

XXV.

**Ueber verschiedene Reizbarkeit eines und desselben Nerven
und über den Werth des Pflüger'schen Elektrotonus.**

Von Prof. Julius Budge in Greifswald.

(Eingesandt im Januar 1860.)

Erste Abtheilung.

§. 1.

Vor mehr als 7 Jahren hatte ich eine Reihe von Untersuchungen an den Schenkelnerven des Frosches angestellt, welche eine bisher unbekannte Thatsache ergaben. Es zeigte sich nämlich, dass an einem und demselben Nerven desselben Individuums nicht alle Stellen gleiche Reizbarkeit besitzen, d. h. dass durch eine gleich starke galvanische Reizung einer gewissen Stelle a eine starke Zuckung im Schenkel eintrat, während bei Reizung einer anderen Stelle b das Glied in der vollständigsten Ruhe blieb.

Diese allgemein ausgesprochene Erscheinung hatte sich im Speziellen in einer zweifachen Art gezeigt. Durch die erste Serie meiner Beobachtungen *) hatte sich ergeben, dass die Schenkelnerven nahe ihrem Austritte aus dem Rückenmark reizbarer sind, als ein Stück, welches weiter unten liegt, und dies wieder reizbarer als das folgende u. s. w. Diese Erfahrung liess mich den Ausspruch thun: dass man eine um so grössere Kraft anwenden muss, um Zuckung hervorzubringen, je entfernter vom Ursprunge (Rückenmark), oder was dasselbe ist, je näher der Insertion in den Muskel man einen Nerven reizt.

Ich hatte meine Versuche mit dem Dubois'schen Inductionsapparate angestellt. An dem blossgelegten, gut isolirten Nerven

*) Froriep's Tagesberichte 1852. Januar. No. 445. S. 329.

bezeichnete ich mir 5 gleich grosse Theile. Jeder derselben maass gegen 3 Linien. Durch Stecknadeln, welche ich neben dem Präparat aufgestellt hatte, konnte ich sehr genau die Grenzen der einzelnen Abschnitte erkennen. Ich nenne die dem Rückenmark zunächst liegende Abtheilung A, die darauf folgenden B, C, D, E. Der inducirte Strom, welcher in der secundären Spirale (der verrückbaren Rolle des Dubois'schen Apparates) entsteht, wird schwächer, je weiter diese von der primären Spirale entfernt wird. Wenn auch die Entfernung beider Spiralen der Stromstärke nicht proportional ist, so hat doch jener Ausspruch vollkommene Richtigkeit.

Es ergab sich nun, dass sich bereits eine Zuckung bei einer viel grösseren Entfernung beider Rollen einstellte, wenn die Abtheilung A, als wenn B, oder C, oder D oder E die Kette schloss. So z. B. sah ich in einem Falle, dass ich die secundäre Rolle 507 Millimeter von der primären entfernen konnte und doch deutliche Zuckungen eintraten, wenn ich die dem Rückenmark zunächst gelegene Stelle A einschaltete, aber keine Spur, wenn ich B, C, D oder E einschaltete. Ich musste in diesem Falle die Rollen bis auf 248 Mm. einander nähern, d. h. 259 Mm. = 115 Lin., also beinahe einen Fuss verrücken, um auch bei E Wirkung zu erzielen. Der Unterschied war also ganz exorbitant. — Die Entfernung der beiden Rollen, bei welchen zuerst Zuckungen in den verschiedenen Abtheilungen entstanden, waren folgende:

bei A 507 B 486 C 406 D 271 E 248 Mm.

Ganz entsprechend beobachtete ich in einem Falle, dass ich bei einer Entfernung von 418 Mm. $1\frac{1}{2}$ Sekunden das Nervenstück C reizen konnte, ehe Wirkung eintrat, während bei B sehr starke Zuckungen augenblicklich sich einstellten; eine Erscheinung, welche bei öfterer Wiederholung sich immer gleich blieb, so dass kein vernünftiger Widerspruch dagegen erhoben werden kann, dass B reizbarer als C ist. Es kommt bei jeder Reizung ausserordentlich viel darauf an, wie lange dieselbe dauert. Namentlich und in erhöhtem Grade ist dies der Fall, wenn man einen Inductionsapparat anwendet, dessen primärer Strom nicht mit der Hand geöffnet und geschlossen wird, sondern, wie es gewöhnlich geschieht, durch

einen eigenen Unterbrecher. Vermittelst eines solchen wird in einer Minute viel tausendmal die Kette geöffnet und geschlossen. Dass ein so vervielfältiger Reiz dessen Wirkung unendlich verstärkt, bedarf des Beweises nicht. Es kann daher bei Versuchen sehr oft darauf ankommen, die Zeit der Reizungsdauer anzugeben. Es ist also erklärlich, dass man an einer minder reizbaren Stelle Wirkung eintreten sieht, wie an einer reizbaren, wenn man jene länger reizt. Man hat also hierin einen zweiten Weg, meine oben erwähnte Beobachtung zu bestätigen. Während man dort die Stromstärke vergleicht, könnte man hier die Dauer der Reizung an verschiedenen Stellen als Maass anwenden.

Es ist längst bekannt, dass ein Nerv nach dem Tode seine Reizbarkeit nach und nach einbüsst und dass diese Erscheinung beschleunigt werden kann, wenn man denselben öfters reizt. Jeder, der Versuche der Art angestellt hat, weiss es, welch einen gewaltigen Unterschied in der Erregbarkeit es ausmacht, ob man einen Nerven auch nur 15 Minuten ab und zu gereizt hat, oder ob man einen noch nicht gereizten Nerven vornimmt, welcher ebenso lange als jener vom Körper getrennt ist. Daher kommt es, dass man bei den angegebenen Versuchen öfters mit der Stromstärke wechseln muss und dass Zahlen, wie die oben angegebenen, nur einen relativen Werth haben.

Bevor ich nun zur Erklärung dieser auf den ersten Blick so auffallenden Erscheinung schreite, muss ich noch eine zweite That-sache, welche in demselben Jahre von mir aufgefunden wurde (vgl. Froriep's Tagesberichte 1852. S. 348), erwähnen. Bei fortgesetzter Wiederholung meines früheren Versuches prüfte ich Stelle für Stelle hinsichtlich ihrer Reizbarkeit. Hierbei ergab sich folgendes, höchst auffallendes Resultat. Es finden sich nämlich an verschiedenen Punkten des Nerven solche, welche viel erregbarer sind als andere, die sowohl über als unter diesen Stellen liegen, und wiederum andere, welche sich durch ihre grosse Reizlosigkeit auszeichnen. Ich habe die letzteren „Knotenstellen“ benannt, indem ich an die Knotenpunkte schwingender Körper erinnert wurde. — Wenn man den ganzen Nerven mit sehr einander genäherten Drähten und sehr schwachen Strömen (damals hatte ich mich auch nur der inducirten

Ströme bedient) von Stelle zu Stelle reizt, wird man bald die frappante Erscheinung vor sich haben. Ich habe sogar oft beobachtet, dass Reizung der einen Stelle bei einer gewissen Stromstärke deutliche Zuckungen erregte, während 1 Mm. davon entfernt bei derselben Stromstärke auch nicht eine Spur von Zuckung sich zeigt. Ja mitunter half eine auf $\frac{1}{4}$ Minute und länger ausgedehnte Reizung an einer solchen Stelle gar Nichts. Die Zuckung blieb aus; man brauchte aber nur die Elektroden ein wenig zu verschieben, so trat die Wirkung ein. Keinem, der sich die geringe Mühe macht, diesen von mir nun schon vor 7 Jahren publicirten Versuch zu widerholen, einen frischen Frosch anwendet und beobachten kann, wird dieses merkwürdige Phänomen entgehen.

Ich habe in der neueren Zeit sehr viele Versuche über die unipolare Reizung angestellt, welche ich erst theilweise publicirt habe (Poggendorf's Ann. 1859. S. 482) und auf die ich hier nicht weiter eingehen. Wenn man nur eine Elektrode auf den Froschnerven anwendet, so kann man bei der gehörigen Stromstärke bekanntlich dennoch Zuckung veranlassen. Hat man nun eine möglichst geringe Stärke sich ausgesucht, bei welcher überhaupt eine Wirkung eintritt, so wird man mit Staunen finden, dass von Stelle zu Stelle wandernd man an einem Punkte hier Zuckung veranlasst, während an einem zweiten, oft ganz nahe gelegenen durch längere Reizung kein Effekt, auch nicht der geringste mit derselben Stromstärke hervorzubringen ist.

Man kann endlich auch den constanten Strom zur Beweisführung der Erscheinung benutzen.

Es gibt gewisse Stellen, an welchen die erhöhte Reizbarkeit sehr gewöhnlich hervortritt. Die ausgezeichnetste liegt etwa im oberen Dritttheil des Oberschenkels, gerade da, wo ein starker Nervenzweig abgeht; eine andere sehr gewöhnlich nahe dem Abgänge der motorischen Wurzeln. Doch sind diese Punkte nicht constant, ja sogar wechselnd. Noch auffallender ist die Verrückung der Knotenpunkte. Man wird an die Erfahrung von Hrn. Savart erinnert, nach welchem die Knotenlinien, die man durch aufgestreutes Semen Lycopodii bemerkbar machen kann, nicht fest bleiben, sondern oscilliren. Freilich fehlt, um die Analogie gelten zu

lassen, bisher noch der Beweis, dass die in den Nerven erregten Molecularbewegungen durch Schwingungen fortgepflanzt werden, obwohl diese Hypothese nicht unwahrscheinlich ist.

Wenn nun sonach eine wissenschaftliche weitergehende Deutung der angeführten Erscheinung noch nicht gegeben werden kann, so darf doch schon auf ihre praktische Wichtigkeit hingewiesen werden. Die Erfahrung der Aerzte wird bei genauerer Beachtung unfehlbar finden, dass es auch im menschlichen Körper an einem und demselben Nerven Stellen giebt, die sich durch ihren grösseren Widerstand gegen Reize auszeichnen, und andere, deren Erregung leicht Zuckung zur Folge haben wird, und es ist vielleicht dem Praktiker ebenso sehr Gelegenheit geboten, diesen Gegenstand weiter zu verfolgen, als dem Physiologen.

Man könnte schon von vornherein vermuthen, dass sich ein analoges Verhalten auch in den Gefühlsnerven kund thun würde. Dies ist wirklich der Fall *), wie zuerst von Herrn Valleix beobachtet worden ist. Er führt an, dass Gefühlsnerven an Stellen, wo Nervenstämmen oder Aeste aus knöchernen Kanälen oder Lücken einer Fascie hervortreten, die eigene Erscheinung darbieten, dass in einem Umfange von wenigen Linien man hier den heftigsten Schmerz, dort völlige Schmerzlosigkeit beobachte. Auch von dem verstorbenen Kilian und von Herrn Harless wurde eine grössere Empfänglichkeit der Muskelnerven für galvanische Reizungen an Stellen beobachtet, wo die Nerven sich in grössere Aeste spalteten.

Fassen wir nun die oben angegebenen Beobachtungen zusammen, so müssen wir die beiden wohl unterscheiden; nämlich erstens, dass in einem Bewegungsnerven (Ischiadicus) die Reizbarkeit gegen den Muskel hin abnimmt, und zweitens, dass es außerdem noch beschränkte reizbare und reizlose Stellen giebt. Auf die erste dieser beiden Thatsachen muss ich noch einmal genauer eingehen, weil sie in einem gewissen Widerspruche mit einer anderen, sehr bekannten Erfahrung zu stehen scheint, welche zuerst von Valli gemacht worden ist und von manchen Schriftstellern das Ritter-Valli'sche Gesetz" genannt wird, und welche mit einer anderen von Nysten gemachten Erfahrung in eine Linie

*) s. Henle, ration. Pathol. II. S. 140.

zu stellen ist. — Valli und Ritter haben nämlich bei ihren Reizungsversuchen gefunden, und Nysten bei seinen Beobachtungen über die Todtenstarre, „dass der Tod der Rückenmarksaxe entlang von oben nach unten zu fortkrieche und ebenso in jedem Nerven von seinem Ursprunge nach seiner Ausbreitung hin.“ *) Es ist in der That diese Art des Absterbens höchst frappant. Erst erlöschen die Hemisphären des Gehirns: Vorstellungen, Wille, Empfindung hören auf zu wirken; noch sind die Vierhügel thätig, die Pupille contrahirt sich; dann versagt auch sie den Dienst, die Medulla oblongata aber lebt dem Athembedürfnisse noch ihre Organe; bald stirbt auch dies; die Reflexe des Rückenmarks fangen sodann an, von oben nach unten zu erlöschen, die Vorderextremitäten sind nicht mehr zu reflektirten Bewegungen zu veranlassen, während dieselben in den Hinterextremitäten noch kräftig fortbestehen; auch sie schwindet und jetzt hat sich der Lebensrest des Rückenmarks nur noch in die Nerven des Schwanzes geflüchtet, das letzte Ende bleibt noch am längsten für diese Art Bewegungen erregbar. Auch die einzelnen Nerven befolgen dieselbe Gesetzmässigkeit, erst hören die Gehirnnerven, dann die des Rückenmarks zu reagiren auf. Höchst auffallend habe ich dieses unter Andern an der Iris beobachtet. Oft eine halbe, ja eine ganze Stunde zeigt der Rückenmarksnerv der Iris, nämlich der N. sympathicus cervicalis noch Reizbarkeit, während ihr Gehirnnerv, der N. oculomotorius, todt ist. Ich habe z. B. bei einem Enthaupteten nach einer Stunde noch deutliche Pupillenerweiterung durch Reizung des N. sympathicus cervicalis gesehen, während nach 20 Minuten der N. oculomotorius nicht mehr reizbar war.

Daher sehen Kundige, welche das Lebensende befürchten, ängstlich nach der Pupille, deren Erweiterung ihnen als böses Zeichen bekannt ist. Denn der Gehirntod verkündet seinen Eintritt, während das Rückenmark und seine Nerven, also auch der N. sympathicus cervicalis noch für eine Weile lebt und freithätig das Uebergewicht gewinnt. — Darum wahrscheinlich geschieht es auch, dass der Todeseintritt durch starke peristaltische Bewegungen sich kund giebt. Die beiden Nerven der Gedärme, N. vagus und

*) Vgl. Dubois-Reymond, Untersuchungen über thier. Elektr. I. S. 322.

N. sympathicus, verhalten sich höchst wahrscheinlich auf ähnliche Weise zu einander, wie der N. oculomotorius und der N. sympathicus cervicalis *). — So reducirt sich endlich in jedem einzelnen Nerven die Erregbarkeit immer mehr auf den dem Muskel näheren, dem Centrum entfernteren Theil. Das wissen alle die Physiologen, die oft mit Reizungen des N. ischiadicus des Frosches sich beschäftigen. Es ist mitunter höchst auffallend, wie rasch in der Nähe der Wirbel der Reiz ganz versagt und wie hartnäckig er in der Nähe der Muskeln seine Wirkung thut. So ist es genau bei allen Nerven warmblütiger und kaltblütiger Thiere. So habe ich z. B. dasselbe auch nach dem Tode an dem Irissympathicus beobachtet. Es ist dies besonders desshalb interessant, weil dieser Nerv in der Richtung von der Brust nach dem Kopfe verläuft, abweichend von der bekannten Richtung der anderen Nerven. Man kann diesen Nerven eine lange Strecke blosslegen. Ich habe wiederholt das Erlöschen der Reizbarkeit in diesem Nerven geprüft und gesehen, wie ich immer höher und höher gehen musste, um noch bei derselben Stromstärke Pupillenerweiterung zu erzielen. Das Absterben der Nerven vom Centrum gegen die Peripherie giebt mithin auch ein Mittel an die Hand, die Richtung, welche der Verlauf eines Nerven nimmt, zu studiren, was in manchen Fällen von grossem Werthe sein kann.

Halten wir nun die oben besprochene Erscheinung mit der von mir entdeckten zusammen, so ergiebt sich von selbst, dass man an einem ganz frischen Froschpräparate das Umgekehrte sehen wird, als etwas später, wenn die Periode des Absterbens einzutreten beginnt. Anfangs ist in der Nähe der Wirbelsäule grosse Erregbarkeit und viel mehr als in der Nähe der Muskeln, später hier mehr als dort. Während man anfangs dort mit einer schwächeren Kraft ausreichte, und hier eine stärkere gebrauchte, wird jetzt oben eine intensivere Reizung als unten erforderlich, um Zuckung zu veranlassen. Dieser Gegensatz tritt mitunter sehr schnell ein. Die Art seines Entstehens kann aber nur dann klar werden, wenn man sich zuvor bewusst geworden ist, was man unter vermehrter Erregbarkeit zu verstehen hat. Wir müssen daher

*) Vgl. meine Abhandlung in den Actis Leop. Vol. XXVII.

auf diesen Gegenstand ein wenig näher eingehen, um uns zu überzeugen, dass wir auch hier keinen Widerspruch vor uns haben.

Ich habe meine Ansichten über erhöhte Erregbarkeit bereits vor 14 Jahren in meiner „allgemeinen Pathologie“ ausgesprochen und bin noch heute ihnen vollständig treu geblieben. Ich habe dort S. 308—320 zu beweisen gesucht, dass erhöhte Erregbarkeit nicht einer erhöhten, sondern vielmehr einer verminderten Nervenkraft zuzuschreiben sei. Wenn wir die Veranlassungen dieses bekannten Zustandes betrachten, so fallen sie durchweg mit Abnahme des Stoffwechsels und Mangel an Ernährung zusammen. Der Aufenthalt in sauerstoffärmer Luft, die Entziehung von Nahrung, von Schlaf, der übermässige Verbrauch von Körperstoff, sei es Hirn-, Muskel-, Drüsenmasse: mit einem Worte, alle Ursachen, welche ein Missverhältniss zwischen Verbrauch und Regeneration im Bereiche des Nervensystems bedingen, haben erhöhte Reizbarkeit zur Folge. Wenn aber Ursachen, welche niemals die Nervenkräfte vermehren, sondern immerhin dieselben vermindern, einen gewissen Zustand erzeugen, so müssen wir urtheilen, dass derselbe nicht einer Vermehrung der Nervenkräfte gleichzusetzen sei.

Sobald also die Nervenmasse verbraucht wird, oder was dasselbe sagen will, sobald die Nervenmasse abnimmt, entsteht erhöhte Reizbarkeit. Es ist also immerhin ein gewisser Grad von Zerstörung des Nerven damit verbunden.

Die gesunde medicinische Praxis aller Zeiten hat gelehrt, dass dieser Zustand niemals durch Mittel besänftigt wird, welche die Ernährung und den Stoffwechsel des Nerven vermindern. Im Gegentheil ist es immer die erste Aufgabe, die Hemmnisse der Ernährung sowohl des ganzen Körpers als auch insbesondere des Nervensystems zu heben, wenn man Erscheinungen der Art bekämpfen will.

Zu demselben gehören, abgesehen von den dem centralen System allein zukommenden Erscheinungen, besonders Schmerz und Zuckung.

Jede Erregung der Nerven, woher sie auch kommen mag, durch den Willen, durch Electricität, durch mechanische Veranlas-

sungen, haben Nervenverbrauch zur Folge und zwar immer im Verhältniss zur Stärke der Erregung und zur Widerstandsfähigkeit des Nerven. Ein schwächerer Nerv geräth nach denselben Erregungen leichter in Zuckung oder fühlt, wenn die Bedingungen zur Gefühlswahrnehmung vorhanden sind, mehr Schmerz als ein anderer, welcher grösseren Widerstand zu leisten vermag. Jener ist minder kräftig, dem Untergange näher als dieser. Wir sehen, dass schmerzerregende Einflüsse an derjenigen Körperseite, welche schwächer ist, eher Schmerz als in der anderen erzeugt. Daher kommt es, dass die meisten Menschen, wenn sie den Conductor einer schwach geladenen Electrisirmschne, oder die Pole eines Inductionsapparates berühren, eher und mehr Schmerz an der linken als an der rechten Seite fühlen, weil bei den meisten Menschen die rechte Seite mehr als die linke geübt wird, daher auch die Muskeln und damit die Haut und alle Theile dieser Hälfte eines reicheren Stoffwechsels sich erfreuen. Wenn aber umgekehrt durch Krankheit oder Gewohnheit die rechte Seite die weniger geübt und weniger ernährte ist, so fühlt die rechte Seite eher Schmerz als die linke, sie ermüdet eher, geräth leichter bei Anstrengungen in Zuckungen als jene; das heisst mit anderen Worten: die Nerven der Körpertheile, welche besser genährt sind, sind befähigt, mehr Widerstand zu leisten, d. h. sie sind weniger reizbar.

Was wird man nun erwarten können, wenn ein Nerv eher als ein anderer, oder ein Nerventheil eher als ein anderer abstirbt, d. h. vollständig widerstandslos wird? Nichts Anderes, als dass jener grössere Erregbarkeit als dieser zeigt. Denn die grössere Erregbarkeit ist eine Stufe zum Absterben. Wir wissen aber mit völliger Sicherheit, dass die Nerven von dem Centrum nach der Peripherie hin absterben. Also folgt schon ganz von selbst, dass der Theil eines Nerven, welcher den Centraltheilen näher liegt, auch dem Absterben näher ist, als der dem Muskel nahe. Der dem Absterben nahe Nerv aber hat weniger Widerstand, ist also reizbarer. Daher erklärt sich die Thatsache, welche ich gefunden habe und schliesst sich an die von Valli vollständig an. Der N. ischiadicus zeigt in seinem vom Muskel entfernten Ende

eine grössere Reizbarkeit, als in seinem unteren Ende, weil jenes eher abstirbt als dieses.

Ich wollte nun auch das Verhalten des N. vagus in seiner Wirkung auf die Herzbewegung prüfen. Die Versuche, welche ich vor 11 Jahren gleichzeitig mit den Brüdern Weber angestellt habe, ergaben bekanntlich, dass durch die Reizung der Nn. vagi das Herz seine Bewegungen einstellt. Ich habe damals im Widerspruch gegen die Angaben dieser Forscher mit Recht behauptet, dass auch durch Reizung eines N. vagus der Stillstand hervorgebracht werden könnte, und heutigen Tags pflegt man nur mein Experiment als das einfachere zu machen.

Ich war begierig zu wissen, ob eine grössere Stromstärke nothwendig sei, um den Stillstand des Herzens zu bewirken, wenn man nahe dem verlängerten Marke den N. vagus reizt, oder in der Nähe des Herzens. Ich hatte im Sommer 1858 den stud. med. Hasse beauftragt, diesen Versuch anzustellen; die Resultate, welche er fand, waren nicht mit denen übereinstimmend, welche am N. ischiadicus sich bestätigt hatten. Vielmehr sah er, dass eine grössere Stromstärke in der Nähe des verlängerten Marks als in der des Muskels erforderlich war, um Stillstand des Herzens zu bewirken. Nachdem ich später selbst dieselben Versuche wiederholte, zeigte es sich indessen bald, dass auch hier dieselbe Erscheinung sich fand, welche ich am N. ischiadicus constatirt hatte. Nur trat gewöhnlich das vollständige Absterben rasch an dem centralen Ende des Nerven ein, weshalb leicht dies Verhalten übersehen werden kann. Wenn man nun bedenkt, dass es eine viel längere Zeit erheischt, den N. vagus so herauszupräpariren, dass er zwischen dem Herzen und dem verlängerten Marke die einzige Verbindung bildet und alle übrigen Theile weggeschnitten sind, dass ferner der hier in Betracht kommende Ramus intestinalis (vgl. meine Beschreibung in Archiv f. physiol. Heilkunde V. S. 544) sehr dünn ist, so wird man es erklärlieb finden, dass sehr häufig das Stadium, in welchem die sogenannte erhöhte Reizbarkeit noch vorhanden ist, dem scheinbar entgegengesetzten Zustande, der dem Absterben noch näher gerückt ist, der Beobachtung sich entzieht. Bei rascher Präparation und frischen Fröschen wird man

sich jedoch mit Entschiedenheit überzeugen, dass der Ramus cardiacus nervi vagi sich ebenso verhält wie der N. ischiadicus, und wie jeder andere Nerv. Er stirbt von oben nach unten ab und das erste Stadium des Absterbens spricht sich als erhöhte Reizbarkeit aus.

§. 2.

Aus den angegebenen Thatsachen geht hervor, dass an einem Nerven, bevor er abgestorben ist, drei verschiedene Stadien zu unterscheiden sind. Im 1. Stadium ist der Nerv dem lebendigen am Nächsten, — relativ grosse Widerstandsfähigkeit, — die geringsten Reize bleiben ohne Erfolg. Im 2. geringe Widerstandsfähigkeit oder vermehrte Reizbarkeit — schwache Reize bringen Zuckungen hervor. Im 3. Stadium: Reizlosigkeit — schwache Reize sind ohne Wirkung. Es wird sich also eine Aehnlichkeit in der Erscheinung zwischen dem ersten und dem dritten Stadium zeigen, obwohl dort die relativ grösste, hier die relativ geringste Lebenskraft vorhanden ist.

Diese Stadien brechen aber nicht plötzlich ab, sondern gehen allmälig in einander über. Was insbesondere das zweite Stadium anlangt, so ist es klar, dass die Reizbarkeit erst bis zu einem gewissen Grade zunimmt, ihre Höhe erreicht, dann wieder abnimmt. Sie verbreiten sich ferner so über den Nerven, dass während der dem Muskel nahe Theil noch im ersten Stadium sich befindet, der folgende vielleicht schon das zweite und der oberste das dritte zeigt. — Wir werden daher unter unseren Händen den Erfolg der Reizung sich umdrehen sehen, was auffallen musste, so lange das wahre Sachverhältniss nicht bekannt war. Gewiss ist es Vielen schon vorgekommen, dass sie manchmal nach wenigen Minuten an einem Nervenstücke ganz entgegengesetzte Resultate gesehen haben. Dabei kommt die Lebenskraft der Frösche ausserordentlich in Betracht, was von selbst klar ist.

§. 3.

Es leuchtet ein, dass etwaige Erscheinungen, welche das Absterben des Nerven begleiten, auch wiederum in derselben Folge eintreten müssen, wie das Absterben selbst. Es werden auch bei ihnen die genannten drei Stadien zu beachten sein. Sehr wichtig

ist in dieser Beziehung der Eintritt der Schliessungs- und Oeffnungszuckung.

Bekanntlich zuckt der Muskel, dessen Nerv galvanisiert wird, im Momente, wenn die Kette geschlossen und dann wieder, wenn dieselbe geöffnet wird. Während des Schlusses sieht man in der Regel an dem Muskel keine Bewegungen. Nicht jedesmal treten aber beide Zuckungen ein; es hängt vielmehr von sehr verschiedenen Umständen ab, dass in einem Falle bloss Schliessungs-, im andern bloss Oeffnungszuckung erfolgt, in einem dritten beide. Diese bedingenden Umstände, welche man mit dem Namen „Zuckungsgesetz“ bezeichnet, sind von zahlreichen Forschern schon seit fast 100 Jahren geprüft worden, ohne dass man heut zu Tage viel weiter in der Erkenntniss gekommen wäre, als zur Zeit Ritter's. Obwohl nun im Einzelnen mannigfach abweichende Ansichten über die Zuckungsfolge bestehen, so stimmen doch alle Autoren in einigen Erfahrungen überein. 1) Wenn der constante Strom in der Art durch den Nerven geleitet wird, dass der positive Pol näher dem Muskel, der negative oberhalb des positiven (also entfernter vom Muskel) an dem Nerven anliegt, oder nach der bekannten Ausdrucksweise, wenn der constante Strom aufsteigend ist, so ist die letzte Zuckung, welche überhaupt eintritt, eine Oeffnungszuckung. Sie gehört also dem dritten oder Absterbe-Stadium an. Umgekehrt ist es bei dem absteigenden Strome, hier macht die Schliessungszuckung den letzten Akt aus.

2) In dem ersten Stadium, welches sich durch den relativ grössten Widerstand bekundet, bewirkt sowohl bei aufsteigendem, als bei absteigendem Strome die schwächste Reizung stets Schliessungszuckung, wie dies auch von Hrn. Valentin und Schiff an lebenden Thieren gesehen ist. Ich kann es hinsichtlich der Frösche bestätigen. Ich ätherisierte nämlich Frösche, legte dann die hinteren Wurzeln des 7., 8. und 9. Nerven bloss, durchschnitt dieselben, nähte die Wunde sorgfältig zu, überzeugte mich nach dem Erwachen, dass die Bewegung ungestört sei und stellte dann die Versuche am Schenkelnerven an.

3) Im zweiten Stadium, d. h. dem der erhöhten Reizbarkeit, findet der Uebergang zum völligen Absterben, oder dem dritten

Stadium durch Oeffnungszuckung statt, so dass also beim absteigenden Strome

1. Stad. — S*)
2. Stad. — SO
3. Stad. — S

beim aufsteigenden

1. Stad. — S
2. Stad. — SO
3. Stad. — O

beobachtet wird. Aus diesen drei Stadien kann man mit Leichtigkeit mehrere machen, wenn man erwägt, dass der Uebergang ein langsamer ist. Bei dem aufsteigenden Strome wird man daher nach dem ersten Stadium erst ganz unmerklich die Oeffnungszuckung eintreten, die Schliessungszuckung allmälig schwinden sehen, so dass während O noch vorhanden ist, jene nicht mehr auftritt. Beim absteigenden Strome tritt zur Schliessungszuckung eine Oeffnungszuckung hinzu, welche erst wächst, dann wieder abnimmt, während S allein endlich übrig bleibt.

Da nun das Absterben vom Centrum gegen die Peripherie hineintritt, so folgt, dass zu einer Zeit, wenn z. B. das letzte Nervenviertel (oberhalb des Muskels) noch im ersten Stadium, also noch widerstandsfähig ist, das erste, zweite, dritte aber bereits im zweiten, resp. dritten Stadium, also dem Absterben näher gekommen sind, man beim aufsteigenden Strome an einem und demselben Nerven in den oberen Theilen Oeffnungszuckung sehen wird, während oberhalb des Muskels diese noch nicht vorhanden ist. Und so ist es auch vice versa an dem aufsteigenden Strome. Man kann daher an einem und demselben Nerven oft dieselben Modificationen neben einander gleichzeitig beobachten, wenn man die verschiedenen Stellen untersucht, die man an einem andern Nerven, durch deren ganze Länge man den Strom gehen lässt, nach einander sieht. Diese Erscheinung ist ganz gewöhnlich und man wird nicht lange darnach zu suchen brauchen. Ohne sie zu kennen, ist es unmöglich, eine richtige Einsicht in die folgenden Beobachtungen zu erhalten. Es kommen hierbei freilich viele Ver-

*) Mit S soll Schliessungs-, mit O Oeffnungszuckung ausgedrückt sein.

schiedenheiten vor, welche vor der Stromstärke und der Reizbarkeit des Schenkels abhängen, wie dies weiterhin noch angegeben werden wird. Es kommt aber zunächst darauf an zu constatiren, dass in den verschiedenen Abtheilungen des Nerven hier O, dort S vorkommt. Darauf hat man bisher nicht geachtet und daraus sind viele Widersprüche erklärlich. Nehmen wir z. B. an, wir hätten einen Nerven vor uns, der in der unteren Hälfte bloss S, in der oberen bloss O bei Anwendung des aufsteigenden Stromes zeigt, so wird der Eine, welcher die Elektroden in dem mittleren Dritttheil des Nerven anlegt, S und O haben, der Andere, welcher nur die untere Nervenhälfte in die Kette nimmt, bloss S, ein Dritter, welcher es ebenso an der oberen Hälfte macht, bloss O sich aufhotiren. Jeder hat Recht.

Eine Complication entsteht durch die oben erwähnten Knotenstellen, sie sind Stellen stärkerer Resistenz, an ihnen erfolgt das Absterben langsamer als in ihrer Umgebung. Gelangen die Elektroden dahin, so sind die Erscheinungen natürlich anders.

Durch seine Resistenz und sein spätes Absterben ist der dem Muskel nahe Theil des Nerven ausgezeichnet. Dies erhellt aus folgenden Versuchen. An 22 Fröschen hatte ich den N. ischiadicus in 4 Theile abgetheilt und reizte den Nerven mittelst eines Daniell'schen Elementes. Ich fing am obersten, dem Rückenmark zunächst gelegenen Stücke an, nahm dann das zweite, das dritte, das vierte vor, fing dann wieder von oben an, führ fort, bis zum Erlöschen der Reizbarkeit. Viermal 858, also 3432 Reizungen wurden angewandt; darauf reagirten:

die oberste Stelle	379 Mal
die zweite Stelle	535 Mal
die dritte Stelle	642 Mal
die vierte Stelle	858 Mal.

Hieraus ergiebt sich, dass die vierte (dem Muskel zunächst gelegene Stelle) am längsten ihre Reizbarkeit behält. Es wird also sehr häufig vorkommen, dass man auf der dritten oder zweiten Stelle schon die Zuckung des Absterbestadiums hat, während man auf der vierten Stelle noch eine dem vorhergehenden, ja noch einem früheren Stadium angehörige Zuckung antrifft. Solche Beob-

achtungen habe ich zu Hunderten gemacht. So habe ich z. B. gesehen, dass in der dritten Abtheilung durch den aufsteigenden Strom O entstand, und in der vierten bloss S, oder in anderen Fällen S und schwache O etc.

§. 4.

Bisher habe ich vom Absterben des Nerven im Allgemeinen gesprochen, ohne auf die Umstände Rücksicht zu nehmen, von welchen dasselbe modifizirt wird. — Zu diesen gehören vornämlich zwei, erstens die Stromstärke, zweitens die Lebenskraft des Nerven selbst.

Ohne behaupten zu wollen, dass wir von dem inneren Vorgange in den Nerven die geringste Kenntniss haben, können wir doch zur Erleichterung des Verständnisses die Thätigkeit in den Nerven als molekulare Bewegung uns vorstellen. Wir haben dann den Bewegungshergang und den Antrieb zur Bewegung in Gedanken zu trennen. Wenn nun ein Nerv abgestorben ist, so hat sein Vermögen, diese molekulare Bewegung zu machen, aufgehört. Jedoch ist damit nicht gesagt, dass dies für alle Antriebe der Bewegung, sie mögen noch so stark sein, Geltung habe. Es geht hier vielmehr wie bei anderen Bewegungen, ein stärkerer Antrieb bringt da noch eine Wirkung hervor, wo ein geringerer keinen Erfolg zeigt. Ich habe Versuche an Froschnerven gemacht, in denen ich zuerst mit 1 Grove'schen Elemente anfing und bis zu 25 stieg, und das wieder gesehen, was schon hundert Andere vor mir beobachtet haben, was schon alten Aerzten ganz geläufig war und was sich eigentlich von selbst ergiebt. Ein Nerv kann für geringe Reize vollständig erregungslos sein, und bei starken Reizen tritt eine noch sehr bedeutende Wirkung ein. Ich habe gesehen, wo 20 Elemente keinen Erfolg mehr hervorbringen konnten, thaten es 25. Eine grössere Anzahl habe ich nicht angewendet. Ich weiss die Grenze nicht, an der man sagen könnte, dass ein stärkerer Reiz nun gar keine Wirkung mehr thut, wo ein geringerer schon versagt, wo also ein Nerv für alle Reize abgestorben wäre. Es wäre gewiss interessant, mit mächtigen Batterien solche Versuche anzustellen.

Als neuerlich auf der Universität Kharkoff mit einer Batterie

von 1000 Grove'schen Elementen Versuche angestellt wurden, bat ich den Herrn Prof. Lapchine über unipolare Reizung einige Beobachtungen zu machen. Die Zuckungen, welche durch Anwendung einer Elektrode auf den Schenkelnerven des Frosches entstanden, waren, wie er mir brieflich mittheilte, sehr bedeutend. Man kann demnach ein absolutes und ein relatives Absterben unterscheiden. Jenes würde dann eingetreten sein, wenn die mächtigsten Ströme nicht mehr im Stande wären, eine Wirkung zu erzielen. Hierüber fehlen noch die Beobachtungen. Das relative Absterben würde sich sowohl auf den Strom als auf den Frosch beziehen. Von ihm ist allein hier die Rede.

Das Absterben wird dadurch befördert, dass in einer gewissen Zeit eine sehr grosse Anzahl molecularer Nervenbewegungen oder dass in kürzerer Zeit sehr intensive hervorgerufen werden. Das will also sagen: 1) Wenn man sehr oft die Reizung eines Nerven selbst mit den geringsten Stromstärken wiederholt, so stirbt der Nerv eher ab, als wenn er ruhig liegen bleibt. Es ist mir nicht selten vorgekommen, dass der Schenkel eines schon 24 Stunden vorher getöteten Frosches auf Anwendung eines einzigen kleinen Daniell'schen Elementes reagirte, wenn in der ganzen Zeit keine Reizung vorgenommen war. Wenn hingegen fort und fort mit derselben Stromstärke nur wenige Stunden galvanisiert wird, so ist die Erregbarkeit meistens dahin. 2) Wenn man grössere Stromstärken gebraucht, so erfolgt die Reizlosigkeit viel früher. Wenn ich z. B. mit 16 Grove'schen Elementen operirte, so konnte ich oft nur $\frac{1}{2}$ Stunde Zuckung veranlassen, während bei einem Elemente noch nach 2, 3, 4 Stunden sich Reaction zeigte.

Wenn nun auch aus diesen Beobachtungen hervorgeht, dass die Nervenkraft sich allmälig erschöpft, so muss hier doch eine höchst merkwürdige Erscheinung erwähnt werden, auf welche zuerst Herr Valentin aufmerksam machte. Nerven und Muskeln, welche durch fortgesetzte Reizung zu reagiren aufhören, können sich wieder erholen und reagiren wieder. Dies wurde von Herrn E. Weber (s. Wagner's Handwörterbuch) und von mir (Bewegung der Iris) vollkommen bestätigt. Wenn man daher mittelst eines einzigen Daniell'schen Elementes so lange gereizt hat, bis

keine Zuckung mehr entsteht, so sieht man diese nach einer gewissen Zeit wieder erfolgen, wenn man den Nerven in Ruhe liess. Je stärker hingegen der angewandte Reiz gewesen ist, desto länger bedarf der Nerv zu seiner Erholung. Unzweifelhaft wird er durch intensivere Reize mehr erschöpft, mehr dem absoluten Tode genähert als durch leichtere Reize. Es kommt oft vor, dass wenn man z. B. mit 6 Elementen bis zur Reizlosigkeit galvanisiert hat, der Nerv sich von seinem relativen Absterben gar nicht mehr erholt.

Es folgt mit Gewissheit aus dem Vorigen, dass wenn ein Nervenstück nicht mehr erregbar ist für eine gewisse Stromstärke, auch nicht mehr für eine geringere es ist. Leicht überzeugt man sich durch die Beobachtung hiervon. Aber auch, wenn man es nicht bis zur völligen Reizlosigkeit kommen lässt, so hört schon die Wirkung für geringe Reize auf. Wenn man z. B. mit sechs Elementen auf einen bestimmten Nerventeil eine Zeit lang operierte und wendet nun an denselben Theile 1 Element an, so sieht man keinen Erfolg. Hingegen sieht man vielleicht noch wohl von 5, von 4, von 3, von 2 Elementen Erfolg.

Der galvanische Reiz wirkt natürlich am allermeisten auf die Stelle des Nerven, welche durchströmt wird. Indessen wird auch der ganze Nerv mit erregt. Wäre dies nicht der Fall, so könnte durch Reizung des Nerven in der Nähe der Wirbelsäule der Muskel nicht zucken. Nothwendig muss auch der Theil des Nerven, welcher zwischen der gereizten Stelle und dem Muskel liegt, die eigenthümliche, in dem gereizten Stücke entstandene Veränderung fortleiten. — So auch bleibt der Erfolg, den eine andauernde oder starke Reizung einer Stelle hervorbringt und der darin besteht, dass diese Stelle dem Absterben näher gebracht wird, nicht auf diese Stelle beschränkt, sondern auch die Nachbartheile werden mit affisirt, jedoch im Allgemeinen in dem Grade weniger, als sie von der gereizten Stelle entfernt liegen. Wenn man daher eine gewisse Nervenstelle sich genau gemerkt hat, diese etwa mit Anwendung von einem Daniell'schen Elemente reizt, und dadurch Zuckung veranlasst, dann unmittelbar daneben eine zweite Stelle mittelst 6 oder 10 Elementen reizt, so wird man sogleich nach

der letzten Reizung an der ersten Stelle mit einem Elemente in der Regel keinen Erfolg erzielen.

Man muss eine Zeit lang warten, bis die Erregungsfähigkeit wieder hergestellt ist. Es gewährt viel Interesse, wenn man eine Reihe solcher Versuche anstellt, wobei man die beiden Reize, welche man hinter einander anwendet, etwas weiter von einander entfernt, wo dann immer die Erlödtung weniger Einfluss hat.

Je stärker der eine Reiz ist, desto mehr macht er in einer grösseren Entfernung von der gereizten die anderen Nervenstellen eine Zeit lang unfähig, gegen geringe Reize zu reagiren. — Wenn man nun anstatt hinter einander 2 Reize an zwei verschiedenen Stellen anzuwenden, gleichzeitig diese Procedur vörnimmt, so entsteht dadurch keine wesentliche Verschiedenheit. Nur ist die Wirkung eine stärkere, als wenn der eine Reiz schon weggenommen ist, ehe der andere dazutritt.

Wenn man also z. B. an eine gewisse Nervenstelle die Elektroden anlegt, welche mit 12 Daniell'schen Elementen zusammenhängen und hart daneben zwei andere Elektroden mit 1 Daniell'schen Elemente in Verbindung setzt, schliesst nun zunächst die stärkere Kette, lässt diese geschlossen und schliesst dann die zweite, so bringt letztere keine oder wenigstens eine geringe Wirkung mehr hervor. Hatte man die schwache Kette von der starken weit entfernt, so ist die Wirkung noch möglich.

Bei allen diesen Versuchen muss, wie sich von selbst versteht, immer die Ungleichtartigkeit im Auge behalten werden, dass die Erregbarkeit an verschiedenen Stellen nicht gleich ist; dadurch wird natürlich die Wirkung einer und derselben Stromstärke eine verschiedene sein. Es kann daher vorkommen, dass 1 Daniell'sches Element, welches auf das dem Muskel nächste Stück (D) eine ebenso grosse Zuckung hervorbringt, wie 2 an dem folgenden höheren (C), oder 4 an dem noch höheren (B) oder gar 10 an dem an der Wirbelsäule grenzenden (A). In einem solchen Falle setzen wir voraus, dass das Stück D sich im Stadium der vermehrten Reizbarkeit befindet, C dem Absterben näher, B noch mehr, A am Meisten. Diese 10, 4, 2 Elemente gelten also soviel, wie im untersten Abschnitte 1 Element. — Wenn wir also 2 Reize, einen

stärkeren und einen schwächeren, zugleich neben oder nach einander anwenden wollen, und zwar den stärkeren in der Abtheilung B und den schwächeren in der Abtheilung C, so wären die Reize unter jener Voraussetzung erst gleich, wenn auf B 4 Elemente, auf C 2 Elemente wirkten. Es müssen also dort mehr als 4 angewandt werden, etwa 6, um das Gewünschte zu erreichen. Wollten wir umgekehrt auf C den stärkeren Reiz anwenden, auf B den schwächeren, so brauchten wir eine gleich grosse Anzahl von Elementen an beiden Stellen und hätten doch eine stärkere Kraft unten als oben. Setzen wir ferner den Fall, D wäre noch im ersten, C im zweiten Stadium, so brauchen wir, um eine gleich grosse Zuckung in D hervorzubringen, eine stärkere Kraft, weil es noch mehr Widerstand leistet, als für C. Wird nun einige Zeit D gereizt, so geht es aus dem ersten Stadium ins zweite, d. h. das der grösseren Reizbarkeit über; es bedarf jetzt weniger Kraft als vorher, während vielleicht C dem dritten Stadium näher gekommen ist, daher nun auf einmal der ganze Vorgang auf den Kopf gestellt zu sein scheint.

So lange die Kette geschlossen bleibt, fliesst der galvanische Strom durch den Nerventheil, welcher die Kette schliesst. Die Kraft vermehrt sich dadurch bedeutend. Der ganze Nerv wird dem Absterben näher gebracht, am meisten die durchflossene Strecke, am wenigsten der davon entfernteste Theil. Der am meisten widerstandsfähige wird reizbarer, d. h. zum zweiten Stadium gebracht, der schon reizbare wird dem dritten Stadium näher geführt.

Wenn man ausserdem nun die verschiedene individuelle und durch äussere Verhältnisse bedingte Erregbarkeit des Frosches berücksichtigt und endlich die Abweichung in den Erscheinungen ins Auge fasst, welche in den verschiedenen Stadien bei auf- und absteigendem Strome auftreten und oben angeführt sind, so wird man leicht dahin kommen, eine grosse Anzahl von Phänomenen beurtheilen zu können, welche bei Reizversuchen sich zeigen und den Unerfahrenen oft in Verwirrung setzen.