

XLIX.

Ueber Pflüger's Versuch, die Abhängigkeit des elektrotonischen Erregbarkeitszuwachses von der Zeit zu bestimmen und über einen neuen Versuchsplan zur exacten Ermittlung derselben.

(Vorläufige Bemerkungen.)

[Reichert's und du Bois-Reymond's Archiv 1865.]

Die Anordnung seines sinnreichen Versuches beschreibt PFLÜGER bekantlich »Physiologie des Elektrotonus«. Berlin 1859, S. 442 folgendermaassen:

»Ich präparire zwei stromprüfende Schenkel von demselben Frosche. Den Nerven des einen Schenkels lege ich mit dem *Plexus sacralis* auf ein Elektrodenpaar von 4 mm Spannweite, so aber, dass die intrapolare Strecke vom Querschnitt etwa 8—10 mm noch entfernt ist. Dieses Elektrodenpaar steht mit einer nicht geschlossenen VOLTA'schen Säule von 5—6 GROVE'schen Elementen in Verbindung. Man denke sich nun diesen Ischiadicus horizontal sanft ausgespannt und zwischen Muskel und dem genannten Elektrodenpaar, welches ich fortan das erste nennen will, ein zweites Elektrodenpaar von gleicher Spannweite wie das erste angebracht. Die zwischen beiden intrapolaren Strecken gelegene Länge des Nerven sei = 5 mm. Das zweite Elektrodenpaar besteht nur aus zwei geraden, mit einander durchaus parallelen, horizontal liegenden, sonst isolirten Platindrähten. Ueber die beiden anderen noch freien Enden dieser Platindrähte brückt man dann den Nerven des zweiten stromprüfenden Schenkels, welcher ganz durch Glas und Luft isolirt ist, wie der erste«.

»Die Spannweite des zweiten Elektrodenpaares am zweiten Nerven sei gleich der am ersten Nerven und umfasse genau dieselbe Stelle bei

beiden, so dass also bei beiden die intrapolare Strecke gleich weit entfernt ist vom Muskel. Wir wollen, wie man sieht, secundäre Zuckung hervorbringen und zwar durch einen Strom, welcher durch den ersten Nerven in aufsteigender Richtung geschlossen wird. Der zweite Nerv werde demgemäss so über die Platindrähte gelegt, dass der Strom der säulenartigen Polarisation in aufsteigender Richtung in denselben eintritt. Unsere Betrachtung war nun folgende: Mit dem Augenblicke der Schliessung des polarisirenden Stromes der Säule werden zunächst die intrapolaren Moleküle in den elektrotonischen Zustand übergeführt, und dann erst breitet sich von Querschnitt zu Querschnitt die säulenartige Polarisation über die extrapolaren Strecken aus. Sobald sie in die Strecke des zweiten Elektrodenpaares eingebrochen sein wird, muss sich augenblicklich ein mächtiger Zweigstrom durch diesen Kreis und also auch durch den zweiten Nerven ergiessen. Der Muskel des zweiten Nerven gibt demgemäss eine kräftige Zuckung an. Derselbe Strom aber, welcher den zweiten Nerven durchfliesst, strömt auch durch den ersten an genau derselben Stelle, mit genau derselben Dichte, in genau derselben Richtung. Die Curve seiner Dichtigkeit, auf die Zeit bezogen, ist endlich genau dieselbe«.

»Wenn nun zu der Zeit, wo in dem ersten Nerven die säulenartige Polarisation bis in die Strecke des zweiten Elektrodenpaares vorgerückt ist, die Erregbarkeit sich noch nicht verändert hätte, so müsste die zweite Strecke durch den Polarisationsstrom genau so erregt werden, wie dies beim zweiten Nerven in der That der Fall ist«.

»Der starke aufsteigende polarisirende Strom gibt selber . . . keine Schliessungszuckung. Falls also jetzt bei Schliessung des starken Stromes keine Zuckung des primär erregten Schenkels erscheint, obwohl der zweite Schenkel secundär zuckt, so ist es klar, dass zu der Zeit, wo der Polarisationsstrom durch die zweite Strecke des ersten Schenkels fliesst und den zweiten Schenkel zum Zucken bringt, auch bereits die Erregbarkeit in der zweiten Strecke des ersten Schenkels so weit herabgesetzt ist, dass der Polarisationsstrom, der den zweiten erregt, den ersten ganz ruhig lässt. In der That sieht man beim Schliessen der Säule nur secundäre oder primäre Zuckung«. —

Aus diesem Versuchsergebniss schliesst nun PFLÜGER, dass »die Veränderung der Erregbarkeit nach der Schliessung des polarisirenden Stromes gewiss nicht langsamer eintritt, sich über den Nerven mit gewiss nicht geringerer Geschwindigkeit verbreitet, als jene Veränderungen thun, von welchen der Strom der säulenartigen Polarisation herrührt«.

Dieser Schluss ist jedoch, wie ich glaube, durchaus nicht mehr

bindend. seit v. BEZOLD die Entdeckung gemacht hat: »dass im Augenblicke der Schliessung schwacher Ströme im Nerven die Erregung nicht sofort eintritt, sondern, dass eine bestimmte von der Stärke dieser Ströme abhängige Zeit verfliesst, innerhalb deren der Nerv für die Erregung vorbereitet wird«. S. v. BEZOLD: Die elektr. Erregung der Muskeln u. Nerven, Leipzig 1861, S. 279).

Im Durchschnitt beträgt nach v. BEZOLD die Verspätung des Zuckungseintrittes nach Schliessung sehr schwacher auf- oder absteigender Ströme, welche dem Vorbereitungsstadium entspricht $= \frac{1}{300}$ Sec.

Es zeigt sich demnach, dass die Zeit der Vorbereitung, welche zwischen der Stromschwankung und der hierdurch hervorgebrachten Erregung im Nerven verfliesst, einen absolut viel grösseren Werth besitzt, als jene Zeit, welche nöthig ist, damit sich die elektromotorischen Veränderungen nach Schliessung des polarisirenden Stromes, durch eine wenige Millim. lange Strecke des Nerven fortpflanzen, indem ja nach HELMHOLTZ diese Veränderungen von beiden Polen aus mit einer ebenso grossen Geschwindigkeit mindestens als die Reizung nach den extrapolaren Strecken zu sich fortpflanzen sollen.

Die Fortpflanzung der Reizung — (und also auch die Fortpflanzung der elektromotorischen Veränderungen — durch eine 5 mm lange Nervenstrecke — das ist die Distanz der beiden intrapolaren Strecken von einander in PFLÜGER'S Versuch — dauert aber nur ungefähr $\frac{1}{4800}$ Sec.

Man sieht, das Resultat des PFLÜGER'Schen Versuches könnte immer noch dasselbe bleiben, wenn auch die Veränderungen der Erregbarkeit durch den polarisirenden Strom 5 mal langsamer eintreten und über die extrapolaren Nervenstrecken sich verbreiteten als die elektromotorischen.

Den Schluss, welchen PFLÜGER aus seinem Versuchsergebnisse im Jahre 1859 ziehen durfte, darf man also jetzt nicht ohne Weiteres mehr ableiten, da er nur in dem Falle gerechtfertigt erscheinen könnte, wenn der zur Reizung der beiden Nerven durch die Platindrähte abgeleitete elektrotonische Zuwachsstrom stark genug wäre, um den Erregungsvorgang momentan auszulösen.

Bei der Wichtigkeit der durch PFLÜGER'S Versuch beabsichtigten Bestimmung, »dass der elektrische Vorgang sich mit derselben absoluten Langsamkeit bewegt, wie der rein physiologische«, dürfte die Mittheilung der vorstehenden Bemerkungen und Bedenken wohl gerechtfertigt sein. —

Zur experimentellen Prüfung dieser Bedenken gegen die Beweis-

kraft des PFLÜGER'schen Versuchs habe ich folgenden Untersuchungsplan entworfen und theilweise auszuführen begonnen, ohne jedoch bereits zu irgend einem Abschluss gekommen zu sein.

Wenn ich diesen Plan schon jetzt öffentlich bespreche, so mag dies darin Entschuldigung finden, dass ich voraussichtlich noch längere Zeit durch äussere Umstände verhindert sein werde, denselben selbst durchzuführen.

Meine Idee besteht darin, vier unpolarisirbare Elektroden in derselben Anordnung wie beim PFLÜGER'schen Versuch an den Nerven anzulegen und durch die beiden oberen Elektroden einen starken, aufsteigenden, polarisirenden Strom genau in demselben Augenblicke in den Nerven hereinbrechen zu lassen, in welchem die beiden unteren Elektroden dem Nerven einen constanten Kettenstrom von grösserer oder geringerer Dichtigkeit oder einen schwächeren oder stärkeren Oeffnungsinductionsschlag als Reiz zuführen.

Die am PFLÜGER'schen Myographion zu verzeichnenden Zuckungsordinaten würden dann sicher erkennen lassen, ob und wie die Zuckungen nach Schliessung constanter Ströme und jene nach momentanen Oeffnungsinductionsschlägen durch den gleichzeitig mit der reizenden Dichtigkeitsschwankung hereinbrechenden polarisirenden Strom verändert werden.

Die der HELMHOLTZ'schen ähnliche Wippe, vermittelt welcher beide Ströme genau in demselben Momente geschlossen werden, müsste jedoch noch die weitere Einrichtung haben, dass man den polarisirenden Strom auch um beliebige, sehr kleine messbare Zeitintervalle früher oder später schliessen könnte als den reizenden, um auch die Zuckungen mit einander vergleichen zu können, die derselbe Reizstrom auslöst, je nachdem er gleichzeitig mit dem polarisirenden Strome den Nerven angreift oder später oder auch früher als dieser.

Man sieht, unsere Anordnung bezweckt, durch die Versuche zu erfahren, in welcher Beziehung das von v. BEZOLD entdeckte Gesetz der Erregung der Nerven durch den galvanischen Strom zu der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des elektrotonischen Erregbarkeitszuwaches steht und ob sich unsere Bedenken gegen den PFLÜGER'schen Versuch *ad oculos* demonstriren lassen.

Es ist bei Ausführung der Versuche nach unserer Anordnung einerseits zu erwarten, dass Zuckungen, welche bei unpolarisirtem Nerven durch Schliessung sehr schwacher Kettenströme ausgelöst werden, bei polarisirtem Nerven (in der anelektrotonisirten Strecke) aber durch Schliessung derselben reizenden Ströme entweder abgeschwächt

oder gar nicht auftreten, selbst dann eine Abschwächung erfahren oder ganz ausbleiben können, wenn der reizende Strom, erst in demselben Moment, ja sogar wenn er merklich früher geschlossen wird als der polarisirende, dagegen dürften andererseits Zuckungen, welche nach momentanem Oeffnungsinductionsschlag oder Schliessung stärkerer Ströme entstehen, nicht nur dann unverändert in Erscheinung treten, wenn der polarisirende Strom gleichzeitig mit dem reizenden den Nerven trifft, sondern selbst dann, wenn letzterer um ein gewisses Zeitintervall später geschlossen wird als ersterer. Durch genaue Messung dieser Zeitintervalle liessen sich die absoluten Zahlenwerthe für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregbarkeitsänderungen finden.

Zum Schlusse erlaube ich mir noch einen anderen Weg anzudeuten, auf welchem die offene Frage nach der Abhängigkeit des elektrototonischen Erregbarkeitszuwachses von der Zeit unzweideutig und direct zu beantworten wäre — nämlich: die unmittelbare Messung der Geschwindigkeit, mit welcher sich die Erregbarkeitsänderung durch den polarisirenden Strom von Querschnitt zu Querschnitt im Nerven fortpflanzt, mittelst des HELMHOLTZ'schen Myographiums.

Zur Ausführung dieser Zeitbestimmung würde ich vorschlagen, das durch das Hereinbrechen des polarisirenden Stromes bedingte Anschwellen und Abnehmen des durch chemische oder elektrische Erregung einer gegebenen Nervenstrecke hervorgerufenen Tetanus des Muskels zu benutzen.

Es wäre eben die Zeit zu messen, welche vergeht vom Augenblicke der Schliessung des polarisirenden Stromes bis zum Eintritt der ersten $+$ oder $-$ Schwankung der Tetanus-Curve. —

Der angedeutete Versuchsplan liesse sich wahrscheinlich ebenso wohl in der katelektrototonischen als in der anelektrototonischen Nervenstrecke ausführen — was mit PFLÜGER's Versuch, selbst wenn derselbe als unzweideutig und zu absoluten Messungen geeignet betrachtet werden könnte, bekanntlich durchaus nicht der Fall ist.

Im December 1862.
