Nummer.	Seit der Zerstörung des centralen Ner- vensystemes ver- flossene Zeit in Minuten.	Erregte Nerven- strecke und Stro- mesrichtung.	Doppelte grösste Hubhöhe in halben Millimetern.	
			Schliessungs- Zuckung.	Oeffnungs- Zuckung.
1	35	s.p.	35,6	29,8
2	36	s.p.m.p.	82,0	73,0
3	37	m.p.	63,5	69,0
4	38	s.p.m.p.i.p.	78,0	0
5	39	s.p.	39,5	54,2
6	40	m.p.	63,0	72,0
7	41	i.p.	99,2	65,2
8	43	s.p.m.p.i.p.u.p.	70,0	59,5
9	44	i.p.	80,0	65,0
10	45	m.p.	89,0	86,0
11	46	s.p.	64,5	79,4
12	47	s.p.m.p.i.p.u.p.	3,0	69,5
13	48	u.p.	0	0
14	49	u.p.i.p.	53,8	55,0
15	58	s.c.m.c.i.c.	0	94,0

Wir können diese Tabelle sogleich benutzen, um einen Hauptsatz durch Zahlenbeispiele zu erläutern.

8) Arbeitet man mit ganz frischen, kräftigen und sehr reizempfindlichen Nerven, so findet man als Regel, dass die Hinzufügung neuer gleichartig oder oft auch ungleichartig gereizter Nervenstrecken die grösste Hubhöhe der Muskelcurven bedeutend wachsen lässt (No. 1 und 2 oder No. 3 und 4). Hat man aber die Nervenmasse durch die öftere Wiederholung der Erregungen verändert oder nimmt man die Versuche zu einer Zeit vor, in welcher die Empfänglichkeit schon bedeutend gesunken ist, so stösst man oft genug auf das Gegentheil. Die einfache oder die weniger vielfache Erregung wirkt dann stärker, als die Ansprache einer grösseren Menge von Nervenabschnitten (No. 6 bis 12). Diese Erscheinung kam mir auch häufig in den ganz frischen Nerven der Kröten vor. Es kann sich dann auch die Uebergangsform zeigen, dass die Vermehrung der Anzahl derselben die Hubhöhe weder zu- noch abnehmen lässt. Ein Beispiel möge dieses wiederum in Zahlen deutlich machen, und zugleich zeigen, welche Schwankungen dabei aus den fortwährend sich ändernden Stimmungszuständen des Nerven später hervorgehen können.

Regten die Ströme zweier grossen, mit Kochsalz- und Alaunlösung versehenen Zink-Kohlenelemente das Hüftgeflecht eines grossen

Frosches 95 bis 140 Minuten nach der Zerstörung des centralen Nervensystemes an, so fand sich:

Versuchs- Nummer.	Erregte Nervenstrecken und Stromes- richtungen.	Doppelte grösste Hubhöhe in halben Millimetern.
16	u.c.	35,8
17	u.c.i.c.	36,2
18	u.c.i.c.m.c.	39,4
19	u.c.i.c.m.c.s.c.	42,0
20	u.c.i.c.m.c.	63,2
21	u.c.i.c.	62,0
22	u.c.	23,2
23	i.c.	0
24	u.c.i.c.	44,6 Oeffng. 25,8
25	u.p.	28,8
26	u.p.i.c.	56,0
27	u.p.i.c.m.p.	46,0
28	m.p.	0
29	s.c.m.p.	0
30	s.c.m.p.i.c.u.p.	41,6
31	s.p.m.p.i.p.u.c.	42,0
32	m.c.i.p.u.c.	29,2
33	i.p=s.p=s.c.m.p=i.c=m.c=s.p.m.p.i.p=	0
34	u.p.	58,0
35	u.p.i.p.	0
36	u.p.i.p.bis.	4,2
37	u.p.i.c.	3,8
38	u.p.i.p.	39,8
39	i.p.u.c.	22,0
40	u.p.	0,8
41	u.p.bis.	19,8
42	u.p.ter.	68,6
43	u.p.i.c.	50,0
44	u.p.i.c.m.p.	39,5
45	u.p.i.c.m.p.s.p.	40,0
46	i.p.m.p.s.p.	9,0
47	i.p=m.p=s.p.=i.p.m.p=	0
48	i.p.m.p.bis.	1,0
49	i.p.m.p.ter.	1,6
50	i.p.m.p.s.p.	5,8
51	i.p.m.p.s.p.bis.	3,2
52	i.p.m.p.s.c=i.p.m.c.s.p.=i.c.m.p.s.p.=s.c.m. c.i.c.=i.p.m.p.=s.p.m.p.=	0

Fig. III kann uns das Gleiche durch den unmittelbaren Anblick der Muskelcurven anschaulich machen. Die Verkürzungen wurden hier durch die Tetanisation des Hüftgeflechtes mit dem hämmernden Stromwender 150 bis 156 Minuten nach der Zerstörung des centralen Nervensystemes erzeugt. Ein eingeschobenes Papier hinderte die Berührung der Schliessungsblätter mit den unteren Stellschrauben. Man arbeitete also mit gleichgerichteten Kettenströmen. Diese Art

von Tetanisation erschöpft die Nervenkräfte weniger, als der mit den Inductionsströmen des Magnetelectromotors.

Gehen wir, den Reizungszeiten entsprechend, von unten nach oben, so sehen wir wie die Leistungen mit der Abnahme der Anzahl der erregten Nervenstrecken steigen, also $s.c.m.c.i.c.u.c. < s.c.m.c.i. < s.c.m.c. \leq s.c.$ war und hierauf die vierfache Erregung eine nur sehr unbedeutende, die dreifache eine stärkere und die einfache die nachdrücklichste Zusammenziehung gab. Die kräftigeren Verkürzungen pflegen auch eine stärkere Asymptose zu liefern.

9) Zeigt sich eine dazwischen liegende Nervenstelle wirkungsloser, so setzt auch oft ihre Einschaltung die Summe der Leistungen der benachbarten Nervenabschnitte herab. No. 26. 27. 28. z. B. erhärten dieses in Zahlenwerthen.

10) Hat man auch den günstigsten, an ganz frischen kräftigen Nerven vorkommenden Fall, dass die Leistungen mit der Zahl der erregten Nervenstrecken wachsen, so ist doch die grösste Hubhöhe der vielfachen Erregungen kleiner als die Summe der Hubhöhen der entsprechenden einzelnen Reizungen. s.p.m.p. in No. 2 z. B. gab 82,0, während die einzelnen entsprechenden Prüfungen (No. 1 und 3) $35,6 + 63,5 = 99,1$ lieferten. s.p.m.p.i.p. in No. 4 hatte 78,0. Die Summe der Leistung der drei gesonderten Nervenstrecken dagegen war $39,5 + 63,0 + 99,2 = 201,7$.

11) Das Gesetz der Voltaischen Alternative, welches sich für eine längere Durchgangszeit der Kettenströme durch eine einfache Nervenstrecke in den meisten Fällen bestätigt, fordert, dass die anhaltend hindurchtretende Stromesrichtung die Empfänglichkeit für diese Richtung herabsetzt und für die entgegengesetzte erhöht. Es kommt dagegen bei diesen Interferenzversuchen, in denen die Kette kürzere Zeit geschlossen bleibt, häufig vor, dass sich die Wirkung durch Wiederholung nicht nur der entgegengesetzten, sondern auch derselben Erregungsweise erhöht. u.p. zeigte z. B. in No. 40 das erste Mal 0,8; das zweite Mal 19,8 und das dritte Mal 68,6. Man findet bisweilen, dass eine oder mehrere Nervenstrecken, die das erste Mal nicht antworten, durch diese oder noch eine zweite Reizung aufgerüttelt werden und dann mehr oder minder kräftig wirken.

12) Die Einschaltung einer Interferenz, in der ein oder mehrere Nervenabschnitte von einer entgegengesetzten Stromesrichtung durchflossen werden, kann eine Stimmung hinterlassen, vermöge deren

die frühere Interferenz wesentlich nachdrücklicher eingreift. Betrachten wir z. B. No. 35 bis 38, so gab u.p.i.p. das erste Mal Nichts und das zweite Mal 4,2. Ein eingeschaltetes u.p.i.c. lieferte nur 3,8, ein darauf folgendes u.p.i.p. 39,8. Die durch solche entgegengesetzte Stromesrichtungen erzeugten Stimmungen schwinden nach einiger, zwar oft nach einer sehr kurzen Zeit.

13) Die hemmenden Wirkungen, denen man häufig in diesen Interferenzversuchen in nicht mehr ganz lebenskräftigen Nerven begegnet, sind zum Theil noch belehrender. Eine eingeschaltete Nervenstrecke kann dann nicht bloß die Leistungen eines höher, sondern auch die eines tiefer gelegenen Abschnittes beeinträchtigen, so dass sich auch hier eine Wirkung nach beiden Seiten, wie bei der Fortpflanzung der Erregung und den Aenderungen der electromotorischen Eigenschaften verräth. Einflüsse der Art führen oft geringere Verkürzungen herbei oder heben sie gänzlich auf. Ein Frosch z. B. gab 106 bis 166 Minuten nach der Zerstörung des centralen Nervensystemes der Reihe nach:

Versuchs- Nummer.	Erregte Nervenstrecken und Stromes- richtung.	Doppelte grösste Hubhöhe in halben Millimetern.
53	u.p.	70,0
54	i.p. = m.p. = u.p.i.p. = u.p.m.p.i.p. =	0
55	u.p.	71,0

No. 55 zeigt, dass die Leistungsfähigkeit des untersten Nervenbezirktes in der früheren gleichen Stärke vorhanden und nur durch den Einfluss der gleichzeitig erregten oberen Nervenstrecken für den Augenblick in No. 54 zurückgedrängt wurde. Man bemerkt Fälle der Art sehr häufig längere Zeit nach dem Tode und zwar mit den mannigfachsten Verschiedenheiten. Es ereignet sich dabei oft genug, dass die Einschaltung einer oder zweier mittlerer Stellen alle Zusammenziehungen unterdrückt, wenn diese auch noch durch die oberste oder die unterste allein, oder durch beide gemeinschaftlich zu Stande kommt.

Die wiederholte Erregung kann den herabsetzenden Einfluss einer Nervenstrecke je nach Verschiedenheit der Nebenbedingungen erhöhen oder verkleinern. Der unterste Nervenbezirk pflegt seine Einflüsse am längsten beizubehalten. Wirkt er aber auch noch

äusserst kräftig, so ereignet es sich nicht selten, dass der beigesellte oberste Abschnitt, dessen alleinige Reizung keinen sichtlichen Erfolg mehr die längste Zeit nach sich zog, die Wirkung von jenem zuerst vermindert und dann gänzlich aufhebt. Eine der mittleren Stellen dagegen wirkt erst in der gleichen Weise, nachdem sie in gleicher Art erschöpft worden. Der Fall, dass die wiederholte Reizung den hemmenden Einfluss herabsetzt, kommt nur ausnahmsweise und bloss für kurze Zeiten vor.

Alle diese Hemmungserscheinungen können bei jeder der beiden Stromesrichtungen und bei beliebiger Verbindung derselben in den einzelnen Nervenstrecken auftreten.

14) Die Interferenzversuche bestätigen von Neuem den schon aus den Erfolgen der einfachen Reizungen herzuleitenden Satz, dass die Leitung der Nervenregungen einen geringeren Kraftaufwand, als die Verkürzungswirkung derselben fordert. Man sieht z. B. häufig, dass nur die Ansprache der obersten oder dieser und der nächsten Nervenstrecke Zusammenziehungen hervorruft. Die beiden untersten haben also nur noch die Leitungsfähigkeit beibehalten. Es kommt oft genug vor, dass der Verkürzungseinfluss noch für eine Stromesrichtung besteht, für die entgegengesetzte aber vernichtet ist.

15) Die ersten Antworten, welche die noch nicht misshandelten, lebenskräftigen Nerven geben, hängen von den Verhältnissen, in denen die Thiere früher lebten, also von ihren Ernährungszuständen wesentlich ab. Eine ganze Gruppe frisch eingefangener Frösche pflegt zu gewissen Jahreszeiten dieselbe eigenthümliche Wirkung für bestimmte Interferenzarten zu liefern. Sie geben z. B. gar keine oder nur schwache Zusammenziehungen für s.p.i.c. und möglichst starke für s.c.i.p. Man kann dann viele Reihen von Fröschen von anderen Standorten oder zu anderen Zeiten untersuchen, ohne dass ein einziger diese Wirkung zeigt. Kröten pflegen die ersten Erregungen träger, als die späteren zu beantworten. Es giebt Froschreihen, welche vierfache und dreifache ungleichartige Reizungen nicht bloss kräftiger, sondern auch unruhiger erwidern, als zweifache, so dass einzelne Auf- und Niedergänge in den Muskelcurven, besonders bei der Tetanisation zum Vorschein kommen, Oeffnungszuckungen leichter auftreten oder die Zusammenziehung nicht unmittelbar nach dem Kettenschlusse aufhört. Die durch Fig. I er-

läuterten Nebenströme der Zwischenstrecken scheinen dabei einen wesentlichen Einfluss ausüben zu können.

16) Hat man das Hammerwerk des Magnetelectromotors gesperrt und lässt den inducirenden Kreis dadurch schliessen, dass der Eisenstift durch den Quecksilbertropfen geht, so dauert die Zeit des Geschlosseneins der Kette lange genug, dass sich die Muskelcurve des Schliessungs- und die des Oeffnungsinductionsschlages gesondert aufzeichnet, wenn beide nachdrücklich genug wirken. Man kann aber diese Curven nicht dazu benutzen, um die Empfänglichkeit einer Nervenstrecke für eine der beiden entgegengesetzten Stromesrichtungen zu ermitteln, weil der Oeffnungsstrom nicht blos dem Schliessungsstrom entgegengesetzt verläuft, sondern auch kräftiger seiner grösseren Abgleichungsgeschwindigkeit wegen wirkt. Jener, der immer früher eingreift, ändert auch oft die Nervenstimmung in sichtlichem Maasse.

17) Fügt man eine dritte Nervenstrecke den beiden vorher mit Inductionsschlägen geprüften Nervenabtheilungen hinzu, so kann man auf dreierlei Arten von Erfolgen stossen. Die Wirkung wird allgemein erhöht oder erniedrigt oder sie wechselt mit der Verschiedenheit der Stromesrichtungen. Wir wollen dieses durch drei Beispiele näher erläutern.

1) Allgemeine Erhöhung der Wirkung durch die Vervielfältigung der Erregung.

Eine grosse Kröte gab z. B.:

Versuchs- Nummer.	Schliessungsinductionsstrom.		Darauf folgender Oeffnungs- inductionsstrom.	
	Nervenstrecken und Stromes- richtungen.	Grösste dop- pelte Hubhöhe in halben Millm.	Nervenstrecken und Stromes- richtungen.	Grösste dop- pelte Hubhöhe in halben Millm.
56	s.c.i.p.	4,0	s.p.i.c.	13,8
57	s.c.i.p.m.c.	4,3	s.p.i.c.m.p.	18,5
58	s.c.i.p.m.p.	10,0	s.p.i.c.m.c.	20,0
59	s.c.i.p.	9,8	s.c.i.p.	18,8

Die dreifachen Erregungen hatten hier zugleich für die zweifachen empfänglicher gemacht.

2) Allgemeine Erniedrigung der Wirkung durch die Vervielfältigung der Erregung.

Ein mittelgrosser Frosch lieferte:

Versuchs- Nummer.	Schliessungsinductionsstrom.		Darauf folgender Oeffnungs- inductionsstrom.	
	Nervenstrecken und Stromes- richtungen.	Grösste dop- pelte Hubhöhe in halben Millm.	Nervenstrecken und Stromes- richtungen.	Grösste dop- pelte Hubhöhe in halben Millm.
60	s.c.i.p.	28,5	s.p.i.c.	26,0
61	s.c.i.p.m.p.	0	s.p.i.c.m.c.	0
62	s.c.i.p.m.c.	0	s.p.i.c.m.p.	0
63	s.c.i.p.	26,0	s.p.i.c.	26,0

3) Ungleiche Wirkung der Vervielfältigung der Erregung je nach Verschiedenheit der Stromesrichtung.

Die unter 1 erwähnte Kröte zeigte etwas weniger, als zwei Stunden nach der Zerstörung des centralen Nervensystemes:

Versuchs- Nummer.	Schliessungsinductionsstrom.		Darauf folgender Oeffnungs- inductionsstrom.	
	Nervenstrecken und Stromes- richtungen.	Grösste dop- pelte Hubhöhe in halben Millm.	Nervenstrecken und Stromes- richtungen.	Grösste dop- pelte Hubhöhe in halben Millm.
64	m.c.i.p.	8,3	m.p.i.c.	9,2
65	m.c.i.p.s.c.	2,8	m.p.i.c.s.p.	9,8
66	m.c.i.p.s.p.	21,2	m.p.i.c.s.c.	9,2
67	m.c.i.p.	7,4	m.p.i.c.	7,0

Der kräftiger wirkende Oeffnungsstrom liess sich hier durch die Hinzufügung einer dritten Nervenstrecke weniger beeinflussen, als der Schliessungsstrom.

18) Man stösst bisweilen auf Versuchsreihen, in denen sich bestimmte Normen für die Mehrzahl der Fälle nachweisen lassen. Ein Beispiel der Art möge das Nähere erläutern. Es betrifft schwache Inductionsschläge, die auf einen grossen Frosch wirkten.

Schliessungsinductionsstrom.			Darauf folgender Oeffnungsinductionsstrom.		
Vers.-Nummer.	Nervenstrecken und Stromesrichtungen.	Grösste doppelte Hubhöhe in halben Millm.	Vers.-Nummer.	Nervenstrecken und Stromesrichtungen.	Grösste doppelte Hubhöhe in halben Millm.
68	s.c.m.c.i.c.	3,5	69	s.p.m.p.i.p.	8,2
70	s.c.m.c.i.c.u.c.	0	71	s.p.m.p.i.p.u.p.	17,6
72	s.c.m.c.i.c.u.p.	1,6	73	s.p.m.p.i.p.u.c.	22,0
74	s.c.m.c.i.p.	12,5	75	s.c.m.p.i.c.	8,5
76	s.c.m.c.i.p.u.c.	14,0	77	s.p.m.p.i.c.u.p.	17,8
78	s.c.m.c.i.p.u.c.	10,0	79	s.p.m.p.i.c.u.p.	14,6
80	s.c.m.c.i.p.	16,5	81	s.p.m.p.i.c.	20,9
82	s.p.m.c.i.p.u.c.	16,0	83	s.c.m.p.i.c.u.p.	19,0
84	s.p.m.c.i.p.u.p.	15,0	85	s.c.m.p.i.c.u.c.	17,8
86	s.p.m.p.i.c.	4,0	87	s.c.m.c.i.p.	8,5
88	s.p.m.p.i.c.u.c.	3,5	89	s.c.m.c.i.p.u.p.	12,8
90	s.p.m.p.i.c.u.p.	1,1	91	s.c.m.c.i.p.u.c.	20,0
92	s.c.	0	93	s.p.	28,0
94	s.p.	7,0	95	s.c.	35,0
96	m.c.	6,8	97	m.p.	13,2
98	m.p.	13,0	99	m.c.	3,8
100	i.c.	6,0	101	i.p.	16,0
102	i.p.	12,0	103	i.c.	5,0
104	u.c.	14,0	105	u.p.	16,0
106	u.p.	16,0	107	u.c.	13,0
108	m.c.i.c.u.c.	0	109	m.p.i.p.u.p.	0
110	m.c.i.c.u.c.s.c.	0	111	m.p.i.p.u.p.s.p.	0
112	m.c.i.c.u.c.s.p.	1	113	m.p.i.p.u.p.s.c.	14,0
114	m.p.i.p.u.p.	10,5	115	m.c.i.c.u.c.	13,8
116	m.p.i.p.u.p.s.c.	6,4	117	m.c.i.c.u.c.s.p.	12,0
118	m.p.i.p.u.p.s.p.	5,6	119	m.c.i.c.u.c.s.c.	12,0
120	m.p.i.c.u.c.	7,0	121	m.c.i.p.u.p.	11,5
122	m.p.i.c.u.c.s.c.	6,5	123	m.c.i.p.u.p.s.p.	12,0
124	m.p.i.p.u.c.s.p.	0	125	m.c.i.c.u.p.s.c.	13,0
126	m.c.i.p.u.p.	8,6	127	m.p.i.c.u.c.	13,3
128	m.c.i.p.u.p.s.c.	0	129	m.p.i.c.u.c.s.p.	12,2
130	m.c.i.p.u.p.s.p.	0	131	m.p.i.c.u.c.s.c.	11,2
132	m.c.i.c.u.p.	6,0	133	m.p.i.p.u.c.	11,9
134	m.c.i.c.u.p.s.c.	1,7	135	m.p.i.p.u.c.s.p.	12,8
136	m.c.i.c.u.p.s.p.	3,5	137	m.p.i.p.u.c.s.c.	13,8
138	m.c.i.p.u.p.s.c.	6,1	139	m.p.i.c.u.c.s.p.	11,4
140	m.c.i.p.u.p.	4,2	141	m.p.i.c.u.c.	12,5
142	m.c.i.c.u.p.s.p.	4,2	143	m.p.i.p.u.c.s.c.	12,8
144	m.p.i.c.u.p.	11,0	145	m.c.i.p.u.c.	15,0
146	m.p.i.c.u.p.s.c.	5,0	147	m.c.i.p.u.c.s.p.	14,3
148	m.p.i.c.u.p.s.p.	4,1	149	m.c.i.p.u.c.s.c.	11,6
150	m.p.i.c.u.p.	10,5	151	m.c.i.p.u.c.	15,5
152	m.p.i.p.u.c.	6,0	153	m.c.i.c.u.p.	9,2
154	m.p.i.p.u.c.s.c.	1,7	155	m.c.i.c.u.p.s.p.	11,0
156	m.p.i.p.u.c.s.p.	7,8	157	m.c.i.c.u.p.s.	10,0
158	m.p.i.p.u.c.	16,0	159	m.c.i.c.u.p.	0
160	s.c.	0	161	s.p.	0
162	s.p.	0	163	s.c.	7,5
164	m.c.	7,5	165	m.p.	11,0
166	m.p.	5,0	167	m.c.	11,5
168	i.p.	8,0	169	i.c.	13,0

Bezeichnen wir mit g den Fall, in welchem der hinzugefügte vierte Nervenbezirk von derselben Stromesrichtung, wie sein unmittelbarer Nachbarbezirk durchflossen wurde, und mit d denjenigen, in welchem das Entgegengesetzte stattfand, und vergleichen wir hiermit die Wirkungsänderungen, welche die Vermehrung der erregten Nervenstrecken erzeugte, so erhalten wir:

Schliessungsinductionsströme.			Darauf folgende Oeffnungsinductionsströme.		
Versuchs- Nummern.	Erhö- hung.	Erniedri- gung.	Versuchs- Nummer.	Erhö- hung.	Erniedri- gung.
68. 70. 72.	$d > g$	$g > d$	69. 71. 73.	$d > g$	$g > d$
74. 76. 78.		$g > d$	75. 77. 79.	$d > g$	
80. 82. 84.		$g > d$	81. 83. 85.	$d > g$	
86. 88. 90.		$d > g$	87. 89. 91.	$d > g$	
108. 110. 112.		$g > d$	109. 111. 113.	$d > g$	$d = g$
114. 116. 118.			115. 117. 119.		
120. 122. 124.			121. 123. 125.		
126. 128. 130.			127. 129. 131.		
132. 134. 136.		$g = d$	133. 135. 137.	$d > g$	$g > d$
138. 140. 142.		$g > d$	139. 141. 143.	$d > g$	
144. 146. 148.	d	$g > d$	145. 147. 149.		
152. 154. 156.		g	153. 155. 157.	$d > g$	

Man sieht aus dieser Tabelle, dass die Zusammenziehung meistentheils mehr vergrössert wurde, wenn die zu den dreien hinzugefügte vierte Nervenstrecke von einer Stromesrichtung durchsetzt wurde, welche der des unmittelbar benachbarten Nervenabschnittes entgegengesetzt war und dass die Gleichheit eine geringere Verkürzung zur Folge hatte. Man hatte aber keinen hinzugekommenen Zwischenstrom in dem ersteren Falle (vgl. oben S. 322).

Ist die Reizbarkeit bedeutend gesunken, so ereignet es sich nicht selten, dass eine neue Art von gleichartiger Erregung, z. B. die absteigende, mit auffallendem Nachdrucke wirkt.

19) Eine andere Prüfungsweise des Einflusses der verschiedenen Interferenzen besteht darin, dass man die schwächsten Inductionsströme aufsucht, welche eine lebhafte Zusammenziehung liefern. Da es aber, wie schon früher erwähnt, häufig vorkommt, dass ein solcher, möglichst schwacher Schlag nur das erste Mal wirkt, so suchte ich mich hier vor Täuschungen dadurch zu sichern, dass ich die geringsten Stromstärken wählte, bei denen die Wiederholung der Erregung nicht mehr wirkungslos bleibt. Ich sperrte wiederum den

Hammer des Magnetelectromotors, schaltete einen Punktschliesser in den inducirenden Kreis und liess das Uhrwerk gehen, bis die Spitze des Eisenstiftes mitten im Quecksilber stand. Die inducirte Rolle war so weit hinausgeschoben, dass der Schluss des inducirenden Kreises durch den Punktschliesser keine Zusammenziehung hervorrief. Ich näherte sie hierauf bis zu derjenigen grössten Entfernung, bei welcher Verkürzungen nicht bloss bei der ersten, sondern auch bei wiederholten Schliessungen des Punktschliessers eintraten. Ich öffnete diesen alsdann und liess das Uhrwerk gehen, bis es seine bleibende Geschwindigkeit erreicht hatte. Die abermalige Vervollständigung des inducirten Kreises lieferte die Zusammenziehung, deren Muskelcurve aufgezeichnet wurde.

Ich zog zu diesen Beobachtungen die zäheren Nerven der Kröten denen der Frösche vor. Ein Beispiel möge wiederum das Nähere anschaulich machen. Eine nicht sehr grosse Kröte gab:

Versuchs- Nummer.	Zeit nach der Zerstörung des centralen Ner- vensystems in Minuten.	Nervestrecken und Stromes- richtungen.	Grösste dop- pelte Hubhöhe in Millimetern.	Abstand des vorderen Anfan- ges der inducir- ten Rolle von der inducirenden.
170	8	s.p.	1.9	87
171	11	s.c.	4.5	105
172	14	m.p.	6.5	87
173	18	m.c.	9.5	63
174	22	i.p.	7.2	60
175	24	i.c.	5.0	63
176	28	s.p.m.p.	6.8	85
177	31	s.c.m.c.	6.0	97
178	33	s.p.m.c.	9.7	78
179	35	s.c.m.p.	8.0	92
180	38	s.p.i.p.	8.0	81
181	40	s.c.i.c.	4.0	94
182	42	s.p.i.c.	2.0	82
183	44	s.c.i.p.	6.0	91
184	46	m.p.i.p.	2.5	60
185	52	m.c.i.c.	9.7	80
186	55	m.p.i.c.	4.8	95
187	58	m.c.i.p.	8.0	80
188	61	s.p.m.p.i.p.	9.0	78
189	65	s.c.m.c.i.c.	8.8	65
190	68	s.c.m.p.i.p.	6.8	82
191	71	s.p.m.c.i.p.	9.0	83
192	75	s.p.m.p.i.c.	2.5	91
193	77	s.p.m.c.i.c.	3.5	88
194	82	s.c.m.p.i.c.	7.0	70
195	84	s.c.m.c.i.p.	3.0	89
196	85	i.c.	2.7	74
197	89	i.p.	2.5	37
198	92	m.c.	6.8	60

Versuchs- Nummer.	Zeit nach der Zerstörung des centralen Ner- vensystems in Minuten.	Nervenstrecken und Stromes- richtungen.	Grösste dop- pelte Hubhöhe in Millimetern.	Abstand des vorderen Anfan- ges der inducir- ten Rolle von der inducirenden.
199	94	m.p.	6,5	80
200	96	s.c.	4,8	85
201	99	s.p.	3,7	99
202	108	m.c.i.c.	2,4	85
203	110	m.p.i.p.	5,8	70
204	112	s.c.i.c.	4,5	73
205	114	s.p.i.p.	6,0	75
206	116	s.c.i.p.	2,5	79
207	118	s.p.i.c.	5,1	89
208	120	s.c.m.c.i.p.	0	0
209	122	m.c.i.p.	2,6	87
210	124	s.p.m.p.i.c.	0	0
211	126	m.p.i.c.	5,2	93
212	128	s.c.m.c.i.c.	3,8	80
213	130	s.c.m.c.	1,6	78
214	133	s.p.m.p.i.p.	4,0	73
215	136	s.p.m.p.	2,0	83
216	138	s.c.m.p.i.c.	3,7	70
217	142	s.c.m.p.i.p.	1,5	68
218	150	s.c.m.p.	3,0	67
219	156	s.p.m.c.i.c.	6,8	78
220	158	s.p.m.c.i.p.	7,0	70
221	161	s.p.m.c.	3,8	76
222	164	s.p.	5,0	80
223	168	s.c.	4,8	47

Die erregenden Inductionsströme waren natürlich um so schwächer, je grösser der in der letzten rechten Rubrik verzeichnete Zahlenwerth ausfiel. Die Tabelle macht wiederum anschaulich, dass die augenblickliche Nervenstimmung die Erfolge nachdrücklicher beherrscht als die Grösse der Stromstärke, dass jene von Stelle zu Stelle um so mehr wechselt, je öfter die einzelnen Nervenbezirke geprüft worden, dass sie aber auch schon in der ersten Zeit ungleich ist. Die stärksten Inductionsschläge können durch die Hinzufügung einer oberen, an und für sich noch reizempfindlichen Strecke wirkungslos werden, wenn die einzelnen übrigen Nervenabschnitte immer noch Zusammenziehungen hervorrufen. (Nr. 208 bis 211.)

20) Ich wiederholte das gleiche Versuchsverfahren an meiner Zunge. Die vier Nadelpaare waren in einem Korce in unverrückbarer Lage befestigt. Die Spitzen derselben wurden, so sehr als möglich, auf dieselben Stellen der Spitzentheile der Zunge aufgesetzt. Ich suchte dann den grössten Rollenabstand, bei dem ich den blossen Oeffnungsschlag deutlich spürte. Diese Versuche gaben:

Versuchs- Nummer.	Stromesrichtung.	Entfernung des vor- deren Anfanges der Inductionsrolle von der der induciren- den in Millimetern.
224	s.p.=s.c.=m.p.=m.c.=i.p.=i.c.	100
225	s.p.m.p.	97
226	s.c.m.c.	98
227	s.p.m.c.	99
228	s.c.m.p.	102
229	s.p.m.c.	97
230	s.p.m.c.i.p.	93
231	s.p.m.c.i.c.	94
232	s.p.m.c.	98
233	s.c.m.p.	103
234	s.c.m.p.i.p.	93
235	s.c.m.p.i.c.	92
236	s.c.m.p.	95
237	s.p.m.p.	90
238	s.p.m.p.i.p.	84
239	s.p.m.c.i.c.	83
240	s.p.m.p.	94
241	s.c.m.c.	87
242	s.c.m.c.i.p.	84
243	s.c.m.c.i.c.	82
244	s.c.m.c.	85

Es ist mir in diesen Versuchen häufig begegnet, dass ich den elektrischen Oeffnungsschlag nur an einer Stelle empfand, wenn er auch noch gleichzeitig durch einen oder durch zwei andere ging. Diese Thatsache erinnerte an die in misshandelten oder erschöpften Froschnerven vorkommende Erscheinung, dass die Erregung eines einzigen Nervenbezirktes dieselbe Hubhöhe liefert, wie die von ihm und zwei oder drei anderen.

21) Eine Anzahl von Versuchen, die ich anstellte, beschäftigte sich mit dem gegenseitigen Vergleiche der Leistungen der beiden Hüftgeflechte desselben Thieres.

Ich aequilibrirte zuerst das von Aeby angegebene doppelte Myographion für die wagerechte Stellung der beiden Rahmen und die der Spitzen, wenn sie das Papier bei dem Aufschreiben der Muskelcurven berührten. Jedes der zwei Hüftgeflechte eines Hüftgeflechtpräparates erhielt eine doppelte Einstichsnadel an möglichst übereinstimmenden Stellen eingesetzt. Der Leitungsdraht, der von der rechten Ableitungssäule des Stromwenders ausging, verband sich mit der oberen Einstichsnadel des linken Hüftgeflechtes. Ein anderer überspannener Kupferdraht verlief von der unteren Nadel desselben Hüftgeflechtes zu der oberen des rechten. Die untere

desselben war mit der linken Ableitungssäule des Stromwenders durch einen Draht verbunden. Wurde der Stromwender geschlossen und trat der Eisenstift bei der Drehung des Uhrwerkes in den Quecksilbertropfen, so brach derselbe Strom in die möglichst gleich langen und übereinstimmend gelagerten Strecken der zwei Hüftgeflechte ein. Jedes der beiden Beine war so, wie es früher für die mit einem Hüftgeflechte angestellten Versuche geschildert worden, an dem Myographion befestigt. Die zwei Wadenmuskeln schrieben also ihre Muskelcurven gleichzeitig und nur um eine Strecke wechselseitig verschoben auf. Ich begann in der Regel mit sehr schwachen Strömen und schritt später zu immer stärkeren fort.

Diese Versuche lehrten, dass das rechte Hüftgeflecht fast immer anders, als das linke gestimmt war. Das eine antwortete schon auf sehr geringe Erregungen, wenn das andere noch schwieg. Jenes war in seltenern Fällen empfänglicher für die eine und dieses für die entgegengesetzte Stromesrichtung. Die Ungleichheit der Wirkungen verrieth sich bisweilen nicht bloss durch die Unterschiede der Hubhöhen, sondern auch dadurch, dass das eine Hüftgeflecht eine Oeffnungszuckung erzeugte und das andere nicht.

Die mehrfachen Erregungen führen zu demselben Ergebnisse. Fig. IV kann uns dieses für die gleichzeitige Reizung zweier Nervenstrecken klar machen. Die Nadeln waren so eingesteckt, dass immer die obere den inneren und die untere den äusseren und unteren Theil des Nervenbezirkes berührt und daher der Strom der ganzen Länge nach hindurchging. Der Kreis enthielt $2(2n-1)=6$ Schliesser, so dass man den Unterschied der Leitungswiderstände durch ein beigeselltes Hüftgeflechtpräparat eines anderen Frosches bei den einfachen Erregungen ausgleichen konnte. Die Muskelcurven von Fig. IV folgen der Zeit nach von unten nach oben, so dass das unterste s.c.i.c. der ersten Prüfung entspricht. Die tiefere Linie r ist die Zeitabscisse der Curven, die das rechte und l die, welche das linke Hüftgeflecht aufzeichnen liess. s bedeutet, dass Schliessungsinductionsschlag und o, dass der nachfolgende Oeffnungsschlag die Zusammenziehung herbeiführte.

Vergleicht man das erste s.c.i.c. mit dem nachfolgenden, also nächst späteren s.c., so sieht man, dass der Hinzutritt von i.c. die Hubhöhe verkleinerte und zwar für den rechten Wadenmuskel mehr, als für den linken. Man hatte hingegen eine Vergrösserung in Bezug auf i.c., wo die Curven links anfangen und sich rechts fort-

setzen. Das zweite (letzte) s.c.i.c. erzeugte eine Abnahme der Hubhöhe für den linken und eine Zunahme für den rechten Wadenmuskel. Die erste Doppelreizung gab eine schwache Oeffnungszuckung für den rechten, nicht aber für den linken Gastrocnemius.

22) Man kann die beiden Hüftgeflechte auch dadurch prüfen, dass man das Rückenmark reizt. Ich steche zu diesem Zwecke die zwei, den Strom zuführenden Nadeln zu beiden Seiten z. B. des dritten bis vierten Wirbels des Frosches so ein, dass der Hauptstrom das Rückenmark quer durchsetzt oder befestige es der Länge nach möglichst nahe seitlich, damit man ab- oder aufsteigende Ströme hindurchleiten könne. Ich gebrauchte auch in einzelnen Fällen vier Nadeln und ordnete Alles so an, dass der Strom des Rückenmarkes nach Belieben höher oder tiefer quer oder schief in einer der beiden Stromesrichtungen durchfloss. Alle diese Fälle bestätigten nur die früheren Ergebnisse. Es kam auch hier häufig vor, dass beide Wadenmuskeln ungleiche Curven aufzeichneten, die eine steiler, als die andere anstieg, sich also der Muskel in jenem Falle rascher zusammenzog und dass das eine Hüftgeflecht nur den Schliessungs- und das andere bloss den Oeffnungsschlag beantwortete. Tetanisirte man eine hinreichend lange Zeit, so kehrte der Muskel, der sich als der schwächere erwiesen hatte, auch langsamer zu seiner ursprünglichen Länge zurück.

Fig. V gibt uns ein Bild, wie sich die Verhältnisse in diesem Falle gestalten. Es stammt von dem Zungenbein-Zungenmuskel, der ausgiebigere Curven, als der Wadenmuskel unter diesen Verhältnissen liefert. ac bezeichnet die Zusammenziehung während der ersten 5 Sekunden der Tetanisation. Dann wurde das Uhrwerk von 5 bis 15 Sekunden gesperrt. Da die Verkürzung nachträglich zunahm, so schrieb sie zuerst ein gerades Linienstück senkrecht über s auf. Der Muskel erschlaffte später und zeichnete daher die untere senkrechte Linie cd. Als im Ganzen beinahe 45 Sekunden verstrichen waren, liess ich das Uhrwerk eine kleine Bewegung machen, während dessen die geneigte Linie de entstand. Die bei e sichtbare Verlängerung des Muskels forderte 15 Sekunden, die bei f zwei Minuten und die bei g vier Minuten. Der Muskel erreichte seine ursprüngliche Länge fünf Minuten darauf, überschritt sie aber, weil ihn die anhaltende Tetanisation erweicht hatte. Man sieht in der Figur, um wie viel sich diese Längenzunahme des vor dem Eintrocknen geschützten Muskels nach 2,32 und 52 Minuten vergrösserte.