

XXIII.

Ueber die tetanisirende Wirkung des constanten Stromes und das allgemeine Gesetz der Reizung.

Von Dr. Eduard Pflüger.

Du Bois-Reymond hat bekanntlich zum ersten Male das allgemeine Gesetz der Nervenregung durch den electrischen Strom aufgestellt, demzufolge die Erregung nicht erzeugt wird durch den Strom in beständiger Grösse, sondern nur durch die Aenderungen dieser Grösse von einem Augenblicke zu dem anderen *). Eine fast zahllose Reihe von Versuchen aus der älteren Literatur des Galvanismus ordnet sich so dem allgemeinen Gesetze in wohlgefalliger Einheit unter **). Es lässt sich indessen dieses Gesetz von einem noch allgemeineren Gesichtspunkte betrachten, wenn man Rücksicht nimmt auf die über die chemische und thermische Reizung bekannt gewordenen Thatsachen, wobei dasselbe seine tiefe Beziehung zur Natur der Reizung überhaupt enthüllt. Man wird so zu dem allgemeinsten Gesetze der Reizung geführt, demzufolge dieselbe abhängt von der Geschwindigkeit, mit welcher irgendwelche äusseren Kräfte die innere Molecularconstitution des Nerven verändern, während ein statischer Zustand des Nerven beliebiger Art den mit demselben verknüpften Endapparat niemals erregt.

Insofern nun der constante electrische Strom einem solchen statischen Zustande der Constitution des Nerven zu entsprechen vermag, genügt er dem von du Bois-Reymond ausgesprochenen allgemeinen Gesetze der Reizung, und es stellt sich die Frage, ob dem allgemein so sei. Bekannt ist freilich, dass unter Umständen der scheinbar constante Strom den Nerven erregt, wie dies bereits

*) E. du Bois-Reymond, Untersuchungen über thierische Electricität. Bd. I. S. 258.

**) Derselbe a. a. O. S. 262—274.

du Bois-Reymond beobachtet und in folgenden Worten erklärt hat: „Nur wenn ganz übermächtige Stromeskräfte einen Nerven treffen, sieht man wohl zu Zeiten die davon abhängigen Muskeln trotz der beständigen Grösse jener in einer unausgesetzten Reihe von Zuckungen begriffen. Allein in solchen Fällen dauern die Krämpfe nicht selten auch nach dem Oeffnen der Kette fort und wenn diese längere Zeit geschlossen bleibt, tritt sehr bald für immer Ruhe ein. Man ist also berechtigt zu schliessen, dass unter diesen Umständen die Zuckungen nicht mehr die Folge der gewöhnlichen Erregungsart durch den electrischen Strom sind, sondern vielmehr von einer zerstörenden, unstreitig auf Electrolyse beruhenden Einwirkung desselben herrühren, welche mit dem fraglichen Gesetze nichts zu schaffen hat *).

Im Gegensatz hierzu leitet Eckhard jeden durch den constanten Strom herbeigeführten Tetanus aus den durch Polarisation herbeigeführten Schwankungen in der Stärke desselben ab, indem er ohne Weiteres aus dem Tetanus des Muskels auf die Inconstanz des Stromes zu schliessen sich erlaubt **).

Ich selbst habe seit längerer Zeit der Tetanus erregenden Wirkung des constanten Stromes meine Aufmerksamkeit zugewandt, um so mehr, als sich eine höchst auffallende Beziehung dieser Wirkung zur Stärke des Stromes herausstellte und ich den Tetanus mit gleicher Kraft noch erscheinen sah, obschon ich die Polarisation der Electroden möglichst vermieden hatte. Da nun die in concentrirte Kupfervitriollösung tauchenden Kupferelectroden die Polarisation noch nicht vollkommen genug beseitigen, so wählte ich nunmehr zwei Platinelectroden, welche in je ein weites Probirgläschen tauchten, das mit der stärksten rauchenden Salpetersäure von dunkelbraunrother Farbe gefüllt war. Beide Probirgläschen waren mit einem Kork wohlverschlossen. Jeder Kork aber trug in einer Bohrung eine zweimal rechtwinklig gebogene Glasröhre, welche mit frischem Hühnereiweiss gefüllt und an dem einen Ende, wo sie mit der rauchenden Salpetersäure in Contact kommen musste, mit einem vorher in Eiweiss durchtränkten Pfropf aus Fliesspapier

*) du Bois-Reymond a. a. O. Bd. I. p. 258.

**) Eckhard, Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Heft I. S. 41.

ugestopft war, während das andere Ende mit einem Stück Blase verschlossen wurde. Die rauchende Salpetersäure lässt so das Eiweiss im Innern der Röhre stundenlang intact, so dass man nunmehr leicht den in strengem Sinne constanten Strom dem Nerven zuführen kann. Zu dem Ende tauchen die freien Enden der Röhren nochmals in zwei Gefässe mit Eiweiss, aus welchen sich mit Eiweiss gefüllte Glasröhren nach dem Nerven begeben, deren je eines an den Nerven anzulegende Ende vor der Lampe ausgezogen und dann so abgeschnitten ist, dass das entstandene Lumen einen Durchmesser von 1,5 Mm. hat. Die Säule muss natürlich mit äusserster Sorgfalt hergerichtet worden sein; die Zinkplatten frisch amalgamirt, die rauchende Salpetersäure so stark, als man sie zu erlangen vermag, da wir uns Grove'scher Elemente bedienen.

Um nun den tetanisirenden Einfluss als Function der Stromstärke zu untersuchen, bediente ich mich auf Prof. du Bois-Reymond's Rath des Rheochords, dem ich für meine Zwecke folgende Einrichtung gegeben habe. Auf einem Brette von 6 Fuss Länge, 13 Zoll Breite sind 8 Neusilbersaiten von 0,3 Mm. Dicke parallel und in gleicher Entfernung von einander aufgespannt. In der Nähe ihrer Befestigung an den beiden schmalen Seiten des Brettes befinden sich zwei Querleisten, die eine an dem einen, die andere an dem anderen Ende des Brettes, über welche Leisten die gespannten Saiten hinlaufen. Die zweite Saite ist mit der dritten, die vierte mit der fünften, die sechste mit der siebenten ein für allemal durch eine metallische Leitung an demselben Stege verbunden, indem 3 sonst von einander isolirte dicke Kupferplatten auf die eine Querleiste aufgeschraubt sind und immer zwei betreffende Saiten mit einander leitend verbinden, welche über sie hinweg gespannt sind. Ausserdem ist aber noch die erste Saite mit der zweiten, die dritte mit der vierten, die fünfte mit der sechsten, die siebente mit der achten durch einen metallischen Schieber von sehr geringem Widerstande verbunden, durch welchen zwei beliebige gegenüberstehende Stellen zweier gegebenen, sonst von einander isolirten Saiten mit einander in leitende Verbindung gesetzt werden können. Die Enden der Säule werden mit denjenigen Enden der ersten und achten Saite in Verbindung gesetzt,

welche auf derselben Seite des Steges liegen, wo auch die festen Metallbelege sind. Dieselbe Klemme nimmt auch die Drähte auf, welche dem Nerven den Strom zuführen sollen, so also dass der Strom sich an jenen Enden in zwei Zweige spaltet, deren einer durch den Rheochord, der andere aber durch den Nerven geht. Lehnen sich sämtliche Metallschieber an die festen Metallbelege, so ist der Widerstand so klein, dass kein bemerkbarer Stromzweig durch den Nerven geht. Befinden sich aber sämtliche Schieber an dem entgegengesetzten Ende der Drähte, so ist die ganze Rheochordlänge eingeschaltet, also 8×170 Cm. Neusilberdraht von 0,3 Mm. Durchmesser, und der durch Nebenschliessung erhaltene den Nerven durchsetzende Strom hat das Maximum seiner Grösse. Durch die Veränderung der Lage jener Schieber hat man also im Augenblick jede beliebige unter jenem Maximum gelegene Stromstärke. Man könnte nun auf den ersten Blick versucht sein zu glauben, dass dieser Apparat darum wenig brauchbar sein möchte, weil der verwendbare Zweigstrom immer noch einen viel zu geringen Werth habe. Denn der Widerstand des Drahtes verschwinde immer noch gegen den der thierischen Theile und der zur Vermeidung der Polarisation eingeführten ungeheuren Widerstände.

Diese Betrachtung ist indessen nicht genau, wie sich aus Folgendem ergibt. Es sei A gleich dem in der Säule vorhandenen Widerstande + demjenigen, welcher aus den Drahtleitungen bis zur Stelle der Stromtheilung resultirt, B gleich dem Widerstande der jedesmal eingeschalteten Rheochordlänge, C gleich dem Widerstande in dem Stromzweige, der den Nerven durchfliesst, E endlich gleich der Summe der electromotorischen Kräfte der Säule, so ist die Stärke des den Nerven durchfliessenden Stromes:

$$S = \frac{EB}{AB + AC + BC} = \frac{EB}{AB + (A + B)C}.$$

Stellt man nun solche Bedingungen her, dass A gegen B verschwindet, so wird

$$S = \frac{EB}{(A + C)B} = \frac{E}{C},$$

da A auch gegen C verschwindet.

Ich habe mich nun an dem Multiplicator überzeugt, dass für

den Widerstand meiner Vorrichtungen zur Vermeidung der Polarisation und für den einer zehngliedrigen Grove'schen Säule der kleineren Art diese Bedingungen nahezu erfüllt sind, wenn *B* den an meinem Rheochord möglichen Maximalwerth erhalten hat. Denn als der durch Nebenschliessung erhaltene Strom die Nadel auf 12° constanter Ablenkung hielt, ging dieselbe auf 14° , als ich die Rheochordleitung unterbrach. Als stromprüfenden Instrumentes bediente ich mich des mir von Prof. du Bois-Reymond freundlichst zu Gebote gestellten und den Physiologen bekannten Museumsmultipliers mit halber Länge, zu welcher ich ausserdem noch eine Nebenschliessung aus Neusilberdraht anbrachte, weil der Strom sonst die Nadel fast an der Hemmung festgehalten haben würde.

Denken wir uns nun eine gewisse Zahl von Schieberlagen, dem eine gewisse Zahl von Stromstärken entspricht, und untersuchen wir, welches während der Schliessung dieser Ströme das Verhalten des Muskels sein möge.

Zunächst zeigt sich nun die bereits a priori klare Thatsache experimentell bestätigt, dass es stets eine Stromstärke von äusserster Schwäche gebe, welche niemals Tetanus erzeugt. Was aber gegen alles Erwarten war, ist der Umstand, dass die Tetanus erregende Fähigkeit auch jetzt trotz nicht vorhandener Polarisation nicht allein in derselben Weise, wie sonst, noch vorhanden ist, sondern dass dieselbe bereits bei Strömen von äusserster Schwäche anhebt, deren Grösse laut der Aussage des Multipliers von einerlei Ordnung mit dem Muskelstrom ist. Doch steigert sich mit weiterem Wachsen der Stromstärke der Tetanus noch beträchtlich. Geht man nun noch weiter, so trifft man einen Werth der Stromstärke, bei welchem sich die wunderbare Thatsache ereignet, dass nunmehr der gewaltige Strom ohne Tetanus ertragen wird, was für alle Stromstärken über diesem Werthe fortwährende Geltung behält. Man ist geneigt, zu vermuthen, der constante Strom habe bereits durch Electrolyse die Erregbarkeit des Nerven soweit herabgebracht, dass nun selbst stärkere Ströme ohne Tetanus ertragen werden. Wählt man nun aber für denselben Nerven, welcher so eben den starken Strom ohne Tetanus ertrug, wieder durch Ver-

legung der Schieber die geringere Stromstärke, so ist auch der Tetanus mit aller Kraft und grösserer oder geringerer Dauer wieder vorhanden. Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, dass man den starken Strom nur so kurze Zeit als nöthig ist, geschlossen lässt, indem er bei längerer Schliessung natürlich wirklich den Nerven auch für schwächere Ströme unempfindlich macht. Diese Tetanus erregende Wirkung des constanten Stromes wächst äusserst rasch mit der Länge der durchströmten Strecke, welches in Uebereinstimmung ist mit der Thatsache, dass die Zuckungen, die säulenartige Polarisirung, sowie die Veränderung der Erregbarkeit selbst durch schwächere Ströme von der längeren erregten Strecke aus mächtiger ausfallen. Das bis hierher beschriebene Verhalten gilt sowohl für den aufsteigenden, wie für den absteigenden Strom; nur ist dasselbe für den ersteren ungleich evident. Während nämlich der schwächere aufsteigende Strom nur Schliessungszuckung giebt und sehr leicht den heftigsten Tetanus, tritt der starke aufsteigende Strom in den Nerven ein, ohne dass ein leises Zucken des Muskels die mächtige Veränderung verriethe, welche in dem Nerven Platz gegriffen hat, und ohne dass der Muskel die nun stattfindende starke Electrolyse des Nerven irgendwie beantwortete. Nur wenn die Kette geöffnet wird, folgt der mächtigen Oeffnungszuckung eine Reihe tetanischer Zusammenziehungen (Ritter'scher Tetanus) von verschiedener Dauer und Stärke, je nach der Stärke und der Dauer der Einwirkung des Stromes. Beim absteigenden Strom erzeugt in der Regel anfangs auch der starke Strom Tetanus; dieser geht aber bald vorüber und ist im Allgemeinen schwächer als der durch schwächere Ströme erzeugte. Das allgemeine Gesetz, dem die tetanisirende Wirkung des constanten Stromes gehorcht, gestaltet sich demnach so: dass diese mit Strömen von äusserster Schwäche anhebt, alsbald ein Maximum erreicht und darauf nach Null zurücksinkt.

Das ist die nackte Thatsache, bei welcher ich bemerken muss, dass sie nicht etwa eine Ausnahme darstellt, sondern besonders für längere durchströmte Nervenstrecken geradezu die Regel darstellt. Doch verliert der Nerv durch längere Durchströmung mit stärkeren Strömen mehr oder weniger schnell die Fähigkeit, durch

den constanten Strom in Tetanus zu gerathen, obschon er noch immer reizbar ist.

Es könnte nun der Eine oder Andere trotz der vollkommenen von uns getroffenen Vorsichtsmaassregeln den entstandenen Tetanus aus doch noch vorhandenen Unstetigkeiten der Säule oder der an den Platindrähten doch noch vielleicht vorhandenen Polarisations ableiten wollen. Abgesehen davon, dass solche von der Säule selbst herrührende Stromesschwankungen bei starken Strömen im Kreise des Nerven auch stärker sein müssten, ist noch zu bemerken die constante, minutenlang unverrückt bleibende Ablenkung der Multiplicatornadel, auf welche der Zweigstrom wirkt. Denn obwohl die Nadel ihrer Trägheit halber solche rasch vor sich gehende Unstetigkeiten nicht einzeln anzuzeigen vermag, so darf man doch nicht vergessen, dass sie sich zusammensetzen müssten aus den unendlich vielen Unstetigkeiten, welche auf den unendlich vielen Punkten der Metalloberflächen stattfinden, welche die Electrolyten bespülen, wobei es mir unwahrscheinlich dünkt, dass diese unendlich kleinen unendlich vielen Variationen der electromotorischen Kraft und des Widerstandes einem Incremente der Stromstärke entsprechen, das für Zeiträume, welche gegen die Schwingungsdauer der Nadel in Betracht kommen, stets gleich Null ist. Durch den Versuch prüfte ich nun, ob in dem Kreise des Nerven noch eine nachweisbare Polarisation und von welchem Zeichen vorhanden sei. Zu dem Ende schaltete ich in denselben den Museumsmultiplicator mit halber Länge ein und führte den Platinelectroden den Strom erst unter Vermittlung eines Pohl'schen Commutators zu, so dass der Strom, welcher die Nadel in constanter Ablenkung hielt, also plötzlich im Kreise des Nerven und der Platinelectroden, nicht aber im Multiplicator umgekehrt werden konnte. Legte ich so die Wippe mit mittlerer Geschwindigkeit um, so blieb die Nadel unverrückt. Geschah dies aber mit der grösstmöglichen Geschwindigkeit, zu welchem Zwecke das Axenlager der Wippe fest und der Commutator an den Tisch geschraubt sein muss, so erhielt ich eine kleine positive Schwankung der Nadel, welche sich indessen selten bis zu einem Grade in den empfindlichen Breiten der Theilung belief, während unter gleichen Verhältnissen bei Kupfer-

electroden und concentrirter Kupfervitriollösung die Nadel eine positive Schwankung von 20° und mehr macht. Es war also in meinem Kreise immer noch eine Spur negativer Polarisation vorhanden. Da nun zunächst keine Möglichkeit abzusehen ist, wie ein Strom von grösserer Constanz jemals durch den Nerven geleitet werden könne, um so mehr als der Nerv selber polarisierbar ist, so bleibt Denjenigen, welchen die obige Auseinandersetzung gegen die Unstetigkeit des Stromes nicht wahrscheinlich genug dünkt, immer noch der Ausweg, den entstehenden Tetanus aus solchen durch die noch vorhandene Polarisation herbeigeführten Unstetigkeiten des Stromes abzuleiten und nach einer Erklärung zu suchen für die merkwürdige Thatsache, dass nicht die starken, sondern die schwachen Ströme die Tetanus erregende Fähigkeit besitzen. Jedenfalls macht man sich dann aber einer Willkür schuldig und thut den Thatsachen ohne Noth einen, wie mir scheint, unnatürlichen Zwang an, weshalb ich du Bois-Reymond beistimmen muss, wenn er für die Empfindungsnerven festsetzt, dass sie auf den Strom in beständiger Grösse reagiren, obschon man auch hier diese Reaction von derartigen Unstetigkeiten um so mehr hätte ableiten können, als die bezüglichen Versuche nicht ohne Vermeidung der Polarisation angestellt sind *). Gibt man dies zu, so ordnen sich beide grosse Nervenklassen unter dasselbe Gesetz, wie sie ja auch sonst in ihrem allgemeinsten Verhalten nicht merkbar von einander verschieden sind.

In Wirklichkeit scheint mir sogar diese Vorstellung die ungleich natürlichere, weil sie ausserdem in vollkommenster Uebereinstimmung bleibt mit dem allgemeinsten Gesetze der Reizung, demzufolge die Grösse der Erregung des Nerven abhängt von der Geschwindigkeit, mit welcher die Molekeln übergehen von einem Zustande zu dem anderen. Der constante Strom aber stellt im Nerven nur zum Theil und nur in gewisser Beziehung einen statischen Zustand her, welcher bedingt ist durch das dynamische Gleichgewicht, welches in electrischer Beziehung auf einem gegebenen Querschnitte der Strombahn im Nerven stattfindet. In Wirk-

*) E. du Bois-Reymond a. a. O. Bd. I. S. 283.

lichkeit ist dieses aber begleitet theils von den translatorischen, theils von den chemischen Wirkungen des Stromes. So wandern fortwährend von jedem Querschnitt des durchströmten Nerven Schaaren von Molekeln zum positiven, von jedem zum negativen Pol. Es scheint mir nun, als ob es bei Betrachtung der Wirkung des electrischen Stromes nicht erlaubt sei, von jenen durch die Electrolyse bewirkten inneren Bewegungen der Nervenmolekeln abzusehen, weil eben die Electrolyse ein unveräusserliches Attribut des Stromes ist und weil vielleicht alle Wirkung desselben nur in ihr den letzten Grund hat. Diese mit der Schliessung beginnende fortwährende Umwandlung des Nerven spricht sich ja indessen auch durch die stetig hiermit vor sich gehende Umwandlung der physiologischen Eigenschaften aus: ich erinnere an das Wachsen der Oeffnungszuckung mit der Dauer der Einwirkung des aufsteigenden Stromes, an das Anwachsen des Electrotonus während der Schliessung, an die Verschiebung des Indifferenzpunktes zwischen den Electroden, an den Ritter'schen Tetanus und die Modification der Erregbarkeit durch den constanten Strom. Warum sollten nun die Stadien der Veränderung, welche der Nerv während der Dauer des stetigen Stromes stetig durchläuft, sich nicht verknüpfen mit Erregungen des Endapparates, da diese ja von Veränderungen des Nerven abhängen, falls sie von ausreichender Grösse sind, schnell genug stattfinden und der Endapparat die ausreichende Empfindlichkeit besitzt? Soweit scheint das Verhalten klar und sogar in vollkommenster Uebereinstimmung mit dem allgemeinen Gesetze der Reizung.

Es fragt sich nun aber ferner: Warum erzeugen nur die schwachen Ströme Tetanus, und warum ist der absteigende Strom hierzu in weit höherem Maasse fähig als der aufsteigende? Ich vermag, gestützt auf meine Untersuchungen über die Alteration der Erregbarkeit im electrotonischen Zustande, eine, wie ich glaube, zur Zeit genügende Aufklärung hierüber zu geben, indem ich mich zunächst an eine Frage anlehne, welche zuerst von du Bois-Reymond discutirt worden ist.

Dieser Forscher stellt das Problem auf, zu bestimmen, von welchem Einflusse die absolute Grösse der Ordinaten sein möge,

zwischen welchen eine Stromesschwankung vor sich gehe, auf die Grösse der durch diese Schwankung bewirkten Gesamterregung der Bewegungs- sowohl als Empfindungsnerven, von welchem Einflusse also die Constante C sei, wenn man setze:

$$\Delta = f(t) + C,$$

wo Δ die Stromesdichte als Function der Zeit betrachtet ist *). Du Bois-Reymond findet es bis zu einem gewissen Grade wahrscheinlich, dass die Erregung um so kleiner ausfalle, je beträchtlicher bereits die in dem Nervenquerschnitt bestehende Dichtigkeit sei. Denn es erscheine natürlich, anzunehmen, dass, je weiter diese Veränderung des Nerven bereits gediehen sei, aus der er nachgewiesenermaassen bei der Oeffnung des Kreises mit so grosser Elasticität nach dem gewöhnlichen Zustande zurückstrebt, um so grössere Veränderungen der Stromdichte nothwendig werden, um das Gleichgewicht noch mehr zu verrücken. Freilich, fährt du Bois-Reymond fort, wäre es auch möglich, dass bei der grösseren Spannung, unter welcher jetzt die kleinere Veränderung vor sich geht, diese mit gleicher oder grösserer Kraft die Gleichgewichtszustände des Nerven erschütternd wirkte. Du Bois-Reymond lässt also die Frage in Wirklichkeit unentschieden, wie es nicht anders zu erwarten war von einem solchen Kenner der hier auftretenden Verwicklungen, welche zu enträthseln selbst die tiefste Intelligenz ohne den Versuch sich umsonst vermisst. Eckhard behauptet nun unbegreiflicherweise, du Bois-Reymond habe die erstere Möglichkeit bis zu einem hohen Grade wahrscheinlich gemacht durch die so eben von uns dargelegte Betrachtung desselben **). Da Eckhard die vorhandenen Versuche nicht beweisend schienen, so nimmt er diese Frage wieder experimentell auf und kommt auch zu der Bestätigung jener nach ihm so wahrscheinlichen Möglichkeit, derzufolge „mit der Zunahme der absoluten Höhe der Ordinaten, zwischen welchen ein und dieselbe electricische Dichtigkeitsschwankung vor sich geht, die Anregung zur Bewegung abnimmt“ ***). Wie sich nun durch meine Untersuchungen

*) du Bois-Reymond a. a. O. Bd. I. S. 293.

**) Eckhard, Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Hft. 1. S. 28.

***) S. Eckhard a. a. O.

über die Alteration der Erregbarkeit im Electrotonus herausgestellt hat, ist dieses Gesetz nicht das wahre, weil es eine nur unter gewissen Bedingungen auftretende Erscheinungsweise des wirklichen Gesetzes ist, so zwar, dass man ebenso gut das Gegentheil von dem beobachten kann, was Eckhard als Regel angibt, obwohl man genau die von ihm angegebenen Bedingungen hergestellt hat. Es ist Eckhard auch hier, wie an so vielen anderen Stellen dieses wichtigen Gebietes das wahre Gesetz durchaus entgangen, das allerdings ganz anders sich darstellt, als man es vermuthet hat.

Mit dem Augenblicke der Schliessung eines Stromes von beliebiger Stärke durch den Nerven zerfällt die durchflossene Strecke, die uns hier hauptsächlich interessirt, stets und sofort in zwei Zonen, in deren einer die Erregbarkeit erhöht, in deren anderer sie herabgesetzt ist. Die letztere ist die Region des positiven, die erstere die des negativen Pols. Betrachtet man nun die Länge der Region herabgesetzter Erregbarkeit bei gegebener Länge der durchströmten Strecke, so ergibt sich, dass dieselbe bei schwächsten Strömen ein Minimum ist und mit wachsender Stromstärke stetig zunimmt; es dehnt sich also mit dieser die Region der herabgesetzten Erregbarkeit immer weiter und weiter vom positiven Pole aus. Eine unmittelbare Folge hiervon ist also das entgegengesetzte Verhalten für die Region des negativen Pols. Da also bei schwächeren Strömen der bei Weitem grösste Theil der durchströmten Strecke sich in einem Zustande sehr erhöhter Erregbarkeit befindet, so ist es ersichtlich, warum jetzt jene durch die Electrolyse bedingten Molecularschwankungen so leicht Tetanus erzeugen, um so mehr als ja der ausserhalb der Electroden bestehende Zustand nicht in Betracht kommt nach dem von mir für schwächere Ströme aufgestellten allgemeinen Gesetze für die Fortpflanzung der Reizung durch den säulenartig polarisirten Nerven. Bei starken Strömen ist der bei Weitem grösste Theil der durchströmten Strecke in seiner Erregbarkeit so ausserordentlich stark herabgesetzt, dass trotz der stärkeren Electrolyse die Reizung auf ein Minimum herabgebracht ist. Dass dies beim absteigenden Strome erst bei sehr hohen Stromeskräften und auch dann noch

unvollkommener beobachtet wird, hat aber darin seinen einfachen Grund, dass die immer vorhandene Region erhöhter Erregbarkeit der durchströmten Strecke unmittelbar an die sehr reizbaren Molekeln grenzt, welche vor dem absteigenden Strome liegen und willig und schnell jede Molecularschwankung nach dem Muskel hinabsenden. Beim aufsteigenden Strome hingegen müssten diese Schwankungen die gesammte Region des positiven Poles passiren, um den Muskel noch erregen zu können. Da aber bei einer gewissen Stärke der Polarisation diese Molekeln unfähig werden, die Reizung von ihren Nachbarn zu übernehmen und auf die nächstfolgenden zu übertragen, so branden gleichsam jene Molecularwellen, welche von dem negativen Pol nach der Region des positiven hinanrollen, an dieser und verlöschen.

Das allgemeine Gesetz der Nervenirregung durch den electrischen Strom kann demnach sowohl für die Bewegungs- als Empfindungsnerven so ausgesprochen werden:

Obwohl die Erregung vor Allem abhängt von den Schwankungen der Dichte des die Nerven durchfliessenden Stromes, so reagiren diese doch auch gleichwohl auf den Strom in beständiger Grösse. Während die letztere Abhängigkeit sich so gestaltet, dass die Function anfangs wächst, ein Maximum erreicht, um dann wieder abzunehmen, bleibt das genauere Gesetz der anderen Abhängigkeit vor der Hand unbekannt.
