(Aus dem physiologischen Institut der Universität Wien.)

Wassergehalt und Organfunction.

Dritte Mittheilung¹⁾.

Von

Dr. **Arnold Durig**, Assistenten am Institute.

(Mit 5 Textfiguren und Tafel III.)

Ueber die Leitungsgeschwindigkeit im normalen und wasserarmen motorischen Froschnerven.

In der weiteren Verfolgung des ursprünglichen Zieles aus den Resultaten der Untersuchungen über die geänderte Function einzelner Organe, deren Wassergehalt vermindert ist, Schlüsse auf das Geschehen in der lebenden Substanz überhaupt ziehen zu können, Schlüsse, die unter Zugrundelegung der bekannten chemisch-physikalischen Gesetze aufgebaut werden sollen, sind auch die vorliegenden Beobachtungen durchgeführt. Sie umfassen nur Versuche über die Fortpflanzung der Erregung im Froschnerven, sollen aber in Bälde durch weitere Mittheilungen über die Erregungsleitung im Muskel und den Ablauf der elektrischen Vorgänge in Muskel und Nerv ergänzt werden, die sich freilich vorläufig nur auf den Frosch allein beziehen werden.

So einfach die Frage auf den ersten Blick zu lösen schien und so präcise auch die ganze Technik der Versuche gegeben ist, so viele Schwierigkeiten stellten sich der Ausführung der Beobachtungen entgegen und liessen diese durch lange Zeit nicht einwandfrei erscheinen, um so mehr, als die erhaltenen Resultate keine eindeutigen waren. Die Schwierigkeiten, mit denen jede Untersuchung über die Leitungsgeschwindigkeit zu kämpfen hat, hätten sich freilich schon beim Durchsehen der ziemlich umfangreichen, einschlägigen

1) Dieses Archiv Bd. 87 S. 42.

Literatur erkennen lassen, da bisher fast dieselbe Zahl von Autoren eine Zunahme der Leitungsgeschwindigkeit in Nerven mit steigender Reizstärke fand, wie sie negirte. In beiden Lagern finden sich Namen der bedeutendsten Vertreter physiologischer Forschung, und trotzdem haben die mit peinlichster Sorgfalt durchgeführten Untersuchungen zu jenen ganz entgegengesetzten Resultaten geführt. Erst im letzten Jahre schien durch eine Arbeit Engelmann's¹⁾, die wohl den Anspruch auf grösste Genauigkeit machen kann, die Entscheidung sich endgültig der Unabhängigkeit der Leitungsgeschwindigkeit im Nerven von der Reizstärke zuzuwenden. Es war somit nichts naheliegender, als genau der von Engelmann angegebenen Versuchsmethode zu folgen, denn es war voraus zu sehen, dass dadurch jene störenden Einflüsse, welche sonst die Verwerthbarkeit der Ergebnisse am wasserarmen Nerven beeinträchtigt hätten, in Wegfall kommen würden. Bei der zu erwartenden Unabhängigkeit konnte die, durch die verschiedene Erregbarkeit von wasserarmen und normalen Nerven event. geforderten Unterschiede in der Reizstärke die Fortpflanzungsgeschwindigkeit nicht beeinflussen. Die am wasserarmen und normalen Nerven erhaltenen Resultate hätten daher vergleichbar sein müssen. Engelmann's Methode schliesst sich im Wesen der zuerst von Helmholtz verwendeten Methode der Fortpflanzungsgeschwindigkeits-Messung an, weist aber als ein ihr specifisches Moment die Anwendung der neu construirten Tunnelelektroden auf, welche der extrapolaren Amortisirung des Stromes dienen sollen. Es kann an dieser Stelle wohl darauf verwiesen werden, dass es unnöthig erscheint, auf die zahlreichen Versuche, die über die Leitungsgeschwindigkeit angestellt wurden, einzugehen, da diese ohnedies in der Arbeit Engelmann's sowie jener von Vintschgau²⁾ angeführt sind, und die inzwischen neu hinzugekommenen einschlägigen Veröffentlichungen, welche in den genannten Publicationen nicht citirt sind, sich zum Theil in den Lehr- und Handbüchern angegeben finden, zum Theil erst der jüngsten Zeit entstammen. Aus den erwähnten Gründen können auch jene Argumente übergangen werden, welche von der einen und der anderen Seite für und gegen die Aenderung der Leitungsgeschwindigkeit im Nerven in's Feld geführt werden. Es kann in Bezug auf diese ebenfalls auf die ausführliche Arbeit von

1) Arch. f. Anat. und Physiol. 1901 S. 1.

2) Dieses Archiv Bd. 30 S. 17.

Vintschgau verwiesen werden. Nur auf die Untersuchungen ¹⁾ und Berechnungen Hermann's soll an dieser Stelle noch eigens hingedeutet sein. Hermann betont nämlich, ohne auf die Controverse zwischen Engelmann und Bernstein bezüglich der Abhängigkeit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Muskel von der Reizstärke einzugehen, dass er glaube, es müsse sich die Erregungsfortpflanzung analog der Fortpflanzung von Schall-, Licht- und Schlauchwellen mathematisch ausdrücken lassen, woraus dann eine Unabhängigkeit des Fortschreitens der Erregungswelle von der Reizstärke sich ergeben würde. Die Vergrößerung der Reizstärke würde sich dann nur in einer Vergrößerung der gleichzeitig erregten Strecke, also einem Längerwerden der Erregungswelle und nicht einer Geschwindigkeitsänderung äussern. In seiner späteren Arbeit gelingt Hermann wirklich die Entwicklung der Differentialgleichung, und bei der Besprechung dieser weist er dann neuerdings darauf hin, dass dadurch eine Unabhängigkeit des Ablaufes der Welle von der Art der Erregung, sei diese nun auf chemischem, mechanischem oder elektrischem Wege herbeigeführt worden, sich ergibt, und dass ferner damit eine Uebereinstimmung mit der von Engelmann gemachten Angabe der Unabhängigkeit von Leitungsgeschwindigkeit im Froschmuskel gegeben ist.

Bezüglich der Beschreibung der Methodik der Versuche ist es trotz der anscheinend vollkommen gegebenen Erfordernisse für die Durchführung der Beobachtungen doch nothwendig, eine ausführlichere Darlegung zu wählen, nachdem bereits die ersten Versuche unter den von Engelmann beschriebenen Bedingungen ergeben hatten, dass eine Unabhängigkeit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von der Reizstärke nicht in allen Fällen zu beobachten ist. Ausserdem fielen bei sehr wasserarmen Muskeln die Hubhöhen auch bei sehr starken Vergrößerungen noch so niedrig aus, dass die geringe Neigung der Curven, die bei rascher Rotation des Cylinders für die Zeitmessung zu Stande kam, eine Auswerthung der Curvenabstände sehr ungenau machte. Es war aus diesem Grunde nöthig, wieder auf die Methode zurückzukommen, welche bei den Versuchen über die Latenz des Muskels von mir verwendet worden war. Nach

1) Dieses Archiv Bd. 73 S. 452 und Bd. 75 S. 574.

dem anderen Zwecke, dem sie nun diente, musste natürlich eine Modification derselben vorgenommen werden, wenn auch das Princip

der Registrirung des Zuckungsbeginnes mit Hülfe eines Centralhebels und des Pfeil'schen Signals das nämliche blieb. Vorstehendes Schema soll der Erläuterung dienen.

Auf der Marmorplatte jeder der beiden von Grund auf gemauerten freistehenden Bussolenconsole stand eine der beiden Myographiontrommeln, von denen die eine mittelst des Uhrwerkes, die andere durch einen Wechselstrommotor bewegt wurde; letztere war durch Verschraubungen unverrückbar am Consol befestigt, so dass sie ihre Stellung gegen das ebenfalls am Consol festgeschraubte Stativ der Auslösevorrichtung nicht ändern konnte. Diese selbst war ähnlich jener bei den Latenzversuchen beschriebenen beschaffen. Sie konnte in dem gut gearbeiteten breiten Schlitten mit geringer Reibung eingerückt werden, und der leiseste Anstoss an der scharfen Spitze des Auslösehebels genügte bereits zur Unterbrechung des Stromes des Inductoriums. Der Hebel wurde stets so eingestellt, dass sein äusserstes Ende, wenn er ganz gegen die Trommel vorgeschoben war, eben noch von dem Dorn an derselben, der in einer scharfen Spitze aus Stahl endete, getroffen wurde. Durch eine Feder wurde der losgeschleuderte Hebel in seiner Bewegung verlangsamt und durch eine zweite so arretirt, dass er nicht mehr gegen die Contactspitze zurückgeworfen werden konnte, was einen neuen Schluss und eine neue Oeffnung des Stromes zur Folge gehabt hätte. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der die Zeit messenden Trommel war so gewählt, dass einem mm vorbeibewegten Umfanges in den Versuchen am wasserarmen Nerven $0,423 \sigma$, in jenen an dem normalen Nerven $0,301 \sigma$ entsprach, was ungefähr sieben Umdrehungen der 500 mm im Umfange messenden Trommel per Secunde entspricht. Die Genauigkeit, mit welcher unter denselben Verhältnissen der Wechselstrommotor arbeitete, wenn die peinlichste Sorgfalt für alle Nahtstellen an den Transmissionen beobachtet wird, geht bereits aus der II. Mittheilung hervor. Die Fehlergrenzen-Bestimmung für die zuletzt genannte grosse Umdrehungsgeschwindigkeit ergab nach der Methode der kleinsten Quadrate folgendes, abermals vollkommen befriedigende Resultat, das aus 48 Beobachtungen mit zusammen 357 Umdrehungen gewonnen wurde.

Mittlerer Fehler der Messung . . .	$10^{-6} \cdot 1,562$	Secunden
wahrscheinlicher Fehler der Messung	$10^{-6} \cdot 1,041$	„
mittlerer Fehler des Mittels . . .	$10^{-7} \cdot 4,94$	„
wahrscheinlicher Fehler des Mittels	$10^{-7} \cdot 3,3$	„

Da die Dicke der Curven $0,065$ mm im Durchschnitt beträgt, so konnten die Fehler beim Ausmessen der Curven mit dem Ocularmikrometer immerhin bis zu $0,010$ mm $\equiv 3,0 \cdot 10^{-6}$ Secunden betragen,

der aus der Ausmessung sich ergebende Fehler, der natürlich bei sehr flach verlaufenden Curven noch grösser werden kann, übertrifft daher etwas jenen, der auf Kosten der Aenderungen der Umdrehungsgeschwindigkeit zu setzen ist. Für diese dürften sich übrigens die Fehlergrenzen eher noch geringer stellen, da aus den Protokollen hervorgeht, dass die Unterschiede, welche sich zwischen Zählungen von 25—30 Umdrehungen ergaben und jenen von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Umdrehung nahezu gleich grosse sind, so dass ein ziemlicher Theil der Abweichungen durch die Unmöglichkeit, die Bruchtheile der Wellenlängen der Stimmgabel, welche zur Zeitbestimmung diente, genau zu messen, bedingt sein dürfte.

Als Registrirvorrichtung diente das Engelmann'sche Polyrheotom, dessen Achse verlängert worden war. Auf ihr wurde die Trommel eines grossen Baltzar'schen Kymographions unverrückbar aufgeschraubt. Von der Verwendung der Kupferfedercontacte wurde aus mehreren Gründen Abgang genommen. Einerseits nutzten sich die Spitzen der Federn und Ränder der Bänke, obwohl die Federn nur leise die Bänke streifen durften, um eine Aenderung der Umdrehungsgeschwindigkeit während des Contactschlusses nicht zu erzeugen, doch merkbar ab, und es traten dann Unterschiede in den Reizmomenten auf, anderseits kam es nicht selten vor, dass sich die Federn, auch wenn sie so fest als möglich in die Löcher eingerieben waren, doch etwas verdrehten, was natürlich wiederum zu einer Aenderung der Reizmomente Anlass gab. Es ist wohl selbstverständlich, dass bei einer Vorrichtung wie dem Pantokymographion diese Verhältnisse nicht störend gewirkt hätten, nachdem es sich bei diesem sowohl um geringere Umdrehungsgeschwindigkeiten, als auch nur um zweimaliges Schliessen der Contacte handelt, während hier auf jede Versuchsreihe viele Tausende von Schliessungen fallen mussten, nachdem doch das Erreichen der vollen Geschwindigkeit zu Beginn des Versuchs abzuwarten war und auch während der Versuche bestimmte Intervalle eingehalten wurden, was dann, wenn 6—8 Curven bei derselben Lage des auslösenden Dornes an der Trommel in einander geschrieben wurden, eben so viele Minuten in Anspruch nahm. Erwähnt werden muss ferner, dass das Herausschneiden eines einzelnen Oeffnungsschlages bei der grossen Rotationsgeschwindigkeit auf einige Schwierigkeiten stösst, um so mehr, wenn man die Möglichkeit unipolarer Wirkungen des Schliessungsschlages, die bei Benützung des Principes der gemeinschaftlichen

Strecke in ihrer von Engelmann angegebenen Form auftreten kann, vermeiden will, was hier bei starken Reizströmen gefordert erscheint. Ein Umstaud, der es bei den vorliegenden Versuchen ebenfalls räthlich erscheinen liess von den Contactfedern abzugehen, ist der, dass bei den Versuchsreihen, in denen die Lager des Rheotoms durch die bedeutende Masse der Trommel und die grosse Geschwindigkeit derselben sehr stark in Anspruch genommen waren, auf das Oelen derselben besonders Bedacht genommen werden musste, wozu sich in der Folge Vaseline als am geeignetsten erwies. Es litt aber dadurch, wie vorausszusehen war, die Sicherheit der Stromzuführung zu den Contactfedern, da diese beim Polyrheotom durch Körperschluss des Apparates, also durch die Achse geschieht. Beim Fehlen eines Pantokymographions, bei dem sich diese Störungen nicht bemerkbar gemacht hätten, wurde zur oben beschriebenen Auslösevorrichtung gegriffen und in eines der Löcher des Polyrheotomringes an Stelle eines bürstentragenden Zapfens ein solcher mit scharfer Stahlspitze eingesetzt, der bei den Versuchen, in denen der Muskel selbst auf der Trommel des Rheotoms schrieb, verstellt wurde, so dass mehrere Muskelcurven auf einer Abscisse neben einander entstanden, wie dies Taf. III und Fig. 2, 3 und 4 zeigen, wogegen er bei jenen Beobachtungen, in denen die Zeit mit dem Pfeil'schen Signal registriert wurde, fix an seiner Stelle blieb, während das Pfeil'sche Signal der Höhe nach verstellt wurde, so dass die einzelnen Beobachtungen vertical unter einander zu liegen kamen. (Fig. 5.) In diesen Versuchen wurde die Muskelcurve auf der zweiten langsamer laufenden Trommel für sich aufgezeichnet; der Contacthebel, der jenem in der zweiten Mittheilung entsprechend gebaut war, zeichnete die Muskelcurve mit 30facher Vergrösserung auf. Die zweite Curve folgte der ersten so, dass sie knapp neben dieser geschrieben werden musste, auch wenn zwischen den beiden zu einem Versuche gehörigen Beobachtungen längere Zeit verstrichen war.

Im Weiteren war die Anordnung der Apparate die folgende: Den Reizstrom lieferte die Accumulatorenatterie B_1 mit dem Vorschaltwiderstand W_1 , durch die Wippe C_1 in Stellung b war der Strom dem Inductorium und der Wippe C_2 in Stellung b zugeführt, von hier ist der fernere Weg durch die Auslösevorrichtung A zur Wippe C_2 , der Wippe C_1 und der Batterie zurück gegeben. Wie aus dem Angegebenen hervorgeht, wurden Oeffnungsschläge ver-

wendet. Stellung a der Wippe C_1 schaltet das Galvanometer G_1 in den erwähnten Kreis ein und gestattet die stets wichtige Controle, ob die gewählte Stromstärke genau beibehalten wurde und nicht event. Fehler in den Contacten vorhanden sind.

Der zeitmessende Strom entstammt der Accumulatorenatterie B_2 mit Vorschaltwiderstand C_2 , das Galvanometer G_2 dient zur steten Controle des zeitmessenden Stromes, was von besonderer Wichtigkeit ist, um nicht Aenderungen in der Latenz des Signales befürchten zu müssen. Durch den Commutator C_4 in Stellung a , C_3 in Stellung b , wie dies der Abbildung entspricht, gelangt der Strom zum Contacthebel H , zur Wippe C_3 , dem Pfeil'schen Signal Pf , zur Wippe C_4 und endlich zu der Batterie zurück. Dies ist die eigentliche Versuchsstellung; durch Oeffnung des Contactes am Hebel H wird mittelst des Signales der Zuckungsbeginn notirt. Behufs Bestimmung des Reizmomentes dient dieselbe Vorrichtung wie in den Latenzversuchen. Wippe C_2 und C_3 kommen in a -Stellung, Wippe C_4 bleibt in a -Stellung. Der Widerstand W_3 ist so eingestellt, dass dieselbe Stromintensität im Stromkreise vorhanden ist, wie während der vorhergegangenen Beobachtung. In den meisten Versuchen, in denen jedoch diese, nur der Latenzbestimmung dienende, Anordnung getroffen wurde, konnte übrigens dieses Verfahren unterbleiben, das hauptsächlich den Zweck verfolgte, ab und zu einen Vergleich mit den seiner Zeit mitgetheilten Latenzversuchen bei directer Erregung des Muskels durchführen zu können.

Eine wesentlich unangenehme Complication war in den Beobachtungen dadurch gegeben, dass dann, wenn der Moment des Beginnes einer Zuckung registriert war, die durch einen Reiz, z. B. am centralen Ende, ausgelöst war, also der Signalstrom geöffnet war, gewartet werden musste, bis der Muskel sich wieder so weit verlängert hatte, dass der Contact durch den Contacthebel eben wieder dauernd geschlossen wurde. Diesem Schliessen geht aber in der Regel ein mehrmaliges Ueberspringen von ganz kleinen Funken an der Platinspitze voraus, was zu wiederholten vorübergehenden Oeffnungen und Schliessungen des zeitmessenden Stromes führt. Die Trommel, die während dieser Zeit ständig weiter rotirt, wird daher mit einer grossen Zahl von Signalcurven überdeckt und so eine Zeitbestimmung unmöglich gemacht. Da das Signal in seiner Lage zur Trommel während zusammengehöriger Versuche nicht geändert werden darf, wurde ein Ausweg in der Einschaltung der Wippe C_3 gefunden, die

sofort nach Beendigung einer Beobachtung, gekennzeichnet durch den Ton des Aufschlagens der Spitze auf den Hebel der Auslösevorrichtung, in die Stellung *b* umgelegt wird. Es vergehen somit zwischen Versuch und dem Umlegen bei vollkommener Aufmerksamkeit kaum mehr als $1-1\frac{1}{2}$ Zehntel-Secunden. Zerstreutheit rächt sich besonders bei Thieren mit geringerem Wasserverlust gern dadurch, dass eine oder zwei Signalcurven bereits unnöthiger Weise auf der Trommel erscheinen, was aber die Ausmessung meist gar nicht stört. Befindet sich die Wippe C_4 in der *b*-Stellung, kann durch den Ausschlag des Galvanometers G_2 bequem die Wiederherstellung des Contactes abgewartet werden, eventuell durch Verstellung der Mikrometerschraube desselben dieser fein eingestellt werden, ohne dass das Pfeil'sche Signal sich im Stromkreise befindet. Umlegen der Wippe C_4 nach der *a*-Stellung führt nun nur mehr zu einer einfachen Schliessungscurve am Signal, der nach dem Einrücken der Auslösevorrichtung *A*, in Folge der Zuckung des Muskels, die Oeffnungscurve des Signales folgt. Nachstehende, einer Reihe mit wasserarmen Muskeln entnommene Curve, Fig. 5 S. 324, gibt ein Beispiel der erhaltenen Bilder. Der Abstand beider Curven auf derselben Abscisse ist die Differenz der Latenzen bei Reizung an zwei 50 mm von einander entfernt gelegenen Stellen des Nerven. 1 mm der Abscisse entspricht $0,301 \sigma$. Die Ausmessung der Nervenlänge wurde übrigens wiederholt auch in der von v. Vintschgau angegebenen Form zur Controle gegenüber Ungleichartigkeiten in der Dehnung des Nerven, die beim Auflegen auf die Elektroden hätten vorhanden sein können, ausgeführt.

Der Commutator C_5 führte in der geläufigen Weise die Inductionsschläge bald den central, bald den peripher am Nerven gelegenen Elektroden zu.

Durch Verschiebung des Pfeil'schen Signales in der Richtung der Ordinate konnten bis zu 20 Versuchsreihen auf einer Trommel aufgezeichnet werden. Es darf bei alledem nicht verschwiegen werden, dass die Handhabung der Methode volle Aufmerksamkeit und auch eine gewisse Einübung erfordert, so dass sie als bequem kaum empfohlen werden kann; sicherlich gibt sie aber Resultate, die den grössten Anforderungen an Verlässlichkeit und Genauigkeit entsprechen, da der steile Anstieg der Signalcurven, die absolute Congruenz derselben, gleichzeitig mit der Möglichkeit, die Höhe und Congruenz der Zuckungscurven auf der zweiten Trommel zu con-

statiren, ein genaues Ausmessen der Zeitintervalle sowie eine genaue Auslese jener Zuckungen gestattet, welche als wirklich congruente zur Verwerthung der Zeitzahlen herangezogen werden dürfen. Dass die Methode insbesondere dann zu den Versuchen direct erforderlich ist, wenn ein flacher Verlauf der Zuckungcurve, wie dies sehr wasserarmen Muskeln entspricht, ein Ausmessen der Abstände erschwert und ungenau macht, wurde bereits oben erwähnt.

Eine Bestätigung der Resultate wurde durch die directe graphische Aufzeichnung der stark vergrösserten Zuckungcurve auf der rasch rotirenden zeitmessenden Trommel zu erbringen gesucht. Es wurde hierfür der von Engelmann angegebene Muskelhebel mit langer Achse verwendet, die Zuckungen ebenfalls wie oben mit 30 facher Vergrösserung geschrieben. Die Ausmessung der Curven erfolgte in der Weise, dass nahe über die Abscisse zwei parallele Linien gezogen wurden und die Abstände der Schnittpunkte dieser mit der Curve gemessen wurden, und nur dann, wenn diese vollkommen übereinstimmten, die Hubhöhen absolut gleich und der Zuckungsverlauf vollkommen congruent waren, sind die Versuche als brauchbar in das Protokoll eingetragen worden. Eine Ausmessung in der von Hermann angegebenen Weise war unmöglich, weil durch das Ineinanderfallen der Linien, welche der sich wieder verlängernde Muskel nahe der ursprünglichen Abscisse zog, diese eine wesentliche Verdickung erfuhr, wie in den beigegebenen Abbildungen ersichtlich ist.

Die langsame Wiederausdehnung des wasserarmen Muskels, die sich oft über einige Trommelumdrehungen erstreckt, schien anfänglich beim wasserarmen Muskel die Versuche ohne Verwendung eines durch Federkraft losgeschnellten Kymographions unmöglich zu machen; es wurde dem Uebelstande aber dadurch begegnet, dass der Hebel an einer bestimmten Stelle des absteigenden Curventheiles verhindert war, weiter der Wiederverlängerung des Muskels zu folgen, was sich dadurch erreichen liess, dass der Hebel während des ansteigenden Curventheiles ein feines Stahlfederchen passiren musste, das durch eine Nase die Rückbewegung von einer gewissen Stelle an hemmte. Es muss aber dabei darauf Rücksicht genommen werden, dass der Muskel trotz des Zurückbleibens des Hebels durch ein Gewicht weiter gedehnt wird, das dem des Hebels entspricht, da sonst auch nach längerer Zeit noch die Gegend der Abscissenachse durch eine Reihe von Linien übersät wird, welche in der langsamen Dehnung durch das Hebelgewicht bedingt sind. Ausserdem ist es

nothwendig, den Hebel erst in dem untersten Theile des absteigenden Schenkels der Muskelcurve zurück zu halten, um die Congruenz der Muskelcurve bis dahin verfolgen zu können, was für die Präparate aus wasserarmen Fröschen von grosser Bedeutung ist, da bei ihnen Unterschiede im letzten Theile des Myogrammes recht wesentliche Abweichungen der Erregungsleitungswerthe vorzutäuschen vermögen. In den späteren Versuchen wurde übrigens von diesem Verfahren häufig Abgang genommen und an dessen Stelle mit günstigem Erfolge ein solches mit Ueberlastungen verwendet.

Als Schreibfedern dienten feine Stahlfederchen, bei Versuchen an wasserarmen Muskeln mit getrennter Zeitregistrierung, in denen eine sehr dünne Muskelcurve nicht erforderlich war wegen der geringeren Reibung Papierfedern, bezw. Glasfedern, wie sie an den seismographischen Stationen verwendet werden und am leichtesten durch das Ausziehen stark flachgedrückter Glasröhren angefertigt werden. Erwähnt soll hier noch werden, dass von den beiden Methoden nur die erstere, also jene mit dem Pfeilschen Signal allein, zur Latenzbestimmung geeignet ist, nachdem eine solche mit der directen Aufzeichnung der Muskelcurve mittelst des langen Hebels und der Bestimmung des Abstandes der Reizstelle vom Anstiege derselben unbedingt zu grosse Werthe liefern muss, ein Fehler, der natürlich beim Vergleich zweier Latenzgrössen sich eliminirt. Die Möglichkeit, dass bei den Zuckungen, bei denen die Ueberlastung zwar direct an der 5 mm im Durchmesser messenden Rolle angebracht war, theilweise Schleuderzuckungen gewesen seien, ist natürlich nicht von der Hand zu weisen. Die geringe Grösse der bewegten Masse — der Hebel bestand nur in seinem hintersten Theile aus Metall, im vorderen aus einem langen, feinen, aber steifen Halm — lässt den Einfluss auf die Latenz aber nicht von Bedeutung erscheinen, wie sich aus der vorigen Mittheilung ergibt, zudem hätte die Veränderung der Latenz, die von der peripheren Stelle des Nerven ausgelöste Zuckung gerade so betroffen wie die, welche central ausgelöst wurde.

Einer besonderen Besprechung bedürfen noch die Elektroden. In den ersten Versuchen wurde mit Tunnelelektroden gearbeitet, welche genau nach den Angaben Engelmann's angefertigt worden waren. Da diese Beobachtungen auffallender Weise fast sämmtlich an Stelle der erwarteten Unabhängigkeit der Erregungsleitung im Nerven eine ausgesprochene Zunahme der Geschwindigkeit derselben mit Steigerung der Reizstärke und zwar am normalen

Nervmuskelpreparat aufwiesen, so schien die Vermuthung, dass ein constructiver Fehler bei der Nachconstruction der Elektroden gemacht worden sei, gerechtfertigt. Es wurden aus diesem Grunde Original-Tunnelelektroden von Berlin bezogen, die jedoch an dem bereits erhaltenen Resultate nichts änderten, indem sich auch bei ihnen mit wenigen Ausnahmen eine ausgesprochene Abhängigkeit von der Reizstärke ergab, genau so wie bei den in Wien angefertigten, sie zeigten aber unseren Präparaten gegenüber auch den nämlichen Uebelstand, der sich besonders bei den Versuchen mit dem Contacthebel als sehr störend erwies, dass von dem Elektroden selbst aus stets im Beginne der Versuche Zuckungen des Muskels ausgelöst wurden, die erst nach längerer Zeit vollkommen verschwanden, aber an jedem frischen Präparate auszulösen waren, auch wenn nur zwei Klemmen der Elektroden mit einem Draht kurz berührt wurden. Es ist dies freilich ein Verhalten, auf das bereits Engelmann hinweist (S. 24 l. c.); doch scheint dasselbe bei seinen Thieren nicht so sehr störend gewirkt zu haben, was für den zu erwähnenden Umstand spricht, dass die in seinen Beobachtungen verwendeten Präparate von anderer Erregbarkeit gewesen seien, als die, welche zur Ausführung dieser vorliegenden Versuche dienten. Es schien aus diesen Gründen nothwendig, zu einer anderen Form von Elektroden zu greifen, um so mehr, als gerade die wasserarmen Nerven in der Tunnelelektrode sehr bald geschädigt wurden, obwohl diese auf das Peinlichste rein gehalten wurden und beide Oeffnungen mit Froschovar desselben Thieres verschlossen waren. Eine Ursache dafür war freilich nicht aufzufinden. Es wäre nur möglich, dass der ohnehin wasserarme Nerv an die Luft des Canales Wasser abgibt, oder dass die Bestandströme der Elektroden selbst ihn schädigen. Es schien daher empfehlenswerth, bei den neuen Elektroden darauf Rücksicht zu nehmen, indem man auf die Anwendung des sonst gewiss vorzüglichen Principes der extraparen Amortisation des Stromes verzichtete, um keine so grossen und breiten Metallmassen an den Nerven anlegen zu müssen. Die neue Elektrode musste in ihrer Leistungsfähigkeit bezüglich der Verminderung von Stromschleifen und unipolaren Wirkungen mindestens die der Trommelelektrode erreichen, weshalb zuerst eine Nachprüfung dieser vorgenommen wurde.

Es lassen schon die Angaben Engelmann's vermuthen, dass trotz der wesentlichen Verbesserung, die durch die Tunnelelektrode

unter Umständen gegeben ist, für grosse Reizstärken die Localisation der Erregung in dieser keine so scharfe ist, als man wünschen möchte, es heisst nämlich S. 20 (l. c.): „Jetzt bleibt bei strenger Beobachtung der beschriebenen Vorsichtsmaassregeln (Andrücken der unteren Elektrode an den Schenkel, eventuell Umhüllen des Nerven mit feuchter Watte), selbst bei ganz aufgeschobener secundärer Rolle und starkem primärem Strom (0,2 Amp. und mehr) Reizung in der Regel ohne Erfolg.“ Es handelt sich hierbei um einen Nerven, der in die Tunnelelektrode eingezogen und wenige Millimeter ausserhalb der Tunnelöffnung abgebunden ist. Zieht man nun diese Unterbindungsstelle langsam an das Ende der Elektrode heran, so „pflegt die Reizung auch beim kleinsten Rollenabstand noch erfolglos zu bleiben, vom Eintritt in die Elektrode an wächst dann der eben wirksame Rollenabstand erst sehr langsam, bis die Unterbindungsstelle die Tunnelgrenze zwischen unterster Elektrode . . . erreicht“, also in die erste intrapolare Strecke eintritt, „von hier an sehr rasch“. Die beigegebenen Tabellen lassen in der That dasselbe Verhalten erkennen. S. 22 schreibt dann Engelmann: „Die vorstehenden Versuche scheinen mir zu beweisen, dass bei Strömen von Stärkegraden, wie sie für unsere Aufgabe in Anwendung kommen, . . . der Ort der directen Erregung sehr genau mit der Grenze zusammenfällt, in welcher sich Ebonit und metallische Kathode berühren.“

Da in den vorliegenden Versuchen stets mit genau 0,2 Amp. in der primären Rolle gearbeitet wurde und auch nicht selten, wie die Tabellen ergeben, bis auf vollständige Deckung der Rollen des Schlittens gestiegen wurde, so darf ein Abweichen von den Ergebnissen Engelmann's nicht befremden, da ja, den letzt citirten Sätzen entsprechend, auf eine wesentlich geringere Reizstärke in den Versuchen Engelmann's geschlossen werden muss. Für die grösseren Reizstärken, wie sie bei meinen vorliegenden Versuchen noch in Betracht kamen, ist aber durch die Beobachtungen Engelmann's das Vorhandensein wesentlicher Stromschleifen nachgewiesen worden. Leider ist bei den einzelnen Versuchen über die Fortpflanzung der Erregung in den Versuchen von Engelmann eine Reizstärke nicht angeführt.

Es kann nun freilich die strenge Localisation der Erregung im Nerven bei Leitungsgeschwindigkeitsbestimmungen kaum als ein so unbedingtes Erforderniss angesehen werden, wie etwa in Galvanometerversuchen, da man hier ja immerhin voraussetzen

könnte, dass Stromfäden sowohl an der proximalen wie an der distalen Elektrode eine gewisse Strecke weit im Nerven verlaufen werden, und die Annahme gewiss nicht unberechtigt ist, dass diese sich auch an beiden Stellen, denen wir die Erregung zuführen, ziemlich gleich weit dem Nerven entlang erstrecken und etwa im selben Abstände von der Kathode während eines Oeffnungsschlages eben noch eine solche Dichtigkeitsänderung erfahren. dass von ihr aus eine Erregung zu Stande kommen kann. Immerhin stehen wir dabei keinem reinen Versuche gegenüber, und die Forderung nach strengerer Localisation wird um so dringender werden, je schlechter der Nerv leitet, den wir in den Tunnel der Elektrode bringen wollen. Schon der Umstand, dass es nöthig erscheint, die ausserhalb des Tunnels gelegene Strecke noch mit nasser Watte auszufüllen, um die bis hierher also sicher noch gelangenden, immerhin bedeutenden Stromfäden durch Vergrösserung des Leitungsquerschnittes in ihrer Dichte im Nerven zu vermindern, sagt zur Genüge, dass dies Umhüllen, das am noch dazu wasserarmen Nerven nur mit weniger gut leitendem Material geschehen könnte, nur ein theilweiser Schutz ist, nachdem bei starken Strömen auch am normalen Präparate sammt der Umhüllung doch noch Zuckungen auftreten können. Einige Versuchsreihen sind übrigens zur Beobachtung über die Wirkungsweise der Tunnelelektrode gegenüber unseren Fröschen in der Weise ausgeführt, dass der dünne Seidenfaden, mit dem der Nerv am centralen Ende abgebunden war, durch ein feines Stahlrohr gezogen wurde, das in halbe Millimeter getheilt war und leicht den Tunnel der Elektrode passirte. Es konnte dann der Nerv, der etwa am Ende seines ersten Drittels eine zweite feste Ligatur erhielt, nach seinem Einziehen in die Elektrode genau in seiner Lage in der Elektrode bestimmt werden, da er das Stahlrohr vor sich herschob, auf dem einzelne Theilstriche noch dazu so markirt waren, dass der Eintritt der Unterbindungsstelle in den Metallklotz der Kathode, die Länge dieses und der intrapolaren Strecke einem eigenen, deutlichen Zeichen entsprachen.

Verwendet wurde nur die dem zweiten und dritten Klotz entsprechende Stelle, da für das am meisten den Muskel zugewendete Elektrodenpaar ohnedies ungünstigere Verhältnisse bestehen mussten. Bevor die centrale Unterbindungsstelle nun den Klotz der Kathode erreicht hatte, trat manchmal bei gedeckten Rollen bereits maximale Zuckung auf; mit dem Augenblick, als die Unterbindungsstelle aber

an den Klotz selbst herantrat, genügten schon ca. 2 cm R.-A., um Zuckungen auszulösen, während in der Mitte des Klotzes auch 8 cm schon maximale Zuckungen hervorriefen. Dann, wenn der Nerv bereits beide Elektroden überbrückte, so dass die Unterbindungsstelle beide Elektroden bereits passiert hatte, traten bei durchschnittlich 21 bis 22 cm R.-A. maximale Zuckungen eben nicht mehr auf¹⁾. Bemerkt muss hierbei werden, dass ein Inductorium von 6500 Windungen mit Eisenstäben verwendet wurde, das jenem entsprochen haben dürfte, welches Hering bei seinen Versuchen über die Störung von Galvanometerversuchen durch unipolare Wirkungen und Stromschleifen anwandte²⁾. Ausserdem soll angeführt werden, dass das Myographion durch Paraffinblöcke isolirt war, und die Stromzuführung nur durch mittelst Kautschuk isolirten Drähten geschah, somit allen Anforderungen an peinlichste Isolirung entsprochen war. Ein Versuch, der übrigens in auffallender Weise darthut, was sich auch auf mathematischem Wege unschwer beweisen lässt, ist in einfacher Weise an einem Kernleitermodell, das so genau als möglich den gegebenen Verhältnissen angepasst ist, durchzuführen. Dasselbe wurde in den zehnfachen Dimensionen der Tunnelelektrode gehalten. Dem Tunnel (Nerven) entsprechend war ein, mit 0,75 % Kochsalzlösung und Phenolphthaleïn als Indicator versetzter Gelatinecylinder angefertigt, der in seiner Mitte von einem 2 mm dicken Metallstab durchsetzt war; diesen Cylinder umhüllten dann die entsprechenden Metallmäntel, zwischen welche Glasröhren, ebenfalls dem zehnfachen Abstände zwischen zwei Elektrodenklötzen entsprechend, als intrapolare Strecke eingeschaltet waren. Wurde nun Strom einem der Klötze zugeleitet, vom anderen abgeleitet, so war in kurzer Zeit die ganze Oberfläche des Gelatinecylinders unter der einen Elektrode vollkommen schön purpurroth gefärbt, während entsprechend der anderen sich nur der ganze Metallkern des Kernleiters in seiner entsprechenden Breite mit rother Hülle umzogen hatte. Wenn auch dieser Versuch eine vollkommene Identificirung mit dem wirklichen Verhalten der Tunnelelektrode nicht gestattet, so scheint er doch deutlich genug gegen die scharfe Localisation in derselben zu sprechen. Er erklärt uns auch das

1) Eine Anführung der diesbezüglichen Protokolle kann wohl unterbleiben, nachdem die wenigen genannten Zahlen, die Mittelwerthe vorstellen, ausreichende Belege liefern.

2) Sitzungsberichte der Wiener kais. Akad. Bd. 89 Abth. III. 1884.

Verhalten der Froschpräparate, die immerhin sehr erregbaren Thieren entstammten, gewiss aber von keinen sogenannten Kaltfröschen herührten, nachdem die Thiere — grosse ungarische Frösche — aus dem Keller, wo sie neben einem geheizten Raume sich befanden, mehrere Tage vor den Versuchen in das Laboratorium gebracht wurden.

Der Ueberlegung folgend, dass die Ausdehnung und Dichte der Stromschleifen, welche das Gebiet ausserhalb der Elektroden durchsetzt, nicht nur von dem Querschnitt und dem Widerstand jener Medien abhängt, in welche sich die Stromschleifen extrapolar zu vertheilen mögen, sondern auch davon, wie gross der Widerstand der intrapolaren Strecke ist, ergab sich in naheliegender Weise der Versuch, diesen möglichst gering zu machen und eine Elektrode zu versuchen, in der die beiden Pole möglichst nahe an einander gerückt sind. Schon ein Vorversuch lehrte, dass bei einem Elektrodenabstande von 9 mm noch in einer Entfernung von 7 mm central von der Unterbindungsstelle eines Nerven durch Tetanisiren mit Reizströmen eines Inductoriums, das bei gedeckten Rollen von 0,5 Ampère gespeist wurde, Tetanus im Präparate auftrat, obwohl der Nerv knapp distal der Unterbindungsstelle zur extrapolaren Amortisation in dichter Lage mit Ovar und Muskel umhüllt war. Es konnte bei dem Versuche nun immerhin Elektrotonus im Spiele sein. Wenn aber die Elektroden auf 0,2 mm Entfernung einander genähert wurden und der Nerv bis zu seiner Unterbindungsstelle keiner feuchten Unterlage auflag, konnte unter Umständen mit der Elektrode bis auf 1 stets auf 2 mm central von der Unterbindungsstelle herangegangen werden, ohne auch nur eine Spur einer Zuckung zu erhalten. Es ergibt sich übrigens auch aus den Ausführungen Hering's (l. c.), welche Bedeutung einer Verminderung des Elektrodenabstandes, der in seinen Beobachtungen freilich immer noch mehrere Millimeter betrug, bei dem Versuche, Stromschleifen und unipolare Wirkungen zu vermindern, beizumessen ist.

Wesentlich begünstigend für das Auftreten der Stromschleifen schienen nach einigen Versuchen die Verhältnisse dann zu sein, wenn der Nerv einer feuchten Unterlage auflag, also wenn gerade die Dichte der bestehenden Stromfäden eigentlich hätte vermindert sein sollen; diese Verminderung wird aber anscheinend durch eine Vermehrung der Stromfäden überhaupt compensirt oder übercompensirt. Die Elektrode musste demnach so gebaut sein, dass die

beiden Pole einander möglichst genähert waren, dass der Nerv beide sicher überbrückte und dass in ihrer Umgebung eine directe Berührung des Nerven mit der feuchten Unterlage vermieden war. Der zu den meisten späteren Beobachtungen fast ausschliesslich verwendete Reizträger bestand demnach aus einer 6 cm langen Hartgummiplatte, bei der ganz knapp an den, dem Muskel zugekehrten Ende die beiden distalen Elektroden in 0,2 mm Entfernung lagen. Sie bestanden aus Platindraht von 0,1 mm Dicke und waren gegen einander durch Isolationsmasse so fixirt, dass sie sich in ihrem Abstände nicht ändern konnten, beide zusammen ragten aus der Ebene der Grundplatte etwas vor, so dass der Nerv über den so entstandenen niederen Kamm, dessen Ränder durch die blanken Drähte gebildet waren, gebückt, gute Berührung finden musste, andererseits aber mit der Hartgummiplatte in der nächsten Nähe der Elektroden nicht in Berührung kam. Das zweite Elektrodenpaar war genau gleich beschaffen. Die Erfolge der Reizung in Versuchen mit dem örtlich durch Unterbindung leitungsunfähig gemachten Nerven waren ebenso günstige wie jene im Vorversuche, so dass die Elektroden mit Beruhigung zu den Versuchen herangezogen werden konnten. Es war nur noch der Controleversuch mit dem Kernleitermodell auszuführen. Ein ganz analoger Gelatinecylinder, wie er in den Versuchen über die Tunnelelektrode verwendet worden war, wurde an einer Stelle in 2 mm (der zehnfachen gegebenen) Entfernung von zwei 1 mm dicken Drähten in Form zweier paralleler Ringe umgeben; es entstand beim Einleiten des Stromes nur ein scharf, örtlich begrenzter Ring, der sich kaum über die beiden mit der Stromquelle verbundenen Ringe hinaus erstreckte. In einer weiteren Beobachtung wurden einem guten Drittel des Umfanges die beiden Drähte nur angelegt, ohne zum Kreis geschlossen zu sein; der Erfolg war aber auch hier wieder ein sehr günstiger, die ganze verfärbte Zone betrug nur wenige Millimeter, während sie sich unter den Kupferhüllen genau, der Länge dieser entsprechend, über 10 cm erstreckt hatte.

Es kam nun nur noch die Frage in Betracht, wie der Nerv vor Wasserverlust zu schützen sei und ob es gestattet ist, sich der feuchten Kammer bei Versuchen am wasserarmen Nerven zu bedienen. Es wurden zu diesem Zwecke sieben wasserarmen Fröschen die Ischiadici präparirt und rasch auf der analytischen Waage gewogen, dann dieselben in flacher Schale ausgebreitet und in der feuchten Kammer $\frac{3}{4}$ Stunden der mit Wasserdampf gesättigten Luft ausgesetzt.

Die Controllewägung nach dieser Zeit ergab eher eine geringe Gewichtsverminderung als eine Zunahme derselben, so dass gegen die Verwendung der feuchten Kammer keine Bedenken gehegt werden konnten.

Bezüglich der Grösse des Wasserverlustes, den der Nerv überhaupt im Frosche erleidet, gaben einige andere Wägeversuche Aufschluss, die zu den in der ersten Mittheilung ausgeführten Gewichtsbestimmungen nachgetragen werden mussten. Es ergab sich, dass von 21 Fröschen 0,8439 g Gewicht auf die Ischiadici im normalen Zustande entfiel, diesen entsprach 0,2061 g Trockensubstanz, was 75,58 % Wassergehalt für den normalen Froschnerven ergibt. In Parallele mit ihnen sind die Resultate von 20 Stück wasserarmen Fröschen zu setzen, von denen aber nur die Ischiadici von 16 Stücken gewogen wurden, da zwei Thiere entflohen waren, zwei während des Durstenlassens starben. Die Thiere wiesen gegenüber ihrem normalen Zustand einen Gewichtsverlust von 32,6 % auf, das Gewicht der Ischiadici, die zusammen 0,6693 g gewogen hatten, betrug nach dem Trocknen bei 110 ° C. 0,3414 g, es enthielten die wasserarmen Nerven daher 49 % feste Substanz und 51 % Wasser. Diesem gewiss bedeutenden Unterschiede gegenüber dem normalen Nerven mussten auch wesentliche Unterschiede in der Leitungsgeschwindigkeit des wasserarmen Nerven vermuthet werden. Bevor die an diesem gewonnenen Resultate angeführt werden, ist es jedoch nöthig, die an normalen Froschnerven erhaltenen Zahlen wenigstens im Auszuge wiederzugeben.

Versuche an normalen Nerven.

Diese anfänglich nur zur Controle ausgeführten Beobachtungen, die die Brauchbarkeit der verwendeten Methode beweisen sollten, ergaben gleich im Beginne, wie bereits oben erwähnt wurde, Abweichungen von dem Verhalten, das man bei Anwendung der Tunnel-elektroden hätte voraussetzen sollen; es fand sich eine typische Abhängigkeit von der Reizstärke fast in allen Fällen. Die Versuche wurden daher in der Folge sowohl mit den in Wien angefertigten, sowie mit den aus Berlin bezogenen Tunnel-elektroden ausgeführt und ausserdem mit solchen, in denen die Platinelektroden von geringem Polabstand verwendet wurden, verglichen. Es kam sowohl die directe graphische Bestimmung der Muskelcurven, wie auch die Messung mit dem Contacthebel in Verwendung. Die Reizströme waren stets absteigende Oeffnungsschläge. Verwerthet wurden nur

maximale Zuckungen von genau gleicher Zuckungshöhe und vollkommener Congruenz. Die Hebelvergrösserung war dreissigfach. Die Ueberlastung betrug $10,0:2 = 5$ g exclusive des Hebelgewichts. Um Täuschungen durch Veränderung der Erregbarkeit der Nerven zu entgehen, sind in den anzuführenden Versuchsreihen sowohl solche vorhanden, in denen eben maximale Zuckungen erregende Ströme ausschliesslich zur Verwendung gelangten, andererseits solche, in denen nur mit gedeckten Rollen — die primäre Stromstärke betrug immer 0,2 A. — gereizt wurde, endlich solche Versuche, bei welchen entweder in regelloser Folge bald geringe, bald grosse Reizstärken auf den Nerven wirkten, oder ausgehend von geringen Reizstärken regelmässig zu grossen aufgestiegen wurde, oder umgekehrt, von diesen herabgegangen wurde. In zahlreichen Beobachtungen war es nicht möglich, von gewissen Stromstärken an bei weiterer Steigerung derselben von der distalen und proximalen Elektrode aus gleich hohe Zuckungen zu erhalten, in der Tabelle fallen daher auch die entsprechenden Felder leer aus. Zwei Reihen wurden in der Weise durchgeführt, dass nach je 20 nicht registrierten Zuckungspaaren immer wieder in einem Versuch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit notirt wurde. Trotz aller dieser Variationen blieb aber die eine Erscheinung fast immer constant, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven in weitgehendem Maasse von der Reizstärke abhängig ist.

In fast noch zwingenderer Weise schienen dies übrigens Versuche darzuthun, für welche die nachstehende Fig. 2 als Beleg dienen möge. In einer grossen Zahl von Beobachtungen wurde nämlich bei unveränderter Lage des Contactstiftes nacheinander mit starken und schwachen Reizen sowohl central als auch peripher am Nerven erregt, so dass 4 Curven entstanden; sehr häufig ist unter einem der ganze Versuch oder Theile derselben nochmals wiederholt worden, ohne in der Anordnung etwas zu ändern, es durften dann, obwohl 5—8 Zuckungen registriert wurden, nur vier derselben sichtbar sein, was auch stets der Fall war. Es ist dies Zusammenfallen auch aus der untenstehenden Abbildung an einer der Curven (der letzten), in der eben noch eine Trennung in zwei Linien im weiteren Verlaufe erkennbar ist, die aber im Anstiege gar nicht bemerkt werden kann, deutlich zu ersehen. Dadurch, dass zuerst schwach, dann stark, dann wieder stark und endlich schwach gereizt wurde, war wohl jedweder Einwand, der irgend welche störenden Einflüsse geltend machen wollte, widerlegt.

Die wiedergegebenen Curven zeigen nun das stets in derselben Weise gegebene Verhalten. Die von schwachen Reizen — eben maximaler Stärke — stammenden, durch ein Kreuz bezeichneten Curven zeigen einen etwas grösseren Abstand als jene anderen beiden, die bei 9 cm Rollenabstand hervorgerufen wurden, während die beiden ersteren bei 18 cm R.-A. entstanden waren. Beobachtet man die Verschiebung der, der distalen Reizstelle entsprechenden Curve gegenüber jener, welche der proximal ausgelösten Zuckung entspricht, so fällt wohl ohne Weiteres in's Auge, dass bei dem starken Reize die

Fig. 2.

distale Curve mehr nach vorne gerückt ist als die proximale. Man braucht den Thatsachen kaum einen Zwang anzuthun, wenn man dies dahin deutet, dass in der ganzen Länge des Nerven ein schnelleres Fortschreiten der Erregung stattgefunden habe, das sich aber wegen der grösseren Länge der Strecke, die von der peripher gelegenen Elektrode bis zum Muskel vorhanden ist, als von den central gelegenen bei der ersteren deutlicher ausgeprägt hat. Die Abbildung enthält ein zweites Curvenpaar, das durch stärkere Reizung allein zu Stande gekommen ist.

Auch der Einfluss der Reihenfolge der Erregungen wurde berücksichtigt, und in einigen Reihen an der centralen Elektrode zuerst,

in anderen an der peripheren zuerst gereizt. Bei schwachen Strömen schien ein Einfluss nicht zu bestehen; wohl aber macht sich ein Unterschied bei vielen Nerven geltend, wenn starke Ströme zur Verwendung kamen und die Versuche sich sehr rasch folgten. Besonders auffallend war diese Erscheinung an wasserarmen Nerven, was vielleicht darauf hindeutet, dass die, durch den Strom und die Vorgänge im Nerven gegebene Umlagerung der Ionen, sich im wasserarmen Nerven nur langsamer rückzubilden vermag. Um eindeutige Resultate zu erhalten, wurde daher ebenso wie die Richtung der Ströme auch die Reihenfolge, zuerst periphere, dann centrale Erregung, beibehalten und ausserdem auch zwischen den einzelnen Beobachtungen genau gleich grosse Zeitintervalle — meist 1 oder 2 mm — eingehalten, eine Vorsicht, die besonders auch wegen des Verhaltens der wasserarmen Muskeln gebraucht werden musste. Wurde der ganze Versuch bei derselben Stellung des Contactstiftes wiederholt, so verstrichen zwischen der ersten Ausführung und der Wiederholung stets 2—3 Minuten.

Aus den 42 Reihen mit der Contacthebelmethode und den 56 Reihen mit Registrirung und Ausmessung des Muskelkurvenabstandes ist nachfolgende Tabelle, in der einige der Reihen eingesetzt sind, zusammengestellt. Die einzelnen Columnen enthalten ausser den Angaben über Hubhöhe und Temperatur die Bezeichnung der verwendeten Elektrodenart, wobei T_W Wiener Tunnelelektroden, T_B Berliner Tunnelelektroden bezeichnen soll. Die Tabelle enthält alle jene Fälle, in denen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit sich am wenigsten geändert hat. Die in den Stäben mit der Reizstärke in Centimeter Rollenabstand (abgerundet) aufgeführten Fortpflanzungsgeschwindigkeitszahlen bedeuten Meter per Secunde und sind Mittelwerthe aus allen Beobachtungen mit derselben Reizstärke der betreffenden Reihe. Lücken in der Tabelle entsprechen nicht verwendeten Rollenabständen oder ungleichen Hubhöhen. Unter Berücksichtigung dieses letzteren Umstandes kam es nie vor, dass die peripher ausgelöste Zuckung vor die central ausgelöste zu liegen gekommen wäre, was bei incongruenten und ungleich hohen Curven gar nicht selten beobachtet wird. Das Wort „Fortpflanzungsgeschwindigkeit“ ist hier im geläufigen Sinne gebraucht und drückt somit nichts Anderes als den Quotienten aus Weg (Elektrodenabstand) und Zeit (Differenz der Latenzwerte) aus, im strengen Sinne darf es mit „Leitungsgeschwindigkeit“ nicht identificirt werden.

Tabelle I.

Nr.	Datum	Mittlere Temperatur in ° C.	Hub- höhe in mm	Reizstärke in							
				0	1	2	3	4	5	6	7
B ₃	25. März	14,6	98,2	T _B	—	—	—	—	94,30	—	83,22
B ₄	25. "	14,6	109,5	T _B	—	—	—	111,07	—	86,19	—
B ₅	26. "	13,2	89,8	T _B	—	—	166,5	125,89	—	—	—
F ₂	2. April	15,2	79,7	T _B	—	—	166,5	—	83,22	—	—
F ₄	3. "	14,8	95,9	T _B	—	∞	∞	—	—	66,67	—
F ₅	3. "	14,8	102,3	T _B	—	—	∞	—	—	86,19	66,67
F ₈	3. "	15,2	107,8	T _B	—	833,34	—	208,35	—	55,56	55,56
F ₉	4. "	14,6	96,5	T _B	—	—	—	277,78	—	—	—
J ₅	15. "	17,5	98,5	T _W	125,98	—	—	—	—	65,68	—
A ₁	5. Jan.	18,9	83,6	T _W	—	—	—	41,43	—	39,86	—
A ₂	5. "	18,9	85,1	T _W	—	—	76,92	—	—	—	—
A ₃	5. "	19,2	85,3	T _W	—	—	∞	—	208	—	—
A ₄	6. "	21,2	90,0	T _W	—	—	—	—	35,44	—	—
A ₅	6. "	21,4	96,4	T _W	—	∞	3844,6	1137,0	161,21	134,5	83,22
A ₆	6. "	21,4	93,1	T _W	—	—	—	69,44	—	66,67	—
A ₇	6. "	20,8	102,5	T _W	—	—	∞	∞	—	555,56	208,35

Tabelle II. Platinelektroden

Nr.	Datum	Mittlere Temperatur in ° C.	Hub- höhe in mm	Reizstärke in							
				0	1	2	3	4	5	6	7
2	3. Febr.	18,7	82,5	161,3	—	56,82	—	35,44	—	—	—
6	4. "	18,0	98,3	—	—	—	—	66,67	—	46,27	—
8	8. "	17,7	85,2	∞	∞	—	—	80,65	69,44	—	57,47
12	9. "	17,8	85,8	208,35	—	161,21	134,5	—	92,59	57,75	—
16	10. "	21,5	89,2	∞	—	—	—	—	∞	833,12	—
18	16. "	20,8	92,5	—	—	∞	∞	423,65	280,22	—	—
20	16. "	20,6	89,4	1137,0	—	—	—	—	—	—	—
24	24. "	21,2	90,5	—	—	—	—	—	—	—	—
30	1. März	18,3	93,0	—	—	—	—	∞	—	86,19	—
31	2. "	18,8	91,7	—	∞	∞	∞	3844,6	—	227,18	—
36	2. "	16,5	90,5	906,58	—	—	—	—	—	—	—
39	4. "	16,7	100,2	—	—	—	—	35,23	—	33,31	—
40	15. "	17,8	94,8	—	—	—	∞	—	—	—	50,96
41	15. "	17,8	100,0	—	—	∞	208,35	—	150,29	—	84,16
43	15. "	18,4	104,5	∞	—	—	—	—	—	—	—
45	15. "	18,6	81,8	—	—	333,33	—	208,35	—	76,92	—
46	17. "	17,7	107,3	—	∞	∞	—	130,42	—	94,30	—
78	2. Juni	17,8	91,5	30,65	—	—	—	—	—	29,69	—
79	2. "	18,2	83,2	—	33,33	—	—	—	—	—	29,07
85	5. "	18,5	101,5	42,43	—	—	36,42	—	—	33,33	—

Tunnelelektroden.

Centimeter Rollenabstand													üb. 20
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	üb. 20
—	—	36,22	—	—	—	29,07	—	26,87	—	—	—	—	—
—	39,86	37,88	—	36,22	—	—	25,62	—	25,62	—	25,62	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25,83	—
—	58,82	—	—	—	33,35	31,25	—	29,69	25,83	25,83	—	—	25,83
53,77	—	—	32,65	—	29,69	—	24,75	—	—	—	23,80	—	—
56,82	44,49	39,79	35,44	34,23	31,44	31,44	29,07	29,69	28,23	26,87	26,87	26,87	26,87
47,60	—	44,49	38,46	35,23	31,25	31,25	27,15	—	27,15	—	26,78	—	25,62
—	—	39,86	—	—	—	—	31,35	—	—	—	—	26,78	26,78
—	41,31	—	—	37,02	—	—	—	—	—	—	27,15	27,15	27,15
—	39,86	—	—	35,44	—	—	29,40	—	—	27,61	26,87	—	—
—	39,86	—	37,02	—	32,04	—	31,35	—	26,87	—	25,62	—	24,75
57,47	—	—	41,31	—	—	—	—	28,63	26,87	25,83	25,83	—	—
—	—	32,65	—	—	—	—	30,11	—	—	—	29,40	—	—
59,50	53,77	41,31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27,61	—
46,27	—	39,79	—	39,79	—	33,31	—	29,69	27,15	27,15	27,15	27,15	27,15
76,92	47,60	42,43	39,86	37,02	—	—	31,44	29,69	—	25,62	—	—	25,62

mit 0,2 mm Polabstand.

Centimeter Rollenabstand													üb. 20
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	üb. 20
—	—	32,99	33,99	—	—	31,65	—	—	—	26,88	—	26,88	—
—	39,29	38,46	—	—	31,35	31,25	—	30,30	26,32	26,32	26,32	—	—
53,75	49,0	44,49	42,9	—	36,29	—	28,63	—	27,32	—	24,99	—	24,99
—	42,43	—	33,13	32,56	27,77	—	27,77	27,77	27,77	27,77	27,77	27,77	—
150,29	—	—	55,56	—	—	35,23	33,78	28,56	27,61	—	27,61	26,88	26,88
42,62	—	36,45	35,80	—	33,33	31,83	31,65	28,56	—	28,56	—	—	—
76,92	—	—	—	—	—	—	—	33,33	—	—	—	26,32	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26,70	26,70
56,58	—	38,86	36,42	36,42	33,33	31,65	—	28,63	—	27,77	27,50	—	27,50
146,12	—	59,50	41,31	38,68	—	32,99	32,08	31,65	31,25	28,56	—	28,56	27,50
—	—	—	—	—	—	34,23	—	—	—	27,10	—	—	27,10
32,75	—	—	31,35	30,65	—	28,89	27,61	26,70	26,70	—	26,32	25,62	25,62
—	—	—	—	—	—	30,65	—	—	—	25,62	—	25,62	—
55,56	—	—	32,29	—	—	28,63	—	—	27,43	—	26,87	26,87	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
57,47	—	42,92	—	31,35	—	28,89	—	28,89	—	25,83	25,62	25,62	—
76,89	—	71,40	—	55,56	—	36,42	33,33	31,85	—	27,77	27,77	—	27,77
—	—	29,42	—	27,31	—	—	26,51	—	—	—	—	—	—
28,75	—	28,63	—	—	26,87	25,62	—	—	—	—	—	—	—
31,35	29,69	—	28,23	—	27,43	—	27,03	—	—	—	—	—	—

Wie die Tabellen ergeben, ist in keinem einzigen Versuche eine deutliche Unabhängigkeit von der Reizstärke nachzuweisen gewesen, ja in vielen derselben fand bei grossen Reizstärken eine Zunahme derselben bis zur Unmessbarkeit (∞) statt, was in genauer Uebereinstimmung mit den Beobachtungen von v. Vintschgau steht. Es ist wohl auf den ersten Blick klar, dass eine Gesetzmässigkeit in der Zunahme der Fortpflanzungsgeschwindigkeit nicht besteht, ja dass sogar enorme Unterschiede zwischen den einzelnen Ischiadici beobachtet wurden, da z. B. bei 4 cm Rollenabstand die gefundenen Fortpflanzungsgeschwindigkeits-Werte zwischen 35,23 m und 3844,6 m liegen. Aber auch jene Reizstärke, welche zur grössten Fortpflanzungsgeschwindigkeit Anlass gibt, ist bei den einzelnen Nerven eine verschiedene. Nachstehende beiden Abbildungen, welche von Versuchen mit Berliner Tunnelelektroden und normalen Fröschen herrühren, im übrigen aber in grosser Zahl vollkommene Analoga in den Versuchen mit den anderen Elektroden haben, zeigen dies deutlich. Die durch die elastischen Nachschwankungen sowie durch Erregung in Folge des Eigenstromes der Tunnelelektroden hervorgerufenen Linien sind grösstentheils retouchirt worden; das Nämliche geschah auch in der am Schlusse beigegebenen Tafel, welche einem Versuche mit Platinelektroden entstammt. Bei einer ständig weiter rotirenden Trommel ist das Dickwerden der Abscissenlinie nicht zu vermeiden gewesen, da die letzten kleinen elastischen Nachschwankungen des langen Hebels sich in einander hineinzeichnen mussten. Wie die beiden Figuren ergeben, ist bei dem vollkommen parallelen Anstieg, dem auch ein congruenter Verlauf des übrigen Theils der Curve entsprach, ein Nachtheil für die Ausmessung dadurch nicht gegeben. Die aufgezeichneten Ziffern sind die während des Versuches gemachten Notizen über den Rollenabstand in Centimetern, welche gleichzeitig im Protokolle und auf der Curve gemacht wurden.

Bei dem Nerven, der Fig. 4 entspricht, ist bei 20 cm R.-A. noch nicht die geringste Fortpflanzungsgeschwindigkeit erreicht; grössere R.-A. ergeben die gewöhnlich ermittelten entsprechenden Werthe. Wie gewöhnlich ist auch hier zum Zeichen, dass eine ansteigende Curvenlinie aus zwei in einander geschriebenen Zuckungscurven besteht, während des Versuches ein Kreuz eingezeichnet worden. Die von der central gereizten Stelle ausgelöste Curve wurde hier nicht eigens verdoppelt, da peripher-central-peripher gereizt worden war. Die Abhängigkeit von der Reizstärke gleichzeitig mit der Verschiedenheit

der maximalen erreichten Fortpflanzungsgeschwindigkeit ergibt sich aus den Abbildungen wohl in auffallender Weise. Bezüglich der Tafel am Schlusse ist noch hinzuzufügen, dass die Reizstärken von links nach rechts bei den einzelnen Curvenpaaren in cm R.-A. betrugen: 16,5 cm, 16,5 cm, 17 cm, 20 cm, 17 cm, 8 cm, 5 cm, 3 cm,

Fig. 3.

Fig. 4.

2 cm, 0 cm, 10 cm (letztes als Controle nachgeschickt). Die betreffenden Ziffern sind bei der Retouche aus Versehen mit Tusche überdeckt worden und so nur mehr aus dem Protokolle zu entnehmen. Diese Curve stellt ein Beispiel der bis zur Unmessbarkeit wachsenden Leitungsgeschwindigkeit vor. Die Unterschiede, welche

sich hinsichtlich der maximalen erreichten Fortpflanzungsgeschwindigkeit zwischen den einzelnen Nerven ergaben, mögen wohl zum Theile ihre Begründung in einer Ungleichartigkeit des Froschmaterials finden, da während des Winters grosse Frösche nachgeschafft werden mussten, weil von den seit Herbst eingelagerten nur noch wenige grosse Thiere übrig geblieben waren. Es könnte auch vermuthet werden, dass bei noch grösseren Reizstärken, wenn bei denselben noch gleich hohe Zuckungen zu erhalten gewesen wären, auch bei jenen Thieren, die schon von 7 cm R.-A. an z. B. keine congruenten Curven mehr lieferten, wirklich ein Unmessbarwerden der Geschwindigkeit der Erregungsf Fortpflanzung eingetreten wäre. Auffallend müssen dabei aber immer noch die Reihen A₁, A₄, Tabelle I und Nr. 39, 78, 79 und 85 auf Tabelle II genannt werden. Es ist wohl unzweifelhaft, dass auch bei diesen eine Abhängigkeit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von der Reizstärke bestanden hat, sie ist aber im Verhältniss zu den anderen Beobachtungen hierbei so verschwindend klein zu nennen, dass man hierbei doch unmöglich leichtfertig daran denken kann, es hätte bei grösseren Reizstärken eine unmessbar grosse Fortpflanzungsgeschwindigkeit zur Beobachtung gelangen können. Es mag dies vielleicht noch für die Versuche 78, 79 und 85 eingeräumt werden, die insofern eine Ausnahmestellung einnehmen, als sie mit dem Inductorium ohne Eisenkern durchgeführt wurden; bei allen übrigen versagt heute aber wohl jeder Erklärungsversuch, sie sind sicherlich fast mit jenen Beobachtungen in eine Parallele zu stellen, die von Engelmann mitgetheilt wurden. In Uebereinstimmung mit Vintschgau findet in allen Versuchen, nahezu ohne Ausnahme, bei der eben maximalen Erregung ein Constantbleiben der Fortpflanzungsgeschwindigkeit statt, auch wenn die Reizstärke etwas gesteigert wird; die Zunahme der Geschwindigkeit ist wie in seinen Versuchen eine vollkommen unregelmässige und lässt sich mit der Aenderung der Reizstärke in keine typische Beziehung bringen, die ihren Ausdruck etwa in einer Curve finden könnte. Auch innerhalb der gegebenen Temperaturdifferenzen kann ein charakteristischer Einfluss dieser auf die gefundenen Werthe bei den bedeutenden Unterschieden, welche letztere aufweisen, ebenso wenig erschlossen werden, wie sich etwa eine bestimmte Fortpflanzungsgeschwindigkeit für eine bestimmte Reizstärke angeben lässt, wenn auch Mittelwerthe aus den gewiss sehr zahlreichen Versuchen, die ja nur zum Theile angeführt sind, angenommen würden.

Jene Grössen für die Leitungsgeschwindigkeit, welche bei eben maximalen Reizen erhalten werden, stimmen mit den bisher allgemein gefundenen Werthen gut überein und nähern sich mehr den Helmholtz'schen als den von Engelmann angegebenen. Bei der Eindeutigkeit, mit welcher, bei Anwendung der verschiedensten Methoden, für geringe Reizstärken immer wieder dasselbe alte Resultat sich ergibt, während die Angaben über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit bei grösseren Reizstärken so sehr von einander abweichen, ja, wie in den vorliegenden Versuchen, sogar nahezu jene Unterschiede neben einander zeigen, welche von verschiedenen Autoren unter verschiedenen Bedingungen erhalten wurden, müssen die Resultate als einem wirklichem Verhalten entsprechend angenommen werden, das durch die Versuchsbedingungen beeinflusst wird. Und doch müssen diese Unterschiede auf den Nerven selbst bezogen werden, nachdem sich weder die Latenz des Muskels noch jene der Nervenendorgane mit der Reizstärke ändert. Ja, man wird um so mehr noch den Nerven für die Unterschiede verantwortlich machen, als eine Abhängigkeit der Unterschiede von der Länge der gegebenen Nervenstrecke vorhanden zu sein scheint, wie dies an der Hand der oben abgebildeten Curven (2) besprochen wurde. Da über die Richtigkeit und Genauigkeit der bereits von anderen Autoren mitgetheilten Resultate ein Zweifel nicht bestehen kann, den vorliegenden Untersuchungen ein Mangel an Exactheit der Methode und Reichhaltigkeit des Materials ebenfalls sicher nicht zum Vorwurfe gemacht werden kann, bliebe nur der eine Ausweg, dass es Nerven von Fröschen gibt, welche die Erregung um so rascher leiten, je grösser die Reizstärke ist, während andere diesen Unterschied in der Geschwindigkeit gar nicht oder nur in verschwindendem Maasse zeigen. Bemerkt werden muss übrigens, dass die wenigen Versuche, in denen beide Schenkel des Frosches zur Fortpflanzungsgeschwindigkeits-Bestimmung verwendet wurden, eine Uebereinstimmung der Resultate an demselben Thier ergaben, so dass man anscheinend an individuelle Verschiedenheiten einzelner Frösche denken müsste. Es scheint dies um so mehr zwingend zu sein, als die Methoden, mittelst deren eine strenge Localisirung der Erregung versucht wurde, auf den Ausfall der Versuche nach der einen oder anderen Richtung bisher gar keinen nennenswerthen Einfluss gehabt haben, seien polarisirbare oder unpolarisirbare Elektroden, Tunnel, Platinelektroden oder andere verwendet worden. Dass es unwahrscheinlich ist, anzunehmen,

es haben die Nerven verschiedener Frösche ein ganz verschiedenes Princip der Erregungsleitung — denn hier handelt es sich wohl um eine principielle Frage, die für die ganze Erklärung des Leitungsvorganges mit von schwerwiegender Bedeutung ist, wie jene der Uermüdbarkeit des Nerven — ist wohl selbstverständlich. Sicherlich ist im Froschnerven ein einziges einheitliches Princip verwirklicht, das uns nur noch verdeckt wird durch momentan noch nicht erkannte Bedingungen, unter denen wir die Versuche durchführen. Diese zu erforschen, würde gewiss eine dankenswerthe, wenn auch mühsame Arbeit sein, die wegen der Bedeutung, die ihrer Lösung zukommt, die aufgewendete Arbeit lohnen würde.

Der Zweck der vorliegend angeführten Beobachtungen konnte auf Erforschung dieser Verhältnisse nicht gerichtet sein, es war ja nur nöthig, Standartzahlen am normalen, für die Versuche am wasserarmen Nerven zu gewinnen. Eine weitschweifige Darstellung der Methodik und der Resultate am normalen Nerven musste aber doch durchgeführt werden, einerseits, um eventuelle Anhaltspunkte für das Abweichen der Resultate von denen anderer Autoren sicher zu legen und andererseits dem Nachprüfenden eine möglichst getreue Beschreibung der vorhandenen Verhältnisse zu geben, die ihm vielleicht gestattet, durch Aenderung gewisser Bedingungen an die Lösung der oben bezeichneten Frage heran zu treten.

Es sollen nun die Versuche am wasserarmen Nerven angeführt werden.

Versuche am wasserarmen Nerven.

Wenn schon am normalen Nervenmuskelpräparat von einer Gesetzmässigkeit des Verhaltens nur im weitesten Sinne des Wortes gesprochen werden kann, etwa dahin gehend, dass bei eben maximalen Reizstärken, welche gleich hohe Zuckungen auszulösen vermögen, übereinstimmende Resultate bezüglich der Leitungsgeschwindigkeit erhalten werden, Werthe, die im Allgemeinen bei den gegebenen Bedingungen mit Steigerung der Reizstärke wachsen, so liegen die Dinge für den wasserarmen Nerven noch verwickelter. Die verschiedene Grösse des Wasserverlustes, unter dem die Thiere anscheinend nicht in derselben Weise leiden, führen in den Vorgang eine neue, nicht streng festzulegende Variable ein. Recht störend kommt noch der eine Umstand hinzu, dass wasserarme Nerven auch in der feuchten Kammer (s. oben S. 309), in der sie sich noch am

besten erhalten, recht bald Aenderungen der Erregbarkeit aufweisen, so dass gleich hohe Zuckungen central und peripher nicht mehr ausgelöst werden können, und meist nur wenige Versuche einer Reihe verwendbar sind. Im Folgenden sollen die brauchbaren Versuchsreihen zusammengestellt werden; um einen möglichst einfachen Ueberblick zu geben, sind Versuchsreihen eines Tages, die an Thieren von gleichem Wasserverlust angestellt sind, soweit die Verhältnisse die nämlichen waren, in eine Zeile eingesetzt, es entfällt daher die Nummer des Versuchsprotokolls, die sich nur auf eine der Reihen beziehen könnte. Als Temperatur ist die mittlere Temperatur der Reihen eingefügt. Wie ersichtlich, weist die Tabelle III trotz der 135 Versuchsreihen noch recht bedeutende Lücken auf.

Ein Umstand, der die Durchführbarkeit der Versuche am wasserarmen Nervmuskelpreparat durch lange Zeit in Frage zu stellen schien, ist das Verharren wasserarmer Muskeln im Verkürzungsrückstand, der insbesondere dann auffallend ist, wenn mit grossen Reizstärken erregt wird. Man führt den Reiz daher dem Muskel nur allzu leicht in einem verschiedenen Stadium der Wiederverlängerung zu und ist dadurch der Gefahr einer Täuschung in Bezug auf die Latenzwerthe ausgesetzt. Zudem ändern die wasserarmen Muskeln während der Dauer der Versuche auch bei geringer Belastung ihre Länge durch eine langsam fortschreitende Dehnung sehr, so dass es einerseits zu einer solchen Verdickung der Abscissenlinie kommt, dass die Reihen unbrauchbar werden, andererseits der Contact am Hebel nur ungenau einzustellen ist. Verwendung von Ueberlastungszuckungen, sowie das strenge Einhalten gleicher Zeitintervalle zwischen allen Beobachtungen einer Reihe, vereinfachen auch hier die Ausführung wesentlich, so dass die erhaltenen Resultate, soweit sie von gleich hohen Zuckungen stammten, ganz gut übereinstimmten. Verwendet wurden nur Platinelektroden.

Eine von einem wasserarmen Nerven stammende Curve gibt Fig. 5 wieder; sie ist mit dem Contacthebel gewonnen, die Reizstärken in ihrer Reihenfolge von oben nach unten betrugen 16, 16, 12, 16, 12, 10, 10, 6, 5 cm R.-A., der Wasserverlust 30,6 %.

Tabelle III. Wasserarme

Datum	Mittl. Temp. in ° C.	Hub- höhe in mm	Wasser- verlust ¹⁾ %	Reizstärke in						
				0	1	2	3	4	5	6
26. Febr.	18,6	46,5	26,0	—	—	—	86,19	—	69,44	47,60
27. "	19,2	79,2	13,8	125,98	—	125,98	—	55,56	57,47	—
16. März	19,3	72,0	25,8	—	—	—	—	—	44,49	42,43
17. "	19,5	48,2	30,4	—	—	—	75,73	—	49,0	44,49
20. "	16,4	46,8	28,4	—	—	—	—	—	—	55,77
21. "	16,4	48,6	26,9	—	—	—	—	—	—	59,5
22. "	14,6	51,0	27,2	—	—	72,43	—	—	—	53,77
23. "	15,2	49,8	21,7	—	—	—	69,44	—	—	55,56
24. "	14,8	50,1	23,0	—	—	—	—	31,44	—	28,89
18. Mai	16,7	38,8	21,7	—	106,34	—	69,44	—	—	56,82
19. "	16,9	38,2	25,0	—	—	—	66,67	—	46,27	41,43
22. "	15,5	46,7	24,0	—	—	59,60	—	44,49	44,49	38,46
5. April	16,4	45,9	23,8	—	—	166,5	—	—	53,77	—
6. "	12,5	82,3	16,2	∞	—	79,33	75,73	—	—	66,07
11. "	12,6	65,5	21,0	555,56	—	—	—	—	—	—
12. "	18,9	63,7	24,6	—	—	106,34	—	—	—	—
31. "	19,5	77,0	9,2	26,87	—	26,87	—	26,87	—	26,87
1. Juni	21,2	85,3	16,2	30,11	30,11	—	30,11	30,11	30,11	—
3. "	21,2	76,6	11,2	—	—	—	31,25	—	31,25	—
4. "	21,5	46,5	8,7	37,02	—	37,22	37,86	—	42,43	—

Wie sich aus der Tabelle ergibt, waren mit grossen Reizstärken auch hier selten gleich hohe Zuckungen zu erhalten. Nahezu nur in den Beobachtungen vom 31. Mai bis 4. Juni gelang dies, aber wohl auch nur aus dem Grunde, weil an diesen Tagen die Stäbe in der primären Rolle gefehlt hatten. Im Uebrigen ergibt sich aus den Versuchen am wasserarmen Nerven wohl auch mit wenigen Ausnahmen eine unzweideutige Steigerung der Geschwindigkeit der Erregungsleitung mit dem Anwachsen der Reizstärke. Die Unterschiede zwischen der maximalen und minimalen Fortpflanzungsgeschwindigkeit erreichten aber nicht jene hohen Grade (ausgenommen den Versuch vom 6. Mai), welche beim normalen Nerven beobachtet wurden. Jene Reizstärken, bei denen eben gleich hohe maximale Zuckungen erreicht werden, liegen am wasserarmen Muskel höher, besonders dann, wenn es sich um sehr stark wasserarme Präparate handelte. Es ist dadurch wohl ein wesentlicher Unterschied jenen Nerven gegenüber vorhanden, deren Wassergehalt durch postmortales Eintrocknenlassen vermindert wurde. Vergleicht man die Geschwindigkeit der Erregungsleitung am normalen Nerven mit jener am wasserarmen,

1) Mit der in der zweiten Mittheilung angeführten Einschränkung kann der Gewichtsverlust hier als Wasserverlust des Thieres ausgesprochen werden.

Frösche. Platinelektroden.

Centimeter Rollenabstand													
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
—	38,46	28,89	27,31	—	25,62	—	—	24,51	—	22,37	—	—	—
57,47	46,27	—	34,23	—	32,04	28,63	—	29,69	29,69	—	25,62	25,62	23,47
39,86	34,23	32,65	28,75	27,5	—	—	—	—	—	—	22,22	—	—
—	—	—	—	—	—	27,15	—	—	20,57	—	—	—	—
42,43	—	—	—	—	25,62	—	—	20,8	—	—	—	—	—
32,65	—	—	—	—	—	—	—	—	24,51	—	—	—	—
—	—	—	31,25	—	—	—	23,47	—	—	23,47	—	23,47	—
—	33,35	31,44	—	—	—	—	25,62	—	24,51	—	—	—	—
—	25,62	—	24,75	—	24,75	—	24,75	—	24,19	—	23,47	—	—
—	—	29,69	—	—	25,62	—	—	24,19	24,19	21,17	21,17	—	21,17
39,86	32,65	—	32,65	30,11	29,69	27,61	25,93	—	24,51	—	23,47	—	—
37,02	34,23	32,65	29,69	27,15	25,83	25,83	—	23,47	—	23,47	—	—	—
32,04	—	27,61	—	25,62	—	23,81	23,47	—	23,47	—	—	—	—
56,82	41,31	37,86	44,23	33,33	27,15	—	24,75	—	24,75	—	—	—	23,47
—	—	—	—	—	31,44	31,44	29,69	—	—	—	23,47	—	—
42,43	—	29,07	—	29,07	—	—	24,75	—	—	—	—	—	—
■ —	26,87	26,87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
■ —	30,11	28,63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25,62	24,75	—	24,75	23,81	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35,44	—	33,78	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

so fällt ohne Zweifel auf, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit bei derselben Reizstärke am wasserarmen Nerven durchschnittlich eine geringere ist als am normalen. Auch bei jenen Reizen, welche eben gleich hohe maximale Zuckungen auszulösen vermögen, pflanzt sich im wasserarmen Nerven die Erregung langsamer fort (mit Ausnahme der zwei Versuche vom 4. und 1. Juni) als am normalen, obwohl die Unterschiede gegenüber diesen keine so bedeutenden genannt werden können, als man etwa nach der bedeutenden Veränderung, die ein Wasserverlust bis zu 30 % bedingt, erwarten möchte. Mit dem Ansteigen der Reizstärke wächst im wasserarmen Nerven die Geschwindigkeit meist langsamer als im normalen, so dass auch die maximalen Geschwindigkeiten fast stets hinter jenen der normalen Nerven zurückbleiben. Von einer Gesetzmässigkeit der Zunahme kann bei einem Ueberblick über die Tabelle aber nicht mehr gesprochen werden, um so mehr, als zwei typische Beispiele für eine vollkommene Unabhängigkeit von der Reizstärke vorhanden sind. Freilich waren bei diesen geringere Stromstärken in Verwendung, da in denselben, wie erwähnt, ohne Eisenkern in der primären Rolle gearbeitet wurde. Der Versuch vom 24. März entspricht ungefähr jenen, welche aus der Tabelle I und II hervorgehoben wurden; jener vom 4. Juni zeigt das merkwürdige Verhalten, dass die Geschwindig-

keit bis zu einem gewissen Optimum der Reizstärke zu-, dann wieder abnahm, als die Rollen neuerdings genähert wurden.

Ueberblickt man die gewonnenen Zahlen in ihrer Beziehung zur Grösse des Wasserverlustes, so ergibt sich kein strenger Zusammenhang mit der Grösse des Wasserverlustes, es findet keine gleichsinnige Aenderung der Leitungsgeschwindigkeit statt, wenn man auch

Fig. 5.

vielleicht geneigt wäre, eine Abnahme derselben mit dem Steigen des Wasserverlustes aus zahlreichen Versuchen herauszulesen, so sind doch die Schwankungen in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit einzelner Nerven bei steigender Stromstärke so gross, dass sich die etwa gegebenen Gesetzmässigkeiten durch die übrigen Unterschiede verwischen und ab und zu bei grösserem Wasserverlust geradezu eine grössere Fortpflanzungsgeschwindigkeit beobachtet wird. Diese Unsicherheit der Schlüsse, welche sich aus der recht geringen Einheitlichkeit der ermittelten Zahlen ergibt, lässt die Nothwendigkeit des Studiums der elektrischen Vorgänge im wasserarmen Nerven an und für sich schon dringend genug erscheinen, um so mehr, als dies

auch weitere Aufschlüsse über den Zusammenhang oder die Identificirung von Erregungsvorgang und elektrischer Zustandsänderung geben soll. Eine spätere Mittheilung wird sich mit dieser Frage befassen.

Nach dem Dargelegten werden die Ergebnisse der Versuche dahin zusammenzufassen sein, dass es heute noch nicht möglich ist, eine Abhängigkeit der Erregungsfortpflanzung von der Reizstärke

zu behaupten oder zu leugnen. Die vorliegenden Versuche deuten eher auf eine Abhängigkeit von der Reizstärke, als auf ein Constantbleiben der Leitungsgeschwindigkeit mit dem Anwachsen jener. Am wasserarmen Nerven ist im Allgemeinen diese Steigerung der Leitungsgeschwindigkeit eine geringere als im normalen Nerven; der wasserarme Nerv erreicht demnach bei grösster Reizstärke in der Regel nur geringere Fortpflanzungsgeschwindigkeitswerthe. Zur Auslösung maximaler gleich hoher Zuckungscurven bei Reizen vom Nerven aus sind am wasserarmen Muskel etwas grössere Reizstärken erforderlich. Nach dem in der Regel beobachteten Verhalten ist die dabei ermittelte Fortpflanzungsgeschwindigkeit eine geringere als am normalen Nerven. Alle jene Schlüsse, welche auf das specifische Verhalten des wasserarmen Nerven gezogen werden können, dürfen aber nur mit grosser Reserve verwerthet werden, solange nicht die Frage nach der Abhängigkeit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von der Reizstärke im normalen Nerven endgültig erledigt ist. Das Eine aber ist feststehend, dass jene Fortpflanzungsgeschwindigkeits-Werthe, welche bei eben maximalen Reizstärken erhalten wurden, sowohl am normalen wie am wasserarmen Nerven gut übereinstimmen, dass aber der erwähnte Unterschied zwischen beiden ein nicht so bedeutender genannt werden kann, als es einer so auffälligen Veränderung entspricht, wie sie ein Thier von 30 % Gewichtsverlust zeigt. Es muss dies um so auffallender erscheinen, als die Latenz des Muskels eine bedeutende Zunahme bei Verringerung des Wassergehaltes der Thiere zeigt. Am wichtigsten dürfte dies Verhalten aber bezüglich der Beurtheilung der sogenannten Latenz der Endorgane sein, bei der eine bedeutende Zunahme im gleichen Sinne mit jener des Muskels beobachtet wurde, während am Nerven selbst eine entsprechende Verminderung der Leitungsgeschwindigkeit nicht besteht. Es drängt sich hierbei wohl neuerdings die Frage darnach auf, ob das, was wir als Latenz der Nervenendorgane zu bezeichnen gewöhnt sind, wirklich auf einem Vorgange in den nervösen Endplatten beruht. Untersuchungen über den zeitlichen Ablauf der Vorgänge in den wasserarmen Centralorganen sollen darüber einige Aufschlüsse geben, die vielleicht als Anhaltspunkte für die Beurtheilung der gegebenen Verhältnisse verwendet werden können.

Während der Drucklegung der vorliegenden Mittheilung erschien eine neue Arbeit von Hermann, welche für die einschlägige Frage

sehr werthvolle Beiträge liefert. Es ist wohl kaum nöthig, zu erwähnen, dass die als „Fortpflanzungsgeschwindigkeitswerthe“ im Vorstehenden bezeichneten Grössen der „Totalgeschwindigkeit“ im Sinne Hermann's entsprechen.

Die Aussagen über die „Leitungsgeschwindigkeit“ sind in Uebereinstimmung damit auch nur als Schlüsse aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit gegeben, soweit solche zulässig waren. Sehr wichtig erscheinen in Hermann's Arbeit die neuerlichen Hinweise auf den Einfluss der Lage der Reizstellen zum Erfolgsorgan hinsichtlich der Totalgeschwindigkeit in einzelnen Strecken des Nerven; die Ausführungen weisen ebenfalls darauf hin, wie nöthig eine ausgedehnte und gründliche Untersuchung der Leitungsvorgänge im Nerven ist, um zu einer einwandsfreien Deutung der Resultate zu gelangen, welche mit der Helmholtz'schen Methode erzielt werden. Die betreffenden Studien werden dann wohl auch die gewünschte Klarheit bezüglich des Einflusses der Reizstärke liefern.