



Beiträge
zur
elektrischen Erregbarkeit der Nervenfasern.

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doctorwürde
einer hohen medicinischen Fakultät zu Bern

vorgelegt von

Clara Halperson.



Von der Fakultät zum Druck genehmigt auf Antrag
von Herrn Prof. Dr. Grützner.

Bern, den 49. November 1884.

Der Dekan:
M. Baccchi.



BERN.

Paul Haller, vorm. Haller'sche Buchdruckerei.
1884.

Beiträge
zur
elektrischen Erregbarkeit der Nervenfasern.

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doctorwürde

einer hohen medicinischen Fakultät zu Bern

vorgelegt von

Clara Halperson.



Von der Fakultät zum Druck genehmigt auf Antrag
von Herrn Prof. Dr. Grützner.

Bern, den 1. October 1884.

Der Dekan:
M. Nencki.



BERN.

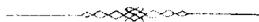
Paul Haller, vorm. Haller'sche Buchdruckerei.
1884.



Beiträge

ZUF

elektrischen Erregbarkeit der Nervenfasern.



Wenn wir von dem bekannten Gesetze *du Bois-Reymond's* absehen, nach welchem die Erregung eines Nerven wesentlich abhängt von der Grösse der Stromschwankung, sowie von der Schnelligkeit, mit welcher dieselbe in der Zeiteinheit erfolgt (*Du Bois-Reymond*, Unters. 1848 Thl. I, § 258 und 589), so ist vor allen Dingen unter die gesicherten Thatsachen der Electrophysiologie diejenige zu rechnen, dass die Erregung eines Muskels oder Nerven durch den elektrischen Strom zunächst eine auf die Pole beschränkte, eine sogenannte polare ist. Es ist wesentlich das Verdienst von *Pflüger*, diese Gesetzlichkeit aufgedeckt und in bestimmter Weise ausgesprochen zu haben. Dieses Gesetz lautet bekanntermassen: „Die Erregung eines Muskels oder Nerven findet bei Schluss eines Stromes regelmässig statt an der Kathode, bei der Oeffnung desselben hingegen an der Anode.“ Ausserdem haben sowohl frühere, wie neuere Untersuchungen gelehrt, dass die Erregung eines Muskels oder Nerven einhergeht mit bestimmten elektrischen Veränderungen des Organs, welche

unter dem Namen des Elektrotonus (Katelektrotonus und Analektrotonus) bekannt sind und die nach den Untersuchungen *Hermann's* polarisatorischer Natur sind, indem namentlich beim Nerven ein Unterschied zwischen leitendem Kern und Umhüllung sich bemerklich macht und diese Erscheinungen bedingt. — Es ist heute wohl als sicher anzunehmen, dass die Erregbarkeit eines Nerven oder Muskels, insoweit sie durch elektrische Ströme bedingt wird, von seiner Polarisirbarkeit abhängig ist. Ein Nerv, der nicht mehr polarisierbar, ist auch nicht mehr reizbar; je schneller und leichter ein Nerv zu polarisiren, um so grösser wird in der Regel seine Erregbarkeit sein.

Unter den verschiedenen Bedingungen, von denen die Erregbarkeit eines Nerven abhängt, nenne ich zunächst die Einwirkung des elektrischen Stromes selbst, indem bekanntlich an der Kathode erhöhte, an der Anode herabgesetzte Erregbarkeit ist; weiterhin die Ernährungsbedingungen, sowie thermische Einflüsse verschiedener Natur, schliesslich noch den Ort — wo, und die Art, wie die Elektroden an den Nerven gesetzt werden. Ueber letzteren Gegenstand machte ich auf Anregung und unter Anleitung von Herrn Prof. *Grützner* im Berner physiologischen Institut eine Reihe von Versuchen, die ich hiermit der Oeffentlichkeit übergebe.

I. Einfluss der Spannweite und des Reizungsortes.

Ich stellte mir zunächst die Frage, inwieweit die Entfernung der Elektroden von einander, die Länge der sogenannten intrapolaren Strecke auf die Auslösung des Reizes wirkte. Obwohl bereits frühere Forscher (*A. von Humboldt*, *Ritter* u. A. [cit. von *du Bois-Reymond* Unt. 295 s.]) sich diese Frage zur Beantwortung vorlegten, nahm sie doch erst *du Bois-Reymond* von Neuem auf

und löste sie mit einwurfsfreien Methoden. Da die Intensität eines elektrischen Stromes nach dem *Olm'schen* Gesetze direkt proportional der elektromotorischen Kraft, aber indirekt proportional dem Widerstande ist, den der Strom zu durchkreisen hat ($I = \frac{E}{W}$), so ist begreiflich,

dass, wenn man an einem Nervenstücke die Elektroden mehr und mehr von einander entfernt, bei dem ausserordentlich grossen Widerstande des Nerven, namentlich gegenüber dem der zuleitenden Apparate, I in Folge der bedeutenden Vergrösserung von W , stark abnimmt und natürlich dem zu Folge auch die Wirkung stark herabgesetzt wird. Man muss also, wenn man sich von der verschiedenen Wirkung eines Stromes Rechenschaft geben will, je nachdem ein grosses oder kleines Nervenstück durchsetzt wird, dafür Sorge tragen, dass mit der Vergrösserung des durchflossenen Nervenstückes der Gesamtwiderstand nicht oder wenigstens nicht bedeutend ansteigt.

Du Bois-Reymond erreichte dieses (*du Bois-Reymond* Unters. Th. I u. II § 338 und 459), indem er als Widerstand eine Voltmeter-ähnliche Vorrichtung anwendete, welche als Flüssigkeit zwischen den Elektroden verdünnten Weingeist enthielt. Zinkplatten von 25 mm Br. tauchten etwa 10 mm tief in zwei Gefässe mit Brennspritus, die durch ein hebelähnliches, zweimal rechtwinklig gebogenes, mit derselben Flüssigkeit gefülltes Glasrohr von 200 mm Länge und 2,5 mm Durchmesser im Lichten, verbunden war. Als erregende Kette fand er eine fünfzehngliedrige *Gravé'sche* Säule ausreichend. Wenn auf diese Weise der Widerstand des durchflossenen Nervenstückes gegenüber dem ungeheuren des Alkoholrheostates verschwindet und dabei die Stromintensität annähernd gleich erhalten wird, so zeigt sich dann: dass 1) der extrapolare Elektro-

tonusstrom und die negative Schwankung im Nerven sich stärker entwickelt, sobald die längere Nervenstrecke vom Strome durchsetzt wurde. Allerdings ergaben sich hin und wieder Ausnahmen von der Regel; so trat namentlich bei lange fortgesetztem Tetanisiren eine Ermüdung der oberen Strecke des Nerven ein, falls der Nerv vom Centralorgan abgetrennt war. Indem dann der Nerv vom Querschnitt aus abstirbt oder an Erregbarkeit Einbuße erleidet, hat das Hinaufrücken der einen Elektrode in jene unerregbare oder schwer erregbare Strecke des Nerven eher die entgegengesetzte Wirkung. Von Bedeutung ist dann, dass auch *Pflüger* zu den gleichen Resultaten in seinen Versuchen über den Elektrotonus kam, und den extrapolaren Elektrotonus mit der Vergrößerung der intrapolaren Strecke zunehmen sah.

Ueber die unmittelbare Erregung des Nerven, je nachdem er in längerer oder kürzerer Strecke durchströmt wird und über die hierbei beobachteten Erfolge, insoweit sie sich an der Zuckung des zugehörigen Muskels äussern, stellte dagegen *du Bois-Reymond* keine Versuche an.

Dieselben wurden vielmehr erst von *Willy* in *Hermann's* Laboratorium (*Arch. für ges. Physiol.* B. 58. 275. 1871) gemacht. *Willy* benutzte zu seinen Versuchen immer zwei Nerven, von denen der eine in kurzer, der andere in langer Strecke vom Strome durchsetzt wurde. Durch eine sinnreiche Wippeneinrichtung konnten dann die Nerven ihre Rollen mit einander tauschen, so dass der Nerv, welcher in langer Strecke durchsetzt wurde, jetzt nur kurz durchströmt wurde und umgekehrt. Die Entfernungen der Elektroden, die *Willy* anwendete, betragen 30 und 3 mm, in anderen Fällen 40 mm und 4 mm. Dazwischenliegende Entfernungen fanden keine Anwendung, oder *Willy* theilt wenigstens die Resultate derselben nicht

mit. *Willy* fand unter diesen Versuchsbedingungen, dass das Gesetz von der stärkeren Erregung der länger durchflossenen Strecke nur gültig ist für die Schliessung absteigender Ströme. Bei Schliessung aufsteigender Ströme erwies sich hingegen das Umgekehrte als Regel; die in kurzer Ausdehnung durchflossenen Nervenstücke wurden schon von schwächeren Strömen erregt. Auf die Oeffnungszuckungen will ich, weil sie überhaupt sich einem bestimmten Gesetze nicht unterwerfen, nicht weiter eingehen. Erwähnenswerth dürfte noch sein, dass bei den *Willy*-schen Versuchen die untere Elektrode immer eine und dieselbe Lage hatte. Nach *Willy* stimmt das von ihm gefundene Resultat zu dem *Pflüger*'schen Gesetze über die erregenden und erregbarkeitsverändernden Einflüsse des Stromes. Er formulirt dies folgendermassen: die Erregbarkeit ist *ceteris paribus* um so stärker, je näher dem Muskel die Kathode, je weiter von ihm die Anode ist.*)

Diese *Willy*'schen Versuche stellten also keineswegs das seiner Zeit von *du Bois-Reymond* allgemein ausgesprochene Gesetz, — dass die Erregung eines Nerven mit der durchflossenen grösseren Strecke wachse, — fest, sondern ergaben dies Gesetz lediglich unter der Bedingung absteigender Ströme bei unterer fester Elektrode und einer Entfernung von etwa 3 und 30 Millimeter.

Eine weitere Bearbeitung dieser Angelegenheit wurde desshalb von *A. J. Marcuse* unter *Pick*'s Leitung ausgeführt (Verh. der phys.-med. Ges. in Würzburg, NF. Bd.

*. Nebenbei bemerkt, ist mir dies nicht recht verständlich; denn da nach *Pflüger* die Erregung von oben nach unten lawinenartig anschwellen soll und dieselbe in den vorliegenden Fällen stets an der Kathode ausgelöst würde, so müsste sie doch am geringsten sein, je näher dem Muskel die Kathode gesetzt wird.

X, S. 168, 1877). Zunächst bediente sich *Marcuse* gewöhnlicher Kupferdrähte als Elektroden, die in verschiedenen Entfernungen von einander an den Nerven angelegt wurden. Als reizende Ströme brauchte er Oeffnungsinduktionsströme, weil er der Meinung war, dass diese wegen ihrer kurzen Dauer die reinsten Resultate geben. Die auf diese Weise erhaltenen Versuchsergebnisse befriedigten ihn jedoch offenbar nicht; er veränderte das Verfahren daher dahin, dass er den Nerv in einen mit physiologischer Flüssigkeit gefüllten kleinen parallelepipedischen Glas-trog legte. Ein paar gegenüberstehende Wände des Glas-trogs waren von amalgamirtem Zink und nahmen die Elektroden auf. Je nachdem dann der Nerv in kürzerer oder längerer Strecke in den Trog eingetaucht wurde, durchsetzte diese der Strom mit gleicher Dichtigkeit parallel der Längsaxe des Nerven. Und nun untersuchte *Marcuse*, wann die erste Zuckung im Präparate auftrat.

Die Resultate dieser Versuche waren in der That befriedigende. *Marcuse* selbst fasst sie in folgender Weise zusammen: „Mit wachsender durchflossenen Nervenstrecke nimmt die kleinste merklich reizend wirkende Stromstärke anfangs rapid, dann immer langsamer ab und scheint sich asymptotisch einem Grenzwerthe zu nähern oder nach Ueberschreitung eines Minimums wieder zu wachsen.“ Zum Belege hiefür theile ich 2 Tabellen aus der *Marcuse*-schen Arbeit mit.

Absteigender Strom.				Aufsteigender Strom.			
Periph. Ende fest.	Centr. Ende fest.			Periph. Ende fest.	Centr. Ende fest.		
Entf. d. El.	Str. St.	Entf. d. El.	Str. St.	Entf. d. El.	Str. St.	Entf. d. El.	Str. St.
2 mm	— 30,0	2 mm	— 7,5	2 mm	— 40,0	2 mm	— 20,0
5 "	— 12,0	5 "	— 4,4	5 "	— 15,0	5 "	— 7,7
10 "	— 6,2	10 "	— 3,2	10 "	— 6,0	10 "	— 3,7
20 "	— 4,0	20 "	— 3,8	20 "	— 4,5	20 "	— 2,4
30 "	— 3,9	30 "	— 3,6	30 "	— 3,7	30 "	— 2,2
40 "	— 3,9	40 "	— 4,8	40 "	— 2,0	40 "	— 2,7
50 "	— 3,9			50 "	— 1,5		

Aus diesen Zahlen ergibt sich also, dass je grösser die durchflossene Nervenstrecke wird, die Stromstärke verhältnissmässig immer weniger abnimmt (z. B. für eine Elektrodenentformung von 10 mm ist eine Stromstärke erforderlich von 6,2, für eine von 50 mm eine solche von 3,9), dass dagegen bei kleinen durchflossenen Strecken die Abnahme eine ausserordentlich rasche ist (2 mm 30, 10 mm 6); schliesslich machte noch *Marcus* einige gelegentliche Versuche mit dem constanten Strom und fand entsprechend seinen früheren Ergebnissen, dass sowohl bei absteigenden, wie bei aufsteigenden Strömen der Einfluss der längeren intrapolaren Strecke begünstigend auf die Erregbarkeit wirkt, indem die erste merkliche Zuckung im letzten Falle früher eintrat.

Weitere hieher gehörige Angaben rühren von *Tschiriew* (Arch. für Anat. und Physiol. 1877, Seite 489) her, der gelegentlich seiner Versuche über die Quer- und Längserregbarkeit des Muskels und Nerven, auch solche anstellte, welche sich auf verschiedene Erfolge der Erregung verschieden langer Strecken bezogen. Er beseitigte durch Einschaltung ausserordentlich grosser Widerstände in den Reizkreis die verschiedene Wirkung des Stromes, in soweit die Stromintensität durch Veränderung des Widerstandes im Nerven hätte beeinflusst werden können und erhielt dabei, indem er gewöhnlich gleich dicke Nervenstücke zwischen die unpolarisirbaren Elektroden einschaltete, Ergebnisse, welche im Wesentlichen mit den *Marcus*'schen übereinstimmten. Leider aber finden sich in den Versuchen von *Tschiriew*, bei welchen ebenfalls nur Inductionsströme verwendet wurden, keine Angaben über die Stromrichtung, was entschieden von grosser Bedeutung, da auch bei den von ihm gebrauchten Wechselströmen des Inductionsapparates mit *Helmholtz*'s Vorrichtung der Strom der einen Richtung nicht durchaus gleichwerthig ist dem der andern.

Wie der Leser sieht, dürften wohl die Versuche von *Marcuse* diejenigen sein, welche die angeregte Frage am genauesten beantworten; denn zunächst umfassen sie eine Reihe von Versuchen, welche sich auf verschiedene Weiten der Elektrodenentfernungen beziehen und ausserdem auch die Richtungen des Stromes berücksichtigen. Allerdings hat er nicht darauf geachtet, welche Muskeln zuerst zuckten, was er ausdrücklich hervorhebt. — Da nun aber die Erregbarkeit der verschiedenen Nerven und Muskeln an sich verschieden ist (*Ritter'sches Gesetz*), so können hier vielleicht Fehlerquellen mit untergelaufen sein; andererseits darf man nicht unberücksichtigt lassen, dass es für die Erregung einer gewissen Summe von Nervenfasern nicht gleichgültig ist, je nachdem diese Fasern allein zwischen den Elektroden liegen oder im Verein mit einer grossen Menge anderer Fasern gereizt werden. Denn wenn auch bei dem *Marcuse'schen* Verfahren die Stromdichten lediglich von den Stromstärken und nicht von den Querschnitten der Nervenstämmen abhängen, so werden eben in dem einen Falle, wenn ein dünnes Nervenstück in der Flüssigkeit liegt, vielleicht 50, im zweiten bei einem dicken Nervenstück desselben Stammes diese 50 + andere 150 durchströmt und polarisirt. Die Polarisation dieser 150 wirkt aber auch auf diejenige der übrigen 50, ähnlich wie es bei der paradoxen Zuckung der Fall ist und kann eine stärkere Erregbarkeit vortäuschen.

Nach den Versuchen, die schon da *Bois-Reymond* in dieser Richtung angestellt hat, ergibt sich in der That, dass die Dicke des Nervenstranges auf die Grösse des Elektrotonus und dadurch mittelbar wohl auch auf die Grösse der elektrischen Erregbarkeit einwirkt. Je grösser nämlich die Zahl der Fasern und je dicker dadurch ein Nerv wird, um so stärker wird sich unter sonst gleichen

Umständen in der Regel der Elektrotonus entwickeln. (Du Bois-Reym. Bd. II 1, S. 368).

Ich selbst habe darüber gelegentlich einige Versuche angestellt, welche allerdings die Frage noch lange nicht endgültig abschliessen. — Sie bestanden darin, einen dicken Nerven zu polarisiren und den nach Oeffnung dieses Stromes entstehenden polarisatorischen Gegenstrom zu messen, dann von eben diesem Nerven einen Theil abzulösen, die Faserzahl also zu verringern und den gleichen Versuch noch einmal anzustellen.

Als passende Versuchsobjecte verwendete ich das obere Ende des Froshüftnerven, welches bekanntlich oben im Becken aus drei einzelnen Nervenstücken besteht, und das untere Stück desselben Nerven, wo er sich in Tibialis und Peroneus theilt. Um bei Verkleinerung des Widerstandes beim dicken Nerven-, beziehungsweise bei Vergrösserung desselben beim dünnen Nervenstück, einen grösseren oder kleineren Boussolausschlag auf grössere oder kleinere elektromotorische Kraft beziehen zu können, schaltete ich sowohl im Reiz-, wie im Boussolkreise grosse, aus Grafitstrichen bestehende Widerstände ein. Die Ergebnisse dieser Versuche gingen dahin, dass mit der Dicke des Nerven der Polarisationsstrom an Stärke wuchs.

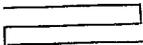
Da nun ein stärkerer Elektrotonus auch eine stärkere Reizung bedingt und man nicht im Stande ist zu sagen, welche Nerventheile in dem gesammten Nervenstamm wesentlich an diesen elektrotomischen Schwankungen Theil nehmen, man aber andererseits die Erregbarkeit an dem Wadennuskel misst, zu dem nur sehr wenige Fasern des gesammten Stammes gehen, so wird man im allgemeinen wohl finden, dass unter sonst gleichen Umständen ein elektrischer Reiz auf einige Fasern in einem Nerven-

stamme um so wirksamer ist, je mehr andere Fasern zu gleicher Zeit mit ihm gereizt, beziehungsweise durchströmt werden.

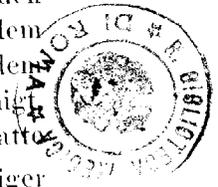
Diese Fehlerquelle schien mir so wichtig, dass ich mir die Frage vorlegte, ob auch, wenn man dieselbe Zahl von Fasern mit weiten und nahen Elektroden reizt, dieselben Thatsachen beobachtet werden können; denn man darf eben nicht vergessen, dass bei den meisten früheren Versuchen mit Vergrößerung der Spannweiten auch dickere Nervenstücke zwischen die Elektroden kamen. Namentlich wenn die untere Elektrode auf dem Nerven (Ischiadicus) fest war und die obere gerückt wurde, so nahm man stets Nervenabschnitte zwischen die Elektroden auf, welche mehr Nervenfasern enthielten. Wurde freilich die obere Elektrode festgehalten und die untere immer näher an den Muskel herangeschoben, so trat allerdings das Entgegengesetzte ein. — Man sieht aber auch bei genauer Berücksichtigung der *Mareuse'schen* Angaben, dass die Versuche in diesem Falle bei Weitem nicht so regelmässige Ergebnisse geliefert haben. Um also diese Fehler zu vermeiden, dass man durch Polarisation von sehr vielen Fasern die Wirkung des Stromes auf eine beschränkte Zahl von Nervenfasern erhöht, bin ich stets so vorgegangen, dass ich den Tibialis allein reizte, oder Tibialis und Peroneus im Verein und dann die Elektroden nie höher heraufschob, als jene beide Nerven zusammen, beziehungsweise einer allein reichten. Es wurde dann der Peroneus an seinem peripheren Ende mit einer Pinzette gefasst und vom übrigen Nerven abgetrennt, was sich sehr leicht auf einige Centimeter machen liess. Als dann hat man immer nur dieselbe Zahl von Nervenfasern zwischen den Elektroden, falls sie natürlich nicht zu weit von einander entfernt werden.

Indem ich nun in dieser Weise vorging, konnte ich, wie die weiter unten folgenden Versuchsbeispiele erklären, ebenfalls die schon von anderen Untersuchern gemachte Angabe bestätigen, dass die Vergrößerung der intrapolaren Strecke eine Erregbarkeitszunahme bedingt.

Die Veränderungen des Widerstandes im Nerven bei grossen und geringen Entfernungen der Elektroden waren durch einen grossen, in den Reizkreis eingeschalteten Widerstand möglichst herabgesetzt. Der Widerstand war zusammengesetzt aus einer hin- und hergebogenen Capillare, welche mit konzentrierter Zinksulfatlösung gefüllt und von beiden Enden mit amalgamirten Zinkdrähten verschlossen war; der Widerstand betrug ungefähr 200,000 Siemens, was bei der mässigen Elektrodenspannung und dem grossen Widerstande, den die Elektroden*) an sich boten, vollkommen ausreichte. Späterhin verwendete ich auch hin und wieder Grafitstriche auf mattem Glas, die sich bei der nöthigen Sorgfalt als praktisch bewährten. Die Einrichtung bei den Versuchen überhaupt war folgendermassen getroffen. Ein oder mehrere Daniells lieferten die Stromquelle; als Nebenleitung waren 3 Meter eines $\frac{1}{2}$ mm dicken Neusilberdrahtes eingeschaltet, welcher aus drei zu 1 m langen, parallel nebeneinander liegenden Stücken bestand. Das Ende des ersten war mit dem Anfang des zweiten und das Ende des zweiten mit dem Anfang des dritten durch dicke Kupferdrähte vereinigt, so dass der ganze Draht ungefähr folgende Gestalt hatte

. Je nachdem natürlich mehr oder weniger

*) Zur bequemeren Anlegung der Elektroden spitzen waren nämlich an die schreibefederartig zugeschliffenen Glasröhren der Elektroden kleine Stücke von Hanfschnüren mit Siegellack geklebt; diese wurden dann mit physiologischer Kochsalzlösung getränkt und mit dem Kochsalzthone vereinigt.



seiner Länge als Nebenleitung eingeschaltet wurde, hatte man es in der Hand, die Reizströme zu vergrössern oder zu verkleinern. Im Uebrigen war der ganze Apparat so eingerichtet, wie ihn bereits Fräulein *Nemorowsky* (Dissert., Bern 1883) beschrieben hat. Der auf dem Neusilberdraht wandernde Elektrodendraht war durch eine federnde Klemme, die nach Art einer Klemmpincette gemacht, verbunden und konnte so leicht von einem auf den andern gesetzt oder auf einem Drahte verschoben werden.

Die im Folgenden mitgetheilten Zahlen der Stromstärke geben die Grössen der Nebenschliessungen in Centimetern an. Oeffnungen und Schliessungen des Stromes wurden stets vermittelt Quecksilbercontactes hergestellt. Das Quecksilber war sorgfältig gereinigt und der eintauchende Kupferdraht amalgamirt. Oeffnungen und Schliessungen fanden stets im Hauptkreise statt; das Nervenmuskelpräparat befand sich im *Pflüger'schen* Myographion. Die Höhen der Zuckungen wurden, wenn nöthig, auf berrusstem Glanzpapier aufgezeichnet. Ausserdem prüften wir auch die Wirkungen der Induktionsströme (Oeffnungsinduktionsströme); im Reizkreise befand sich ebenfalls ein grosser Widerstand. Oeffnung und Schliessung geschah im Quecksilber, wie oben mitgetheilt. Die Zahlen bei diesen Versuchen zeigen die Entfernungen der beiden Spiralen von einander an und tragen als Zeichen ein *J*.

Versuche.

Rana esculenta, mittelgross; 2 oder 3 Daniells. Untere Elektrode fest, 3 mm vom Muskelende entfernt (EM = 3 mm); Elektrodenweite (EE) verschieden gross. Die Versuche sind immer so gemacht worden, dass dieselben Nervenstrecken in den gehörigen Zwischenpausen nach einander mit absteigenden und aufsteigenden Strömen gereizt wurden.

*A. Versuche mit unterer fester Elektrode.
Galvanisch.*

EM = 3 mm				EM = 4 mm			
EE	↓	↑		EE	↓	↑	
1) 4 mm	— 29	— 15		2) 3 mm	— 120	— 60	
10	— 19	— 8		11	— 48	— 20	
15	— 16	— 8		18	— 45	— 19	
4,5	— 25	— 15		5	— 65	— 26	
				3	— 80	— 35	
				30	— 30	— 15	
				4	— 65	— 30	
EM = 1 mm				EM = 0 mm			
EE	↓	↑		EE	↓	↑	
3) 5 mm	— 255	— 250		4) 22 mm	145	90	
11	— 150	— 120		16,2	150	150	
16,2	— 120	— 85		11	155	160	
22	— 95	— 75		5	300 <small>Strom</small>	300 <small>Strom</small> *	

Tibialis allein.

EM = 0 mm				EM = 0 mm			
EE	↓	↑		EE	↓	↑	
5) 5 mm	Nichts	Nichts		6) 27,5 mm	— 0**	— 45	
11	— 205	— 230		22	— 0	— 55	
16,2	— 160	— 140		16,2	— 0	— 55	
22	— 150	— (155)		11	— 80	— 130	
27,5	— 135	— 135		5	— 200	— 260	
EM = 0 mm				EM = 0 mm			
EE	↓	↑		EE	↓	↑	
7) 5 mm	— 175	— 240		8) 5 mm	— 410	— 1050	
11	— 115	— 160		11	— 185	— 210	
16,2	— (120)	— 115		16,2	— 155	— 130	
22	— 105	— 110		22	— 145	— 30	

Inductions-Versuche.

EM = 0 mm				EM = 0 mm			
EE	↓	↑		EE	↓	↑	
1) 5 mm	— 2,6	— 2,7		2) 22 mm	— 4,2	— 4,1	
11	— 4,2	— 4,2		16,2	— 4,2	— 4,2	
16,2	— 4,7	— 4,8		11	— 3,8	— 3,6	
22	— 5,1	— 5,1		5	— 1,8	— 1,8	
27	— 5,1	— 5,1					

*) Keine Zuckung zu erzielen bei Einschaltung der ganzen Nebenschliessung.

***) Schon bei Nebenschliessung 0 eine Zuckung.

Tibialis allein.

	EM = 7 mm			EM = 0 mm	
	EE	↓	↑	EE	↓
3)	22 mm*	9,5	10,0	5 mm	1,7
	16,2	9,5	8,9	11	4,0
	11	9,0	8,7	16,2	4,3
	5	8,1	8,4	22	4,5
	EM = 0 mm			EM = 0 mm	
	EE	↓	↑	EE	↓
5)	16,2 mm	3,6	3,2	16,2 mm	5,0
	11	3,2	3,2	11	4,7
	5	2,5	2,5	5	4,1

B. Versuche mit oberer fester Elektrode und unterer wandernder.

Galvanisch.

Obere Elektrode 3 mm unterhalb des letzten Astabganges.

	EE	↓	↑	EE	↓	↑
1)	20 mm	26	11	20 mm	22	7
	10	11	10	10	27	12
	5	15	12	5	100	37
	2	25	25			
	EE	↓	↑	EE	↓	↑
3)	22 mm	130	200	5,8 mm	250	195
	16,2	115	200	11	150	120
	11	100	180	17	200	130
	5	110	110	22	160	120

Tibialis allein.

Obere Elektrode vor der Ablösungsstelle des Peroneus fest.

	EE	↓	↑	EE	↓	↑
5)	9 mm	32	58	5,8 mm	250	195
	10	23	51	11	150	120
	12	38	60	17	200	130
	18	27	65	22	160	120
	2	38	70			
	8	37	51			
	5	25	60			
	2	60	80			

*). Ohne Widerstand.

7)	EE	↓	↑	8)	EE	↓	↑
	5,8 mm	— 200	— 245		22 mm	— 70	— 45
	11	— 145	— 110		17	— 65	— 45
	17	— 120	— 100		11	— 40	— 40
	22	— 130	— 150		5,8	— 55	— 65

Inductions-Versuche.

1)	EE	↓	↑	2)	EE	↓	↑
	22 mm	— 4,4	— 4,3		5,8 mm	— 7,1	— 8,0
	17	— 1,7	— 4,6		11	— 8,5	— 8,5
	11	— 4,8	— 4,8		17	— 9,1	— 8,6
	5,8	— 4,2	— 4,2		22	— 9,3	— 8,8

Tibialis allein.

3)	EE	↓	↑	4)	EE	↓	↑
	5,8 mm	— 5,9	— 4,8		5,8 mm	— 5,3	— 4,7
	11	— 4,9	— 5,3		11	— 4,8	— 5,2
	17	— 4,6	— 4,9		17	— 4,1	— 5,2
	22	— 4,6	— 5,7		22	— 5,2	— 5,2

C. Versuche mit beiden wandernden Elektroden.)*

Galvanisch.

A)	EE	↓	↑	B)	EE	↓	↑
	II—III	— 230	— 255		I—VIII	— 110	— 150
	I—III	— 170	— 130		II—VII	— 100	— 140
	I—IV	— 125	— 120		III—VI	— 85	— 100
					IV—V	— 195	— 180

C)	EE	Ind.	↓	↑	D)	EE	Ind.	↓	↑
	I—VI	—	6,5	— 5,5		V—I	—	5,6	— 5,6
	I—V	—	6,4	— 4,3		V—II	—	4,4	— 5,3
	II—V	—	5,2	— 4,5		IV—II	—	4,3	— 4,0
	II—IV	—	4,8	— 4,4		III—II	—	3,5	— 3,4
	III—IV	—	4,5	— 4,9		IV—II	—	4,4	— 4,0
						V—II	—	4,6	— 5,1
						V—I	—	5,5	— 5,1

E)	EE	↓	↑
	II—III	— 30	— 31
	I—IV	— 43	— 47
	I—VI	— 45	— 60
	II—V	— 49	— 55
	III—IV	— 38	— 31

*). Siehe S. 21 und 22.

Schon ein flüchtiger Blick auf die obigen Zahlen, welche einigen meiner Versuche entnommen sind, genügt, um zu zeigen, dass wenn die untere Elektrode fest sitzt und die obere wandert, so gut wie regelmässig mit der grösseren Spannweite auch eine grössere Erregbarkeit zusammenfällt und die erste Zuckung bei schwächeren Strömen eintritt. Das Umgekehrte aber ist nicht der Fall. Wandert man nämlich bei feststehender oberer Electrode mit der unteren, so treten vielfache Unregelmässigkeiten auf und den grösseren Spannweiten entspricht keineswegs immer die grössere Erregbarkeit.

Hiezu kommt noch ein zweiter Punkt, auf den ich die Aufmerksamkeit des Lesers lenken muss und der auch schon mit Recht *Marcusen* aufgefallen ist. Es ist dies der folgende.

Wenn man sich zunächst die Zahlen von *Marcusen* ansieht, welche die Reizgrössen bei verschiedenen Spannweiten der Elektroden anzeigen, so ergibt sich beispielsweise, dass wenn das periphere Ende fest ist, bei nahen Elektroden eine Reizgrösse von 24, bei weiter entfernten Electroden eine Reizgrösse von 4, beziehungsweise in anderen Versuchen von 42 und 1,5 oder von 20 und 2,9 nothwendig ist, um die ersten Zuckungen auszulösen; während, wenn das centrale Ende fest ist, unter sonst gleichen Bedingungen bei nahen Elektroden eine Reizgrösse von 12, bei entfernteren eine von 4, beziehungsweise von 9 und 2,5; 11 und 3,3; 8 und 2,8 und so weiter nöthig ist. — Die Unterschiede sind also, wenn die periphere Elektrode fest ist, bei Weitem bedeutender, als wenn die centrale fest ist.

Auch *) ich habe vielfach Aehnliches beobachtet. Es kann also diese Thatsache, welche mit ziemlicher Regelmässigkeit wiederkehrt, keine zufällige sein, sondern muss

*) Siehe Versuche bei oberer und unterer fester Elektrode.

in besonderen Eigenschaften des Nerven ihre Ursache finden. — Man könnte sich die *Mareuse'schen* Ergebnisse zunächst in folgender Weise erklären. Je höher die obere Elektrode aufrückt, um so dickere Nervenabschnitte berührt sie, um so stärker wird also der Elektrotonus, der nun auch den anderen, dünneren Nervenantheilern zu Gute kommt. Wandert hingegen die untere Elektrode, so kommt sie an immer dünnere Nervenstücke; der Elektrotonus vermindert sich und in Folge davon auch die Erregung. Für meine Versuche würde diese Erklärung allerdings nicht passen; denn bei ihnen war die Dicke des Nerven überall die gleiche.

Um nun diese Ursache des verschiedenen Erfolges genauer kennen zu lernen, stellte ich jetzt eine grössere Reihe von Versuchen in der Art an, dass die gleich weit von einander entfernten Elektroden ihren Ort an dem Nerven wechselten, und so mit auf- und absteigenden Strömen die örtliche Erregbarkeit geprüft wurde. — Allerdings konnte man sich gleich sagen, dass die elektrische örtliche Erregbarkeit manche Versuchsergebnisse nicht vollkommen zu erklären vermochte; denn nehmen wir beispielsweise an, dass bei oberer fester Elektrode mit aufsteigendem Strome gereizt wurde, so blieb ja selbstverständlich der Reizungspunkt derselbe; die Reizung fand regelmässig an der oberen Elektrode statt. Ganz Aehnliches trat natürlich dann ein, wenn man bei unterer fester Elektrode mit absteigendem Strome reizte; auch da blieb ja die untere Elektrode, wo die Reizung stattfand, immer in der Nähe des Muskels (ich spreche selbstverständlich nur von Schliessungsreizungen). Wenn also nichts desto weniger mit grösseren Spannweiten die Erregbarkeit zunahm, obwohl der Reizungsort derselbe blieb, so musste

eben die Reizung selbst grösser geworden und was damit Hand in Hand geht, der Nerv stärker polarisirt worden sein.

Indem ich betreffs der genaueren Ausführung der Versuche, so wie der Einzelheiten der Ergebnisse auf das Folgende verweise, sei hier vorweg mitgetheilt, dass wenn es sich auch immer nur um eine gleiche Anzahl von Nervenfasern handelte, *sowohl für auf- wie absteigende Ströme die Erregbarkeit nach oben zunahm*. Die Methode die ich benützte, bestand im Folgenden. — Zuerst legte ich die unpolarisirbaren Elektroden, deren Spitzen in Kochsalzthon endeten, an verschiedene Stellen des Nerven an, verliess jedoch bald diese Methode, weil sie mir unständig und dem zu Folge ungenau erschien. Bei Weitem bequemer und genauer konnte ich hingegen hantiren mit einem kleinen Apparat, der von Herrn Prof. *Grützner* verfertigt wurde. Er bestand aus einer rechteckigen Glasplatte von 5 cm Länge und 2 cm Breite, welche mit Siegellack übergossen war; durch die Mitte des Siegellackübergusses ging der Länge nach eine Rinne, in welcher von einer Seite her rechwinkelig auf diese Rinne 8 andere Rinnen einmündeten, deren jede etwa 2 mm breit und deren Mitten von einander 5—6 mm entfernt waren. Ueber dem Siegellack war ausserdem noch eine Schicht Paraffin ausgebreitet, welches als vorzügliches Isolirungsmittel diente und die ganze Platte, so wie ihre Vertiefungen, mit einer dünnen Schicht überkleidete.

Die Platte war in entsprechender Höhe auf einem Fuss befestigt im *Pflüger'schen* Myographion. In die lange Rinne, so wie in deren seitliche Zuflussröhren wurde physiologische Kochsalzlösung gefüllt. Der Nerv lag somit in einer äusserst dünnen, fast capillären Flüssigkeitsschicht, in welche seitlich 8 Flüssigkeitsströmchen

einmündeten. Um schnell die Elektroden an verschiedenen Stellen des Nerven anzubringen, waren an ihren gläsernen Spitzen gewöhnliche Hanffäden von einigen Millimeter Länge mit Siegellack angeklebt. Der Kochsalzthon berührte diese Fäden, welche als Leiter dienten, indem sie während des Versuches ebenfalls mit physiologischer Kochsalzlösung getränkt waren. — An einem dem Nerv ungefähr parallelen, horizontal aufgestellten Drahte wurden dann die Electroden verschoben und mit den frei hervorragenden Enden in die kleinen Zuflusskanäle eingetaucht. Zudem befand sich im Nervenkreise stets ein Zinkvitriolwiderstand und ausserdem wurde darauf geachtet, dass der Nerv immer in capillärer Flüssigkeitsschicht sich befand und nicht in einer grossen Flüssigkeitsmasse schwamm, welche Aenderung selbstverständlich bei der dann veränderten Stromdichte die Versuchsergebnisse erheblich beeinflusste und dieselben nicht ohne Weiteres mit einander vergleichen liess.

Betreffs der genaueren Grössenverhältnisse des Kästchens diene folgende Auseinandersetzung. Diejenige Zuflussrinne, welche dem Muskel zunächst lag und nur einige Millimeter von dem kurzen seitlichen Rande des Plättchens entfernt war, bezeichne ich mit Nr. I, die nächstfolgende mit II und so fort. Die Ausmasse waren folgende. Entfernung von der Mitte der Zuflussrinne VIII bis zur Mitte derjenigen von VII (VIII—VII) = 5,5; VIII—VI = 11,5; VIII—V = 17,0; VIII—IV = 22; VIII—III = 28; VIII—II = 34; VIII—I = 39.

Vermittelst dieser kleinen Vorrichtung stellte ich nun eine Reihe von Versuchen derart an, dass ich eine Elektrode, z. B. die untere festsetzte und mit der anderen nach oben wanderte, gewöhnlich nur so weit, bis die Zahl der Nervenfasern die gleiche blieb, also nicht über den

Abgang der Oberschenkeläste. Manchmal aber bei abgetrenntem Peroneus auch höher hinauf. Die Ergebnisse dieser Versuche habe ich bereits auf der Seite 15 und den folgenden berichtet. Ferner wurden die Versuche so eingerichtet, dass die beiden Elektroden angelegt wurden in die Rinnen III—IV, welche etwa in der Mitte des Nerven lagen; dann rückte man mit der einen Elektrode nach unten, mit der anderen nach oben, so dass bei dem nächsten Versuche die Elektroden in den Rinnen II V lagen, sie sich also symmetrisch von der Mitte des Nerven entfernten. Auch über das Ergebniss dieser Versuche*) ist bereits oben Einiges mitgetheilt. Schliesslich verschob ich beide Elektroden zugleich, indem ich sie immer um ein Stück vorwärts rückte, so dass also die Elektroden selbst lagen in den Zufussrinnen I—II, II—III, III—IV und so weiter.

Leztere Versuche scheinen mir von besonderer Wichtigkeit zu sein. Denn obwohl man über die verschiedene elektrische Erregbarkeit des Nerven an verschiedenen Punkten seines Verlaufes bereits manigfach Untersuchungen angestellt hat, so dürfte nach meiner Meinung die Angelegenheit noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden. Das Gesicherte in dieser Angelegenheit scheint Folgendes zu sein. Die elektrische Erregbarkeit des Nerven an verschiedenen Punkten seines Verlaufes ist sicher nicht die gleiche. *Budge**)* schon giebt Knotenpunkte am Ischiadicus an, an welchen erhöhte Erregbarkeit herrsche. *Pflüger***)* der die Untersuchungen am durchschnittenen Nerven machte, findet ebenfalls, dass der Reiz an einem Punkte höher oben, nahe dem Querschnitte angebracht, stärker wirke, als wenn derselbe tiefer unten, näher dem

*) Siehe S. 16 A, B etc.

***) Virchow's Archiv, Bd. 18, S. 451.

****) Physiologie des Electrotomus, S. 146.

Muskel gesetzt wird. Er nahm desshalb an, dass der Reiz lawinenartig bei seinem Fortschreiten anschwellt. *Heidenhain*^{*)} erklärte die Versuchsergebnisse *Pflügers* wesentlich durch die Wirkung des Querschnittes, welcher Erregbarkeitserhöhend wirkt und fand ausserdem, ähnlich wie *Budge*, gewisse Knoten- oder Wendepunkte in der Erregbarkeit, während andere der Anschauung *Pflügers* beitraten (s. *Hermanns* *Physiol.* Bd. 2, H. 1, S. 115) Schliesslich sei noch erwähnt, dass nach den Untersuchungen von *Hermann* (*Pflüger's Arch.* Bd. 8, S. 361) und *Fleischl* (*Wiener Sitz. bei 3. Abthlg.* Bd. 72, S. 393 und Bd. 74, S. 403) der Nerv eine verschiedene Erregbarkeit besitzt für aufsteigende, resp. absteigende Ströme an verschiedenen Stellen seines Verlaufes, indem, wie *Hermann* gefunden, in den unteren Abschnitten wesentlich aufsteigende, in den oberen dagegen absteigende Ströme wirksam sind und wie *Fleischl* noch ausserdem fand, diese verschiedene Erregbarkeit an dem Nervenstamme sich mehrfach wiederholt, so dass nahe dem Muskel aufsteigende Ströme unterhalb des Abganges der Oberschenkeläste absteigende, oberhalb desselben aufsteigende dann etwas höher wieder absteigende Ströme wesentlich wirksam sind. Zwischen zwei derartigen Stellen finden sich immer solche, die für Ströme beiderlei Richtungen gleich erregbar sind. Diese Verhältnisse wiederholen sich noehmals höher oben.

Fleischl sieht darin eine ganz besondere Eigenthümlichkeit des Nerven, *Grützner* (*Pflüger's Arch.* Bd. 28, S. 130) dagegen eine mehr zufällige Eigenschaft, bedingt durch die an verschiedenen Stellen in Folge mechanischer Verletzung erzeugten örtlichen Ströme, welche sich entweder zu den Reizströmen addiren und sie verstärken, beziehungs-

^{*)} Studien des physiolog. Instituts zu Breslau, Heft I, S. 1.

weise im entgegengesetzten Falle sich subtrahiren und sie schwächen. *Fleischl* ist zwar kürzlich gegen diese Auffassung aufgetreten, indess glaubt *Grützner* auf Grund einer binnen Kurzem zu veröffentlichenden Versuchsreihe, auf die hiemit verwiesen wird, seine Erklärung aufrecht erhalten zu müssen.

Um nun die verschiedene elektrische Erregbarkeit an verschiedenen Punkten unabhängig von der Stromrichtung zu untersuchen und ausserdem stets gleich viel Nervenfasern zu erregen (was, soviel mir bekannt, bei allen früheren Versuchen ausser Acht gelassen wurde), verfuhr ich in der Weise, dass ich, wie oben angedeutet, an dem isolirten *Tibialis*, oder am *Tibialis* und *Peroneus* zusammengenommen die Elektroden bald oben, bald weiter unten anlegte und mit auf- und absteigenden galvanischen und faradischen Strömen reizte. Der Nerv lag hiebei in dem oben beschriebenen kleinen Apparate im *Pflüger'schen* Myographion; der oben erwähnte Zinksulphatwiderstand befand sich im Nerven- beziehungsweise Reizkreise.

Ich bestimmte stets bei diesen Versuchen diejenige geringste Stromstärke, welche die erste Zuckung auslöste. Zum Belege für das bereits oben angedeutete Resultat, dass der Nerv in den höheren Abschnitten besser erregbar ist, als in den tieferen, folgt eine Reihe von Versuchsbeispielen.

Inductionsströme.

EE = Entfernung der Elektroden von einander.		Rollenabstand in Ctm.		Rollenabstand in Ctm.	
EE	↓	↑	EE	↓	↑
1) I—II*	— 1,8	— 1,8	2) II—III	— 2,6	— 2,4
	— 3,3	— 3,2	III—IV	— 2,7	— 2,8
	— 4,1	— 4,1	IV—V	— 3,7	— 3,3
	— 4,6	— 4,6	V—VI	— 3,2	— 4,1
	— 4,0	— 4,1			
	— 4,8	— 4,7			
	— 4,8	— 4,8			

(*) Ist nahe dem Muskel.

Tibialis allein.

Rollenabstand in Ctm.				Rollenabstand in Ctm.			
	EE	↓	↑		EE	↓	↑
3)	I—II	— 4,6	— 3,9	4)	I—II	— 7,8	— 7,7
	II—III	— 4,1	— 4,5		II—III	— 8,7	— 7,9
	III—IV	— 4,6	— 4,6		III—IV	— 8,4	— 9,1
	IV—V	— 4,7	— 4,4		IV—V	— 9,4	— 9,4
	V—VI	— 4,7	— 4,5				

Galvanische Ströme.

EE = Elektrodenweite.

EE				EE			
	EE	↓	↑		EE	↓	↑
1)	I—II	— 450*	— 450	2)	I—II	— 275	— 450
	II—III	— 300	— 300		II—III	— 180	— 450
	III—IV	— 205	— 170		III—IV	— 100	— 175
	IV—V	— 180	— 150		IV—V	— 70	— 70
	V—VI	— 200	— 140		V—VI	— 30	— 65
	VI—VII	— 110	— 50				

EE				EE			
	EE	↓	↑		EE	↓	↑
3)	I—II	— 255	— 250	4)	I—II	— 90	— 150
	II—III	— 255	— 245		II—III	— 55	— 100
	III—IV	— 105	— 190		III—IV	— 0	— 0
	IV—V	— 105	— 135		IV—V	— 0	— 0

Tibialis allein.

EE				EE			
	EE	↓	↑		EE	↓	↑
5)	I—II	— 160	— 220	6)	VI—V	— 35	— 190
	II—III	— 135	— 180		V—IV	— 90	— 110
	III—IV	— 45	— 30		IV—III	— 100	— 75
	IV—V	— 20	— 30		III—II	— 145	— 70
	V—VI	— 20	— 50		II—I	— 175	— 65

EE				EE			
	EE	↓	↑		EE	↓	↑
7)	I—II	— 1800	— 535	8)	I—II	— 130	— 190
	II—III	— 280	— 150		II—III	— 90	— 110
	III—IV	— 20	— 80		III—IV	— 70	— 75
	IV—V	— 0	schwache Zuckung. 10		IV—V	— 65	— 70
	V—VI	— 0	starke Zuck. 0		V—VI	— 65	— 65

*) Ausser dem Neusilberdraht war noch ein Siemens'scher Stöpselreostat in die Nebenschliessung eingeschaltet.

Diese Versuche lehren also, dass der Nerv alles Uebrige gleich gesetzt, sowohl für auf- wie absteigende Ströme oben besser erregbar ist, als unten. Ausnahmen von der Regel werden nur dann beobachtet, wenn Eigenströme in Nerven selbst vorhanden sind, welche die Versuchsergebnisse in ihrer Deutlichkeit verwischen.

Da der Nerv in seinen oberen Particeln elektrisch besser erregbar ist, so muss auf Grund der jetzt herrschenden Ansichten angenommen werden, dass er auch besser polarisierbar ist. Dahingehende Versuche wurden kürzlich von *Tigerstedt* (Mittheil. d. physiol. Laboratoriums in Stockholm, Heft 2, S. 33, 1882. Zur Theorie der Oeffnungszuckung) angestellt, der in der That fand, dass in der Nähe des Querschnittes der Nerv besser polarisierbar ist, als in seiner Mitte und hier wieder besser, als in seinen unteren Abschnitten. *Tigerstedt* erklärt sich aber mit Recht die Ergebnisse seiner Versuche mindestens zum grössten Theil aus dem besseren Leitungsvermögen der oberen Nervenstrecken.

Auch ich suchte die Frage experimentell zu lösen, aber unter der Berücksichtigung der Vorsichtsmaassregeln, die ich oben angegeben habe, nämlich, dass die Zahl der Nervenfasern die gleiche bleibt.

Hiebei fand ich, dass der polarisatorische Nachstrom unter sonst gleichen Bedingungen an den höheren Stellen des Nerven regelmässig stärker, manchmal mehr, als um das Doppelte so stark ausfiel. Das Verhalten änderte sich nicht, (wenn auch selbstverständlich die Bussolaanschläge kleiner wurden), wenn man in den Bussolkreis oder auch in den Bussol- und Reizkreis bedeutende Widerstände einschaltete: Ein Beweis dafür, dass die in Betracht kommenden elektromotorischen Kräfte der polarisatorischen Nachströme in der That wesentlich von ein-

ander verschieden waren, je nachdem man oben oder unten polarisirte.

II. Das Zuckungsgesetz an den verschiedenen Stellen des Nerven.

Besonders erwähnenswerth scheint mir noch das *Verhalten des Zuckungsgesetzes* an verschiedenen Stellen des Nerven. Das *Pflüger'sche* Zuckungsgesetz sagt bekanntlich aus, dass schwache Ströme, sowohl ab- wie aufsteigende, nur SZ, mittelstarke Ströme dagegen SZ und OZ ergeben, während starke aufsteigende die SZ nicht zu Stande bringen können. Betreffs der Oeffnungszuckungen, welche überhaupt erst bei stärkeren Strömen auftreten, ist bekannt, dass sie bei starken absteigenden verschwinden, bei aufsteigenden dagegen bestehen bleiben. Das Zuckungsgesetz gestaltet sich nun aber ganz verschieden je nach dem Ort, wo die reizenden etwa 5—8 mm von einander entfernten Elektroden an den Nerven angelegt werden, wie man aus nachfolgenden schematischen Zeichnungen erschen kann. Auf die Abscissen sind die Stromstärken von 1—1000 aufgetragen, die Ordinaten stellen die zu jeder Stromstärke gehörigen Zuckungshöhen dar. Die Curven der Schliessungszuckungen ($S\downarrow$ u. $S\uparrow$) sind ausgezogen, die der Oeffnungszuckungen ($O\downarrow$ u. $O\uparrow$) punkirt gezeichnet. Da die Erregung des Nerven eine polare ist und von der Grösse des entstehenden Elektrotonus abhängt, so ist es selbstverständlich, dass an den *oberen* Nervenabschnitten schon schwache Ströme SZ erzeugen und die Curve in Fig. 1a folgende Gestalt annimmt. Sie beginnt schon bei einer geringen Stromstärke (etwa 20) und steigt dann, schnell ihren Höhepunkt erreichend, aufwärts. Auch die Curve für $S\uparrow$ in Fig. 1b beginnt früh (etwa

bei 30), steigt schnell in die Höhe, sinkt aber andererseits ausserordentlich schnell ab, so dass sie schon bei Nr. 300 die Apcisse erreicht, d. h., dass also schon bei einer Stromstärke von 300 $S \uparrow$ keine Zuckung mehr auslöst. Die Oeffnungszuckungen dürften sich ähnlich verhalten. (Siehe Fig I a und $O \downarrow S \uparrow$ und b $O \uparrow S \downarrow$.)

Vergleichen wir nun hiermit die Fig. II a u. II b. Die Schliessungszuckungen beginnen viel später (50 gegen 20 und 30 im vorigen Fall) und die Schliessungszuckungen aufsteigender Ströme verschwinden erst bei 600—700.

Wie man also sieht, ist im ersteren Falle auch der Anelektrotonus zu so starker Entwicklung gelangt, dass der an der Kathode gesetzte Reiz von 300 nicht mehr durch die anodische Strecke hindurch kann, während es in der Mitte des Nerven eines Stromes von 700 bedarf, um einen so starken Anelektrotonus zu erzeugen, dass er den kathodischen Reiz nicht mehr durchlässt.

Ganz ähnlich, nur noch ausgesprochener, ist das Verhalten des Nerven in den *unteren* Abschnitten des Verlaufes. Hier gestaltet sich das Zuckungsgesetz folgendermaassen (s. Fig. III a u. b). Die $SZ \uparrow$ und $SZ \downarrow$ Ströme beginnen (mit gewissen Ausnahmen) viel später; bei 150 für $S \downarrow$, bei 100 für $S \uparrow$.

Allerdings sieht man häufig ein verhältnissmässig frühes Ansteigen für $S \uparrow$ auf Grund der zuerst von *Hermann* aufgefundenen und dann von *Grützner* und *Fleischl* genauer untersuchten Thatsache, dass in den unteren Abschnitten des Nerven aufsteigende Ströme besser wirksam sind; da die Thatsachen aber nur den ersten Anstieg der Curven ein wenig umändern und nicht im Princip gegen die eben ausgesprochenen Gesetzlichkeiten verstossen, so brauchen wir sie vorläufig weiter nicht zu berücksichtigen.

Während nun an den oberen und mittleren Abschnitten des Nerven die SZ aufsteigender Ströme, die immer stärker werden, mehr oder weniger schnell verschwanden, so war es hier, wie ich mich durch mehrfache Versuche überzeugte, nicht möglich, die SZ aufsteigender Ströme zum Verschwinden zu bringen. Die Curve S† in Fig. IIIb verläuft also der Abscisse parallel. So geringfügig war also die Entwicklung des Anelektrotonus an der dem Muskel naheliegenden Anode, dass der obere Kathodenreiz immer noch durch diese Stelle hindurch konnte. Dieser äusserste Zustand ging, wie leicht verständlich und wie die Curve verdeutlicht, allmählich in denjenigen über, bei welchem die SZ schnell verschwanden. (Vergl. S† in Fig. Ib, IIb u. IIIb.)

Ich wende mich nun zu dem Verhalten der Oeffnungszuckungen. Nach den neueren Versuchen von *Grützner* (Pflüger's Archiv Bd. 32, S. 351) und *Tigerstedt* (l. c.) ist es sicher gestellt, dass für das Zustandekommen der Oeffnungszuckung der polarisatorische Nach- oder Gegenstrom von der grössten Wichtigkeit ist. Mag man nun der Ansicht sein, dass derselbe durch sein Entstehen reizend wirkt, wie das *Grützner* und *Tigerstedt* annehmen, oder der anderen, namentlich von *Pflüger* und *Hermann* (Pflüger's Archiv Bd. 30 S. 15 u. Bd. 33 S. 103) verfochtenen Meinung beitreten, dass das Entstehen eines mehr oder weniger starken Polarisationsstroms auch mehr oder weniger schnell den Anelektrotonus beseitigt und dem zu Folge verschiedene Reizwirkungen entfaltet; so viel ist sicher, dass dieser Strom, dem man bisher eigenthümlicher Weise so wenig Beachtung betreffs des Zustandekommens der Oeffnungszuckung geschenkt hat, hierfür von der grössten Bedeutung ist. Demnach sehen wir auch, dass, wo der Nerv leicht polarisirt wird, auch

leicht Oeffnungszuckungen entstehen, was gelegentlich schon von *Grützner* (Pflüg. Arch. Bd. 28) beobachtet und ausführlicher von *Tigerstedt* (l. c. § 29) bestätigt wurde. Halten wir uns wiederum an die Fig. I, II und III, so sieht man, dass in der Fig. I b O↑ zeitig (bei 50) eintraten und natürlich bestehen blieben. Im mittleren Theile des Nerven beginnen die O↑ erst bei 150; im unteren kommen sie entweder sehr spät (bei 700) oder gar nicht zu Stande; sogar die stärksten Ströme lösten sie nicht aus. Den Oeffnungszuckungen absteigender Ströme habe ich meine Aufmerksamkeit nicht weiter zugewendet und nur so viel gesehen, dass sie ebenfalls von der Stärke der Polarisirbarkeit der Nervenstrecke im oben angedeuteten Sinne abhängen. Die Curven O↓ in den Fig. I a, II a u. III a sind also, was ihre Einzelheiten anbelangt, nach Wahrscheinlichkeitsgründen, aber nicht auf Grund bestimmter Versuche, wie alle übrigen (S↓, S↑ u. O↑) gezeichnet.

Betreffs des Verschwindens der SZ aufsteigender Ströme habe ich im Anschluss an die obigen Versuche noch eine grössere Anzahl von Versuchen mit Elektroden gleicher Spannweiten und mit Elektroden wechselnder Spannweiten angestellt und folgende erwähnenswerthe Beobachtungen gemacht. Bleibt die obere Elektrode fest und rückt die untere nach abwärts, so bedarf man immer stärkerer Ströme, um die SZ zum Verschwinden zu bringen, je weiter man die Elektrode herabrückt. Der Anelektrotonus entwickelt sich trotz vergrösserter Spannweiten immer schwächer bei diesen starken Strömen, je tiefer hinab die Anode an den Muskel rückt. Bleibt hingegen die untere Elektrode fest, so ist das Verhältniss ein anderes und die Vergrösserung der Spannweiten hat in der Mehrzahl der Fälle viel geringeren Einfluss auf

das Verschwinden der Schliessungszuckungen; nur selten wird durch weiteres Hinaufschieben der Kathode die SZ etwas früher zum Verschwinden gebracht. Der Anelektrotonus an der untern. fixen Elektrode bleibt also trotz Vergrösserung der Spannweite ziemlich gleich schwach.

III. Die elektrische Erregbarkeit der sensiblen Nerven.

Nachdem ich so festgestellt, dass die Erregung der *motorischen* Antheile des Froschischiadens verschieden ausfällt an verschiedenen Stellen seines Verlaufes, dass zu gleicher Zeit mit der grösseren Polarisirbarkeit in den oberen Abschnitten des Nerven die Erregbarkeit zunimmt und mit der geringeren Polarisirbarkeit unten die Erregbarkeit abnimmt, machte ich mich daran, auch *sensible* Nerven auf ihre verschiedene elektrische Erregbarkeit zu prüfen.

Ueber diese Frage stellte, wie aus dem Lehrbuch von *Hermann*, Bd. II, Th. 1, § 117, zu entnehmen ist, zuerst *Matteucci* (Bib. univ. Nouv. sér. XVIII, P. 361, 18—38) Versuche an. Er macht die Angabe, dass bei elektrischer Reizung des undurchschnittenen Hüftnerven mit ↓ Strömen, das Thier (Frosch) anfangs (alles Uebrige gleichgesetzt) gleiche Schmerzen äussert, wo man auch den Nerven reizt; später erweisen sich die peripheren Abschnitte des Nerven als weniger erregbar, weil, wie angenommen worden, dieselben bereits abgestorben oder dem Absterben nahe sind. Das Absterben erfolge von der Peripherie nach dem Centrum. Neuerdings haben *Rutherford**) und *Hallsten****) ähnliche Versuche angestellt und entsprechend den Angaben *Matteucci*'s gefunden,

*) Journal of Anat. and Physiol., V. p. 329, 1871.

***) Archiv für Anat. und Physiol. 1876, S. 242.

dass die Reflexe um so früher und stärker auftreten, je näher dem Centrum die undurchschnittenen Nerven gereizt werden. Auch *Remak* (Galvanotherapie der Nerv- und Muskelkrankheiten S. 87, Berlin 1858) behauptet das Gleiche für die völlig unversehrten Nerven des Menschen:

Allen diesen Versuchen aber ist meines Erachtens der Einwand entgegen zu halten, dass, je höher man mit den Elektroden an einem sensiblen Nerven heraufrückt, zu gleicher Zeit die Zahl der erregten Fasern zunimmt. Dadurch wird nach früheren Versuchen von *du Bois-Reymond* und meinen eigenen in Folge der Vergrößerung des Querschnittes, selbst wenn die Intensität des Stromes die gleiche bleibt, die Polarisation und damit die Erregung vermehrt; zweitens wird noch eine ganze Reihe anderer Fasern sensibler Natur mitbetroffen, die alle in dem Centrum enden. Die Zunahme der Erregung wäre also aus diesen beiden Gründen leicht einzusehen. Man darf daher aus den Versuchen nicht ohne Weiteres schliessen, dass die örtliche Erregbarkeit des Nerven eine grössere geworden ist; denn je mehr man sensible Fasern zu gleicher Zeit reizt, um so eher wird eine Reflexbewegung ausgelöst werden. Um also die Frage einwandfrei zu entscheiden, musste dafür gesorgt werden, dass man an einem sensiblen Nerven dieselbe Zahl der Fasern oben, wie unten, elektrisch reizte. Dies erreichte ich dadurch, dass ich immer nur diejenigen Theile des Froschlöffelnerven elektrisch reizte, welche die gleiche Anzahl von Nervenfasern oben und unten darboten. Das Ergebniss dieser Versuche entsprach durchaus den Angaben früherer Forscher, sowie den neueren Ergebnissen der an motorischen Nerven angestellten Versuche. Ausnahmslos traten, wie folgende Versuchsbeispiele lehren, sowohl länger dauernde, wie auch häufig ausgebreitetere Reflexe auf,

wenn man unter obigen Bedingungen die Nerven an den höheren Abschnitten elektrisch reizte. Es waren also auch die *sensiblen Nervenfasern an höheren Abschnitten besser erregbar und polarisierbar. Auch wuchs ihre Erregbarkeit mit Vergrösserung der Elektrodenspannweite, namentlich bei aufsteigenden Strömen.*

Versuche.

Mittelgrosse *Rana esculenta* nach Zerstörung des Grosshirns auf einer Korkplatte mit Nadeln befestigt. Linker Hüft-nerv präparirt. Frosch athmet. Inductionsapparat mit Helmholtz'scher Einrichtung. Ein Daniell, Stromwender und Stromschliessungsapparat im sekundären Kreise. Gewöhnliche Zinkelektroden oben und unten angelegt. 10 Uhr 30 Minuten die Operation gemacht; 10 Uhr 39 Minuten 0,2 Cc einer $\frac{1}{100}$ Strychninlösung und 10 Uhr 42 Minuten noch 0,1 Cc der gleichen Lösung injicirt. 10 Uhr 46 M. der Nerv bei Rollenabstand 19,7 gereizt. Elektroden unten angelegt: keine Reflexbewegungen, oben angelegt starke Krämpfe; das gleiche Verhältniss bei beiden Stromrichtungen.

2) Ziemlich grosser grüner Frosch mit Aether nar-kotisirt bis zur leichten Betäubung, gleich darauf operirt. Gewöhnliche Einrichtung des Inductionsapparates. Rollen weit auseinander geschoben; sekundäre Rolle weit ausserhalb des Brettes. Nach 0,2 Cc Strychninlösung-Injection starke Reflexe bei einer Wippenstellung oben, keine unten; bei anderer Wippenstellung ebenso starke Reflexe unten, keine oben.

3) Helmholtz'sche Einrichtung. Der gleiche Frosch gereizt bei Rollenabstand 19,5; Reflexe treten desto stärker auf, je höher oben die Elektroden angelegt werden, bei beiden Stromrichtungen.

4) Peroneus vom Knie aus durchschnitten und abgezogen. Tibialis allein bei gleicher Einrichtung gereizt.

Die gleichen Resultate bezüglich des Unterschiedes der Reflexe bei Reizung oben und unten bei beiden Stromrichtungen und Rollenabstand 20. Entfernung der Elektroden betrug 3—4 mm.

Die gleichen Versuche bei verschiedener Elektrodenweite.

Rana esculenta, mittelgross, ätherisirt und in gleicher Weise, wie früher, präparirt. $1\frac{1}{2}$ Cc Strychninlösung von 1 pro Mille injicirt. Gewöhnliche Inductionsapparateinrichtung, grosser Zinksulfatwiderstand; ein Daniell; Kupferelektroden verschiebbar.

1) Untere Elektrode fest, obere verschiebbar. Bei einer Spannweite von 2,5 mm tritt ein Reflex bei 27 Rollenabstand sehr schwach ein. Bei einer Elektrodenweite von 14 mm bei gleichem Rollenabstand sehr stark, respektive schwach schon bei grösserem Rollenabstand. Dies für aufsteigende Ströme.

Die absteigenden sind viel unwirksamer unter den gleichen Bedingungen. Reflexe treten ein bei Rollenabstand 23,5 für Elektrodenweite 16,5; bei kleineren Spannweiten sind die Reflexe für gleichen Rollenabstand schwächer, bei 3 mm Elektrodenweite gar nicht vorhanden.

2) Rollenabstand 26 keine Reflexe für kleine Spannweiten, sehr starke Reflexe bei grossen.

3) Bei aufsteigendem Strom für Rollenabstand 34, keine Reflexe bei nahen Elektroden, sehr starke bei weiten.

a. Bei oberer fester Elektrode und aufsteigenden Strömen starke Reflexbewegungen bei Rollenabstand 30 für grosse Spannweiten, bei hohen Elektroden die Reflexe weniger stark.

b) Bei absteigenden Strömen und oberer fester Elektrode bei 30,5 Rollenabstand starke Reflexe für kleine

Entfernungen, viel schwächere für grosse Spannweiten.

IV. Beziehungen zwischen dem Bau und der Erregbarkeit der Nervenstämmе.

Da nun offenbar die elektrische Erregbarkeit aller Nervenstämmе, sensibler sowohl wie motorischer, an den oberen Abschnitten eine höhere war, als an den unteren, so suchte ich noch schliesslich die Frage zu beantworten, welchem anatomischen Verhalten der Nerv die höhere Erregbarkeit und Polarisirbarkeit an seinen oberen Partien verdanke.

Die nächstliegende Erklärung, welche auch bereits von verschiedenen Autoren angedeutet wurde, findet sich offenbar in der verschiedenen Menge des indifferenten Zwischengewebes, welches sich zwischen die einzelnen wirksamen Nervenfasern hineinschiebt und die Polarisirbarkeit herabsetzt. Andererseits muss es auch den an dieser Stelle stattfindenden Reiz verkleinern, indem es als Nebenschliessung die Stromdichte verringert.

In einer ausserordentlich grossen Anzahl von mikroskopischen Querschnitten, welche durch die in passender Weise gehärteten Froschischiadien angelegt wurden, ergab sich, wie aus folgender Tabelle zu entnehmen ist, dass sowohl die Summe der Querschnitte der einzelnen Nervenfasern nahe dem Knie, auch wenn man das äussere umgebende Bindegewebe nicht zählte, etwas grösser war, als die Summe der Querschnitte unterhalb der Oberschenkeläste. Rechnet man aber gar noch das die Nerven in den unteren Abschnitten umhüllende Bindegewebe hinzu, welches niemals von den Nervenfasern behufs elektrischer Reizung abgetrennt werden kann, so findet man in der That, dass Querschnitte durch untere Nervenstücke

regelmässig beträchtlich viel grösser sind, als solche durch obere Nervenstücke.

Der Nerv wurde auf ein Hölzchen aufgespannt und 24 Stunden lang in 1% Osmiumsäure gelassen. Nachher wurde er ausgewaschen, mit Alkohol und Bergamottöl behandelt und in Paraffin eingebettet. Sodann wurde bei diesen, wie bei allen späteren Schnitten, der Nerv in der Mitte umgeknickt, so dass das untere und obere Ende des Nerven neben einander in Paraffin eingebettet lagen. Die dann von dem Mikrotommesser durch beide Nervenenden ausgeführten, dicht neben einander liegenden Schnitte wurden der Reihe nach auf Objektträger mit einer Lösung von Celloidin in Nelkenöl fixirt und in Kanadabalsam untersucht.

Die Nervenquerschnitte messen in Quadranten des gebrauchten Okulars, die bindegewebige Umhüllung nicht in Betracht gezogen:

Oben	Unten
114	117
127	145
109	119
125	136
108	125

Die bindegewebige Umhüllung mitgerechnet:

Oben	Unten
139	195
123	176
104	148
161	221
126	162

An Froschlöffelnerven, deren Gefässe von der Aorta aus eingespritzt waren, konnte ich ferner feststellen, dass in den unteren Abschnitten stets einige kleine Querschnitte von Gefässen zur Beobachtung gelangten, während in den oberen Abschnitten die Gefässe spärlich vertreten waren, was ebenfalls für eine grössere Menge von indifferentem

Zwischengewebe sprechen und die geringere Polarisirbarkeit in den unteren Partien miterklären würde.

Ich lasse es dahingestellt sein, ob diese Thatsache allein die geringere Polarisirbarkeit in den unteren Partien des Nerven bedinge, möchte aber die Ansicht äussern, dass auch die Substanz der Nerven selbst in den oberen Abschnitten seines Verlaufes etwas anders zusammengesetzt ist, als in den unteren. Wenn man nämlich, was bisher meines Wissens noch nicht geschehen ist, die Entfernungen der *Ranvier'schen* Schnürringe von einander in den oberen und unteren Theilen unter sich vergleicht, so findet man regelmässig, dass *die Schnürringe von einander weiter rücken, je mehr sich der Nerv dem centralen Ende nähert*. Es hat mir nicht geringe Schwierigkeiten gemacht, diese Thatsache festzustellen. Zuerst habe ich Hüft- und Armnerven des Frosches ausgespannt, auf ein kleines Holzstäbchen mit Fadenschlingen befestigt, in 1^o Osmiumsäure erhärtet und in wässerigem Glycerin zerzupft. Je nachdem ich nun die oberen oder die unteren Abschnitte des Nerven zerzupfte und die Längen der Nervenstücke zwischen zwei Schnürringen ausmaass, fand ich wohl hin und wieder, dass die oberen Nervenzellenstücke grösser waren, als die unteren. Jedoch konnte ich viel zu wenig solche Nervenabschnitte abzählen, um hieraus auf ein bestimmtes Gesetz zu schliessen. Denn, so leicht es auf der einen Seite ist, vermittelt dieser Behandlung eine Menge *Ranvier'scher* Schnürringe zur Ansicht zu bringen, so schwierig ist auf der anderen Seite, eine ausreichende Menge von Nervenstücken zwischen je zwei Schnürringen genau auszumessen. Ich verliess deshalb diese Methode und wendete mich wieder der Anfertigung von Querschnitten zu. Die Nerven wurden entweder aufgespannt, in Müllerscher Flüssigkeit erhärtet, mit Carmin gefärbt und in Paraffin

eingebettet geschnitten, oder was sich mir am vortheilhaftesten bewährte und unzweideutige Bilder lieferte, im gestreckten Zustande in Silbersalpeter (Arg. utr. $\frac{1}{3}\%$) auf etwa 24 Stunden gelegt, mit Wasser ausgespült, in Alkohol entwässert und wiederum eingebettet, geschnitten. Bekanntlich färben sich diejenigen Stellen der Nervenfasern, welche früheren Zellgrenzen entsprechen, durch diese Behandlung braunschwarz und beim Aufblick auf die Länge des Nerven sieht man an allen jenen Stellen zierliche braunschwarze Kreuzchen entstehen. Auf dem Querschnitte sind sie natürlich nicht mehr zu sehen, wohl aber treten auf's Deutlichste braune oder schwarze, kleine Kreise auf, welche immer diejenigen Stellen bezeichnen, an denen zwei Nervenzellen aneinander stossen. Die Nervenfaser selbst wird durch die genannte Behandlung mit Arg. nit. nur schwach gelbbraun gefärbt, so dass man also jetzt auf diesen Querschnitten eine grosse Menge von quergetroffenen gelblichen Nervenfäsern vor sich hat, zwischen denen kleine schwarze Kreise in grösserer oder geringerer Menge eingesprengt liegen; ein ungemein charakteristisches und zierliches Bild. Ich habe nun eine ganze Anzahl von Querschnitten verschiedener Hüftnerven des Frosches in der Weise angelegt, indem ich immer das Knieende des betreffenden in Paraffin eingeschmolzenen Nerven dicht an das obere Ende heranbog und, wie schon oben erwähnt, zu gleicher Zeit durch das obere und untere Ende quer schnitt.

Je weiter ich nun mit den Schnitten herabkam, um so näher rückten, wie leicht begreiflich, die durch die Nerven geführten Querschnitte. Es ergab sich nun, dass auf eine Flächeneinheit in den oberen Abschnitten des Nerven viel weniger schwarze Kreise kommen, als auf die gleiche Flächeneinheit unten. Der Zahlenunterschied

war am grössten, wenn die Schmitte durch das obere und untere Ende fielen, und die Zahlen näherten sich mehr, je näher, wie oben bemerkt, die Querschnitte einander rückten. Hieraus ergibt sich also der Schluss, dass die unteren Nervenzellenstücke (so nenne ich die zwischen je zwei *Rancier'schen* Schnürringen gelegenen Nervenabschnitte) kleiner sind, als die oberen; denn man trifft ja mehr Schnürringe unten, als oben. Es ist mir nicht unwahrscheinlich, dass auch diese anatomische Anordnung der Nervenfasern, welche sowohl für motorische, als sensible Fasern gilt, die geringere Polarisirung zur Folge hat; denn die die Nervenzellen verbindende Kittsubstanz dürfte, wenn in grösserer Menge vorhanden, die Polarisirbarkeit der Nervenfasern herabsetzen.

Schliesslich möchte ich noch auf einen Punkt hinweisen, der mit meinen Messungen übereinzustimmen scheint und kürzlich von *Rosenthal* (du Bois-Reymonds, Arch., Supplem. Bd. 1883, S. 278) aufgefunden ist; es betrifft dies die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreize an verschiedenen Stellen des Nerven. *Rosenthal* fand mittelst seines neuen Kreiselmypographion oder stellt es wenigstens als höchst wahrscheinlich hin, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Reizes nach der Peripherie hin abnimmt. Es scheint mir dies leicht verständlich, wenn man bedenkt, dass sicherlich der Reiz, wenn er von einer Nervenzellenstrecke auf die andere übergeht, eine gewisse Hemmung erfährt, indem er einen, wenn auch noch so kleinen Widerstand zu überwinden hat. Hat er nun häufiger in der Zeiteinheit von einem Zellenstück zum anderen überzugehen, wie an den untern Abschnitten des Nerven, so wird er in seiner Fortpflanzungsgeschwindigkeit mehr gehemmt, als wenn diese Uebergänge in der Zeiteinheit seltener folgen, wie an den oberen Abschnitten.

Zum Belege für obige Angaben schliesse ich eine Reihe von Beispielen an.

Die Auszählung geschah regelmässig so, dass ich eine in kleine Quadrate eingetheilte Glasplatte in dem Okular des Mikroskopes befestigte und die Nervenquerschnitte damit ausmass. Die Zahlen unter Querschnitt des Nerven geben also an, wie viel kleine Quadrate der Okularmessfläche in einem Nervenabschnitte enthalten sind; die zweite Zahl gibt die Menge der auf diese Fläche kommenden *Ranvier'schen* Schnürringe und die dritte die auf die Flächeneinheit kommenden an.

Versuchsbeispiele.

	Querschnitt des Nerven.	Oben.		Unten.		Querschnitt des Nerven.
		Zahl der Schnürringe absolute.	auf Flächen- einheit.	Zahl der Schnürringe auf Flächen- einheit.	absolute.	
1)	26	120	5	9	108	12
2)	26	111	4	7	95	13
3)	26	70	3	6	64	11
4)	26	60	2	5	50	11
5)	25	72	3	4	55	13
6)	25	51	2	3	40	14
7)	25	70	3	4	57	13
8)	26	64	2	4	48	12
9)	28	58	2	3	58	17
10)	24	53	2	4	52	13
11)	24	60	2	4	54	13
12)	25	66	3	3	32	12
13)	24	67	3	4	54	12
14)	26	35	1	2	30	13
15)	24	46	2	4	52	14
16)	24	43	2	2	33	14
17)	28	50	2	2	26	13
18)	25	45	2	3	42	12
19)	25	36	1	2	27	13
20)	24	17	1	1	16	15
21)	24	23	1	2	30	13
22)	25	35	1	2	32	13

Die Ergebnisse vorliegender Untersuchungen dürften also, kurz zusammengefasst, folgendermassen lauten:

1) Der Nerv ist (vorläufig allerdings erst bewiesen für den Hüftnerv des Frosches) in seinen oberen, dem centralen Ende näher gelegenen Abschnitten, auch wenn immer nur die gleiche Zahl Nervenfasern von dem elektrischen Strome durchsetzt wird, besser polarisierbar und besser erregbar, als in seinen unteren Abschnitten. Dies gilt sowohl für motorische, wie für sensible Nerven.

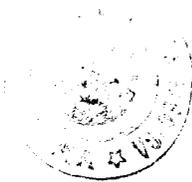
2) Das *Eplüger'sche* Zuckungsgesetz gestaltet sich dem zufolge verschieden, je nach dem die Elektroden höher oben oder tiefer unten angelegt werden, indem im ersteren Falle die Schliessungszuckungen durchschnittlich eher auftreten und bei Schliessung aufsteigender Ströme auch eher verschwinden. Die Öffnungszuckungen (aufsteigender Ströme) sind oben sehr leicht, unten dagegen schwer oder gar nicht zu Stande zu bringen.

3) Mit der Grösse der Spannweite der Elektroden wächst, selbstverständlich bei gleicher Stromintensität und gleicher Anzahl der Nervenfasern, in der Regel die Erregbarkeit des Nerven und zwar um so mehr, je höher gelegene Abschnitte des Nerven zwischen die Elektroden gefasst werden. Findet das Entgegengesetzte statt, schliessen also die Elektroden mit grösser werdenden Spannweiten mehr und mehr tiefer gelegene Abschnitte des Nerven ein, so entspricht einer grösseren Spannweite nicht notwendig eine höhere Erregbarkeit; der Unterschied ist mindestens nicht so bedeutend.

4) Diese verschiedenen physiologischen Zustände des Nerven fallen mit anatomischen Verschiedenheiten desselben zusammen, indem in den unteren Abschnitten des Nerven die *Hawriev'schen* Schnürringe näher aneinander

stehen, als in den oberen und mehr indifferentes Zwischen-
gewebe enthalten.

Zuletzt erlaube ich mir noch Herrn Prof. Dr. *Grünner*
für die Anregung zu dieser Arbeit, wie für die stetige
Unterstützung, die er mir während der Ausführung der-
selben zu Theil werden liess, meinen besten Dank aus-
zusprechen.



15850

Fig. I^α

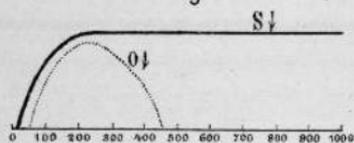


Fig. I^β

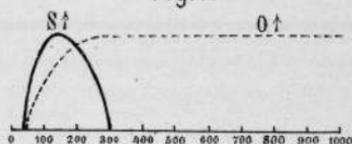


Fig. II^α

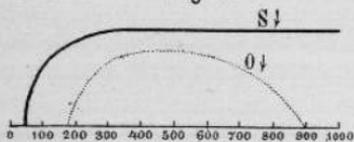


Fig. II^β

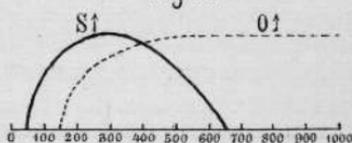


Fig. III^α

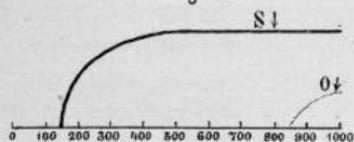
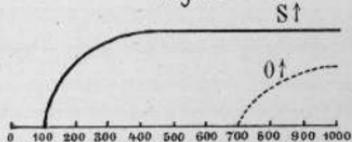
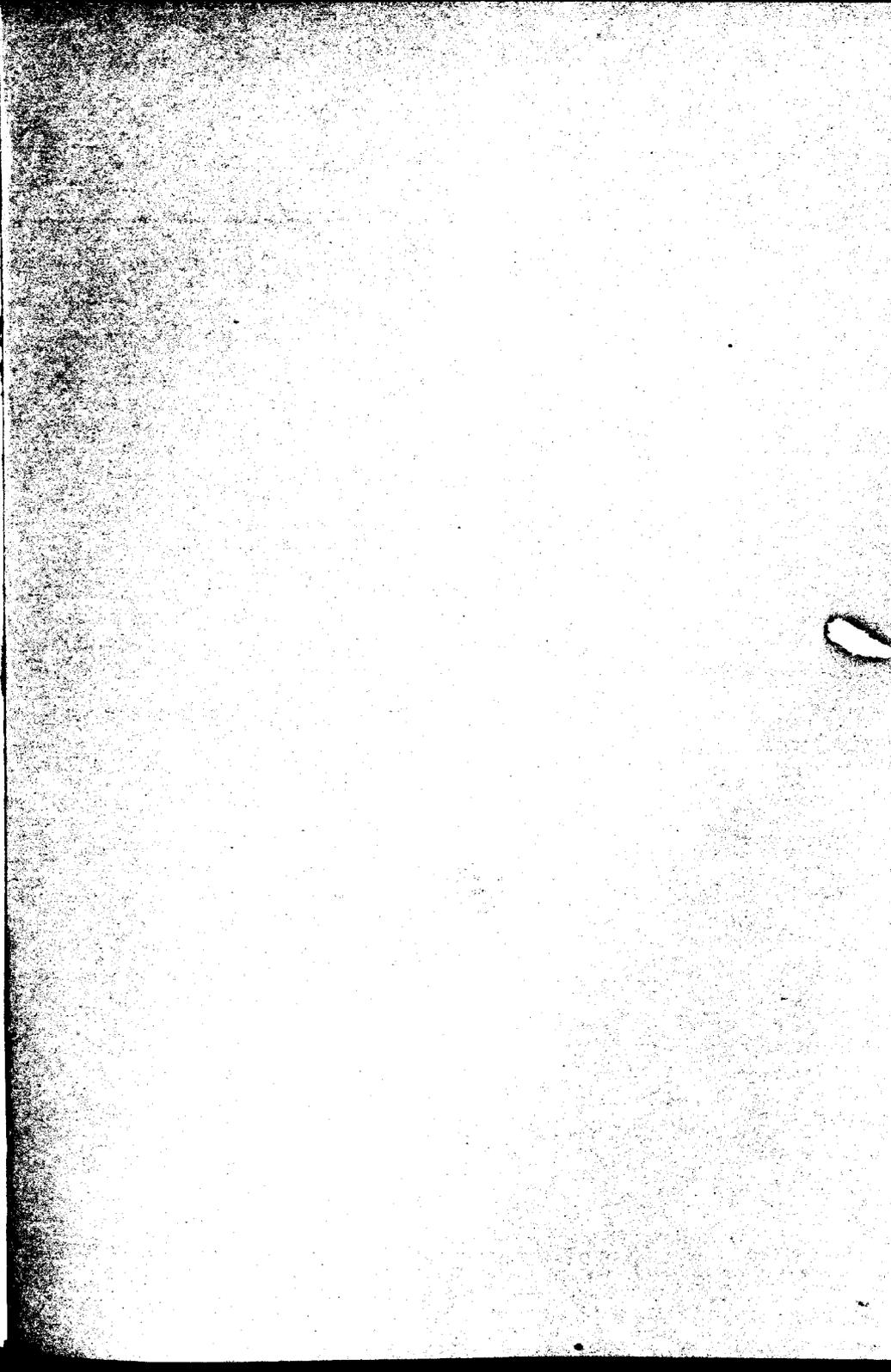


Fig. III^β



1921





10/29/95

11