Bewegungserscheinungen an Nervenfasern bei Reizung mit Inductionsschlägen.

Von **Th. Wilh. Engelmann.**

Durch vorstehende Mittheilung wünsche ich die Aufmerksamkeit der Fachgenossen auf eigenthümliche, bisher unbeachtet gebliebene Bewegungserscheinungen zu lenken, welche an markhaltigen Nervenfasern während der Behandlung mit Inductionsschlägen auftreten. Um diese Erscheinungen zu beobachten, verfährt man zweckmässig folgendermassen. Man excidirt ein kurzes Stück aus dem Ischiadicus eines Frosches, bringt dasselbe in einen Tropfen Kochsalzlösung von 0.5 bis 1% zwischen die Electroden des Objectträgers und zerlegt es vorsichtig mittelst sehr feiner Nadelspitzen so weit, dass einige isolirt verlaufende Fasern der Beobachtung zugänglich sind. Als Objectträger benutze ich den Deckel meiner Gaskammer für electriche Reizung. Die Electroden sind dünne Platindrähte mit 4 bis 8 mm. Spitzenabstand. Während der Beobachtung befindet sich das Präparat im feuchten Raum. Von den Electroden führen Drähte durch einen du Bois'schen Schlüssel zu den Polen der secundären Spirale eines Schlittenapparats. Den primären Strom liefert ein grosses Grovesches Element. — Zur Beobachtung wird eine Nervenfaserstrecke aufgesucht, welche von möglichst normalem Aussehen ist, d. i. eine solche, deren Contouren auf eine längere Strecke (etwa 0.03 mm.) hin parallel und möglichst gradlinig verlaufen. Welchen Winkel die beobachtete Faserstrecke mit der Verbindungslinie der beiden Electroden spitzen einschliesse, ist gleichgiltig; wünschenswerth ist nur, dass die beobachtete Stelle in oder möglichst nahe dieser Linie und zwar — wegen der Electrolyse an den Polen — möglichst nahe der Mitte derselben sich befinde. Dicke markhaltige Fasern eignen sich zum Versuch mehr als dünne, doch nur wegen der bedeutenderen absoluten Grösse der auftretenden Veränderungen.

Man beobachtet zunächst eine Weile, um sich zu überzeugen, ob das Ansehen der Faser unverändert bleibt. Ist diess der Fall, dann kann man zur Reizung schreiten. Die secundäre Spirale wird ganz oder fast ganz aufgeschoben, der Interruptor des Schlittenapparats in Gang gesetzt und nun der Schlüssel geöffnet.

Im Moment wo Letzteres geschieht, oder doch sogleich darauf

(nur bei schwächeren Strömen oder langsamem Gang des Interruptors erst nach dem Ablauf der ersten halben Secunde) werden die dunkeln, bisher geraden Ränder der Faser unregelmässig wellig (s. Fig. 1 b). Die Markscheide stülpt sich an mehr oder minder zahlreichen Stellen nach innen zu ein, zeigt kleine, langsam wachsende Verdickungen, Ansätze zur Falten- und Schleifenbildung. Zuweilen sinkt das Lumen der Faser (der Achsencylinder) deutlich und fast ruckweis ein wenig zusammen, wobei die Marktschicht faltig und — so scheint es wenigstens mitunter — dicker wird. Die Länge der Faser ändert sich nicht merkbar. Bei fortdauerndem Tetanisiren pflegen sich alle diese Veränderungen stärker zu entwickeln. Hört man nach einigen Secunden mit der Reizung auf, so bilden sich alle Veränderungen schnell zurück: schon nach einer oder wenigen Secunden pflegt der Nerv wieder genau dasselbe Ansehen zu haben wie vor der Reizung (s. Fig. 1 c). Er erreicht das alte Ansehen desto früher, je geringer die Veränderungen entwickelt waren. Der

Versuch kann nun sofort an demselben Objecte mit gleichem Erfolge wiederholt werden.

Fig. 1.

Nervenfaser aus dem Ischiadicus
des Frosches

a vor	} der electri- schen Reizung
b während	
c 3 Secunden nach	

keine sichtbare Veränderung hervor, so entsteht eine solche doch, wenn man eine Reihe von Schlägen in Pausen von etwa $\frac{1}{2}$ Secunde oder weniger aufeinander folgen lässt. Nimmt man die Intervalle zwischen den einzelnen Reizungen grösser, so bleibt der Erfolg aus. Im Allgemeinen ist er um so stärker, je kürzer die Pausen zwischen den einzelnen Schlägen gewählt werden.

Fasern, die wie ja weitaus die meisten eines auf die beschriebene Weise angefertigten Präparates, eine sehr unregelmässig wellige Markhülle besitzen, eignen sich für eine erste Beobachtung weniger. Sie erleiden zwar auch die genannten Veränderungen, aber dieselben

Schon einen einzelnen kräftigen Inductionsschlag (1 Grove, 0 Ctm. Rollenabstand) fand ich zuweilen genügend, um die Erscheinung hervorzurufen. Und zwar war der Oeffnungsschlag ungleich wirksamer als der Schliessungsschlag. Vom letzteren sah ich nur einige Male einen ganz geringen Effekt. Bringt ein einzelner starker Schlag

sind schwerer zu constatiren. Denn es ist ja schwer zu erkennen, ob eine schon krumme Linie eine etwas andere Krümmung angenommen habe, leichter, ob eine gerade an irgend einer Stelle krumm geworden sei. Nach öfter, auch in Zwischenräumen von Minuten, wiederholtem Tetanisiren werden aber die Contouren solcher Primitivfasern nicht selten regelmässiger, das Lumen reiner cylindrisch und dann reagiren dieselben in der nämlichen Weise, ja häufig noch besser auf die electriche Reizung, als, unter übrigens gleichen Umständen, frische parallelrandige Fasern.

Sind die beschriebenen Bewegungserscheinungen nun wirklich, wie es nach den angeführten Thatsachen wohl scheinen könnte, physiologischer Natur? Sind sie etwa ein sichtbarer Ausdruck des erregten Zustandes der Nervenfasern? Der erste überraschende Eindruck könnte in der That zu solcher Annahme verlocken. Aber er erweist sich bald als trügerisch. Wahr ist es: zweifellos lebende Nervenfasern erleiden während der Reizung mit kräftigen Inductionsschlägen jene Veränderungen. Diess folgt schon aus einer Betrachtung der Bedingungen, die wir soeben für das Gelingen der Versuche angaben. Man kann sich auch unschwer an ganz unversehrten, in situ im lebenden Thier befindlichen Nervenfasern vom Auftreten der nämlichen Veränderungen überzeugen. So an den Nerven der Schwimmhaut von *Rana temporaria* und an den subcutanen Nervenstämmen, die an der Innenfläche des Unterschenkels verlaufen. Um sie am letzteren Ort zu sehen, wählt man junge Exemplare des braunen Grasfrosches, bei denen die Haut dort sehr durchscheinend ist. Man trennt die Haut dicht über dem Fussgelenk durch einen Cirkelschnitt, spaltet sie der Länge nach auf der Rückseite des Unterschenkels bis hinauf zum Knie, streift die so gebildete Lamelle vorsichtig ab und spannt sie, die innere Fläche nach oben gekehrt, mit einigen Nadeln über dem Fenster eines Froschbrettchens aus, ähnlich wie man diess mit der Schwimmhaut zu thun pflegt. Die Hautlamelle bleibt dann lange vom Blut durchströmt und ihre Nerven bleiben reizbar, was sich auf mehrerlei Weise, am einfachsten durch Erwecken von Reflexbewegungen zeigen lässt. Der grösseren Bequemlichkeit halber darf der Frosch curarisirt oder durch eine in den Wirbelcanal gesteckte Nadel unbeweglich gemacht sein. Um eine hinreichende Stromdichte in den beobachteten Nervenfasern zu erzielen, thut man gut, die Electroden — am Besten scharfe Metallspitzen — möglichst dicht neben der beobachteten Strecke aufzu-

setzen und die secundäre Spirale ganz aufzuschieben. Obschon nun die markhaltigen Fasern, welche den Hauptbestandtheil jener Stämme bilden, zu den dünnen gehören, ist es doch nicht schwer zu constatiren, dass sie während der Reizung ihr Ansehen in der oben beschriebenen Weise ändern und nach Aufhören der Reizung schnell in den früheren Zustand zurückkehren.

So sicher es also ist, dass die uns beschäftigenden Vorgänge an lebendigen Nervenfasern ablaufen können, so mannigfache Analogien weiter zwischen ihnen und echten physiologischen Bewegungen auffallen, doch bedarf es nur einer wenig eingehenderen Untersuchung, um zu erkennen, dass wir es hier nicht mit einer eigentlichen Lebenserscheinung zu thun haben. Schon das Fehlen aller auf Ermüdung deutenden Thatfachen macht diess so gut als gewiss. Die Fasern bedürfen in der That auch nach heftigstem Tetanisiren keines Moments der Ruhe, um die Erscheinung aufs Neue zu zeigen. Nicht selten wurden sie, wie wir schon sahen, durch wiederholtes starkes Tetanisiren erst recht empfindlich gemacht. Eine derartige Beständigkeit aber gegenüber den rohesten Eingriffen physikalischer Kräfte werden auch die ärgsten Feinde aller „Erschöpfungstheorien“ dem zarten Kräftespiel eines physiologischen Organismus nicht zutrauen wollen. Dazu kommt nun, dass die beschriebenen Bewegungen auch auftreten an Nervenfasern, die der Fäulniss nahe sind, an Fasern, die viele Minuten in reinem Wasser lagen, nicht minder an solchen, die bereits seit Stunden in einer Atmosphäre von reiner Kohlensäure verweilten. Ja sie treten sogar noch an abgeschnürten Stücken Nervenmark, wie man sie ja aus den grossen Centralorganen leicht in grösster Mannichfaltigkeit erhält, mit vollkommener Deutlichkeit auf. Nur bedarf es im letzteren Falle in der Regel stärkerer Reizung. Auch zeigen nur die grossen Myelintropfen die Erscheinung deutlich. Wo dieselbe aber auftritt, hat sie denselben Charakter wie an den unversehrten Nervenfasern: Vergrösserung und Formveränderung der Oberfläche des Markes. Nackte Achsencylinder aus den Centralorganen und marklose Nervenfasern, aus dem Grenzstrang des Sympathicus z. B., erleiden unter gleichen Bedingungen keine sichtbaren Veränderungen. Es wird nach alledem auch in den Versuchen an unversehrten, markhaltigen Nervenfasern die Markscheide, und nicht der Achsencylinder oder die Schwannsche Haut sein, welche primär durch die electricischen Entladungen verändert wird.

Es lässt sich nun weiter leicht zeigen, dass unsere Erscheinun-

gen nicht einer specifischen Einwirkung der electrischen Entladungen auf die Markscheide ihr Entstehen verdanken, sondern einfach den thermischen Wirkungen der Ströme. In der That rufen die Inductionsschläge erst dann die Bewegungen hervor, wenn sie die Temperatur des Präparats über eine gewisse Höhe gesteigert haben. Nothwendig muss unter den oben für das Gelingen des Versuchs angegebenen Bedingungen eine bedeutende plötzliche Erwärmung des Präparats stattfinden. Dieselbe lässt sich auch in der Regel schon mittelst eines mässig empfindlichen Thermometers, ausnahmslos mittelst des Thermomultiplicators nachweisen. Wie ansehnlich die Temperatur unter den angeführten Umständen zwischen den Electroden spitzen steigt, kann man u. a. daraus ableiten, das es nur wenig stärkerer Reizung bedurfte, um unter übrigens gleichen Bedingungen mikroskopisch kleine Fettkörnchen, deren Schmelzpunkt bei 52° C. lag, flüssig zu machen. Die Temperatur, bei welcher die Nervenfasern anfangen, jene Bewegungen in einem für unsere Beobachtungsmittel merkbaren Grade auszuführen, liegt inzwischen weit unter 52° C. Erwärmt man die Fasern auf dem heizbaren Objecttisch, so treten die erwähnten Gestaltveränderungen schon bei etwa 33° bis 35° C. auf. Beim Abkühlen verschwinden sie wieder. Bei weiterer Steigerung der Temperatur entwickeln sie sich immer stärker. Da bei dieser Art der Erwärmung die Temperaturschwankungen in den Nervenfasern natürlich viel langsamer verlaufen, als bei der directen Einwirkung von Inductionsschlägen, erklärt es sich, dass auch der Verlauf der Gestaltveränderungen der Fasern viel träger ist, als im andern Falle. Wenn man aber das Präparat auf galvanischem Wege mittelst eines durch den Tropfen gelegten dünnen Platinadrahtes erwärmt, so kann man durch geeignete Wahl der Stromintensität und Schliessungsdauer wenigstens in der Nähe des Drahtes fast beliebig grosse und ebenso steile Temperaturschwankungen hervorbringen, wie beim directen Tetanisiren des Tropfens. Und dann ist der Verlauf der Erscheinungen in beiden Fällen ganz derselbe.

Das Wesen der beschriebenen Vorgänge scheint nun der Hauptsache nach in nichts anderem zu bestehen als in Aenderungen des Quellungszustandes der Markscheide: bei Erwärmung nimmt das Mark unter Volumvermehrung Flüssigkeit aus der Umgebung auf, die es bei Abkühlung unter entsprechender Volumverminderung wieder abgibt. Die beschriebenen Thatsachen sind hiermit in guter

Uebereinstimmung. Es ist freilich wegen der Kleinheit des Versuchsobjects schwer, sich von Volumänderungen des Markes zu überzeugen. Doch schien in der That, wie schon erwähnt, in mehreren Fällen ausser der Oberfläche auch die Dicke der Markhülle zu wachsen. An kleinen markreichen Stücken grauer Substanz aus Gehirn oder Rückenmark fällt es nicht schwer die Volumvermehrung bei Erwärmung und die Schrumpfung bei darauf folgender Abkühlung zu constatiren. Hier hat man es aber noch mit andern Elementen als den Markscheiden zu thun. Von mehr Gewicht möchte sein, dass auch Fragmente von reinem Lecithin unter gleichen Bedingungen bei Erwärmung in Wasser oder verdünnten Salzlösungen unter dem Mikroskop stärker zu schwellen begannen und bei Abkühlung wieder einschrumpften. Ward die Erwärmung zu weit getrieben, so traten die bekannten Schleifen und Ringbildungen ein, welche nun beim Sinken der Temperatur sich nicht mehr zurückbildeten. Auch die Veränderungen der Markscheide gingen nicht mehr zurück wenn die Temperatur zu hoch (über 50° etwa) gestiegen war. Nach alledem sind wir wohl berechtigt, die an den unversehrten Nervenfasern auftretenden Bewegungserscheinungen auf die Aenderungen im Quellungszustand des im Mark enthaltenen Lecithinkörpers zurückzuführen.

Erweisen sich jene Vorgänge somit auch als nichtphysiologischer Natur, so scheinen sie mir doch aus mehr als einem Grunde das Interesse des Physiologen zu verdienen. Wir haben in ihnen zunächst eine neue Art von mechanischen Veränderungen kennen gelernt, welche auch der lebendige Nerv bei electricischer und thermischer Reizung erleidet, Veränderungen welche nothwendig auf die physiologischen Eigenschaften desselben, auf Erregbarkeit und Leitungsvermögen von Einfluss sein müssen. Es verdient Beachtung, dass jene Veränderungen gerade bei denjenigen Temperaturen sehr lebhaft zu werden beginnen, deren schnelles Eintreten nach Rosenthals und Afanasieffs Beobachtungen die Froschnerven erregt ¹⁾. Der Verdacht

1) Man könnte nach unsern Beobachtungen geneigt sein, die thermische Erregung auf die Wasserentziehung zurückzuführen, welche der Achsencylinder in Folge des plötzlichen Steigens des Quellungsvermögens der Markscheide erfahren muss. Dieselbe Erklärung liesse sich vielleicht auch von dem bekannten »spontanen« Tetanus geben, der bei den Nerven solcher Frösche sich zu entwickeln pflegt, die nach tagelangem Verweilen in der Kälte

liegt nahe, dass auch bei der Reizung mit starken electricischen Schlägen in manchen Fällen zu solcher thermischen Erregung Veranlassung gegeben werde. Man stellt sich wohl im Allgemeinen die Temperaturerhöhung zu gering vor, welche die Nervenfasern bei den meisten unserer electricischen Reizversuche erleiden. Die Wärmemenge, die durch ein paar Inductionsschläge entwickelt wird, ist freilich klein. Auf diese kommt es aber gar nicht an, sondern auf die Temperatur der zwischen den Electroden befindlichen Nervenfasern und diese muss schon bei Anwendung mässig starker Inductionsschläge grosse und — namentlich so weit sie positiv sind — sehr steile Schwankungen erleiden, Schwankungen, auf deren Gipfel sehr wohl einmal thermische Reizung eintreten kann. Wir fanden unter gewissen Bedingungen schon einen einzigen Oeffnungsschlag des Schlittenapparats hinreichend um die Temperatur zwischen den Electroden von der gewöhnlichen Zimmerwärme vorübergehend auf etwa 35° C. zu bringen. Dabei lagen die Nervenfasern in einem Wassertropfen von ziemlich grossem Querschnitt. In den gewöhnlichen Reizversuchen, wo ausschliesslich der dünne Nerv die Strombahn bildet, werden die Bedingungen für plötzliche starke Erwärmung noch günstiger sein. Vielleicht beruhen manche „übermaximale“ Zuckungen darauf, dass der specifisch electricischen unmittelbar eine thermische Erregung des Nerven folgte.

Dass unsere Versuche endlich eine dringende Warnung enthalten für diejenigen Mikroskopiker, welche sich mit electricischen Reizversuchen an Elementarorganismen beschäftigen, bedarf kaum hervorgehoben zu werden. Es scheint höchst wünschenswerth, dass auf diesem Gebiete in Zukunft etwas strengere Kritik geübt werde.

Utrecht im Oktober 1871.

plötzlich ins geheizte Zimmer übergebracht wurden. Doch werden hier wohl noch ganz andere Verhältnisse mit im Spiel sein.