(Aus dem physiologischen Institut der Universität Strassburg.)

Ueber Unterschiede in der Wirkung mechanischer und elektrischer Reize.

Von

Dr. **C. Doniselli** aus Mailand.

(Mit 5 Textfiguren und Tafel II.)

Hier sollen einige Erscheinungen zur Sprache kommen, die Verfasser bei einem auf Prof. J. Rich. Ewald's Anlass unternommenen Vergleiche zwischen den Wirkungen mechanischer und elektrischer Reize im Elektrotonus bemerkt hat.

Beim Anfang meiner Versuche wurde ich einer nicht erwarteten Erscheinung gewahr. Die Wirkungen der mechanischen Reize an der Anode wurden nämlich nicht nur nicht schwächer, sondern vielmehr, entgegen dem Pflüger'schen Erregungsgesetze, sogar stärker, während gleichzeitig die elektrischen Reize in Uebereinstimmung mit demselben Gesetze schwächer oder gar nicht eintraten. Dabei dachte ich zunächst an etwaige Fehler, wie solche bekanntlich (12) bei derartigen Untersuchungen mehrfach vorkommen können. Es war jedoch kein Fehler zu finden. Meine Verlegenheit war um so grösser, als Tigerstedt (10) keine Abweichung vom Pflüger'schen Gesetze für die mechanische Reizung gefunden hatte. Allerdings wurde eine solche durch Hermann schon vor geraumer Zeit bemerkt, und vor Kurzem durch Tschitschkin bestätigt (13).

Meine Beobachtungen beziehen sich besonders auf die mechanischen Reizungen an der Anode, und zwar bei aufsteigendem Strom. Sie zeigen auch eine gewisse Abweichung vom Pflüger'schen Gesetze, jedoch nur in einer weiter unten näher zu präzisirenden Weise. Es gelang mir, bei oft wiederholten Versuchen durch die folgende Methode einen Unterschied zwischen der elektrischen und der mecha-

Fig. 1. Extrapolare Erregung an der Anode bei aufsteigendem Strom.

Abstand zwischen den polarisierenden Elektroden 12 mm.

Abstand zwischen der Anode und der Reizstelle 2 mm.

Polarisierender Strom 1 D.

Fig. 2. Extrapolare Erregung an der Anode bei aufsteigendem Strom.

Abstand zwischen den polarisierenden Elektroden 12 mm.

Abstand zwischen der Anode und der Reizstelle 4 mm.

Polarisierender Strom 1 D.

Fig. 3. Extrapolare Erregung an der Anode bei aufsteigendem Strom.

Abstand zwischen den polarisierenden Elektroden 12 mm.

Abstand zwischen der Anode und der Reizstelle 4 mm.

Polarisierender Strom 1 D.

Fig. 4. Extrapolare Erregung an der Anode bei aufsteigendem Strom.

Abstand zwischen den polarisierenden Elektroden 12 mm.

Abstand zwischen der Anode und der Reizstelle 2 mm.

Polarisierender Strom 2 D.

Fig. 5. Extrapolare Erregung an der Anode bei aufsteigendem Strom.

Abstand zwischen den polarisierenden Elektroden 12 mm.

Abstand zwischen der Anode und der Reizstelle 2 mm.

Fig. 6. Extrapolare Erregung an der Anode bei aufsteigendem Strom.

Abstand zwischen den polarisierenden Elektroden 12 mm.

Abstand zwischen der Anode und der Reizstelle 2 mm.

Fig. 7. Extrapolare Erregung an der Anode bei aufsteigendem Strom.

Abstand zwischen den polarisierenden Elektroden 12 mm.

Abstand zwischen der Anode und der Reizstelle 2 mm.

Fig. 8. Extrapolare Erregung an der Anode bei aufsteigendem Strom.

Abstand zwischen den polarisierenden Elektroden 12 mm.

Abstand zwischen der Anode und der Reizstelle 2 mm.

regung an der Anode bei aufsteigendem Strom.

in den polarisierenden Elektroden 12 mm.

in der Anode und der Reizstelle 2 mm.

Polarisierender Strom 10.

Fig. 9. Intrapolare Erregung an der Anode bei aufsteigendem Strom.

Abstand zwischen den polarisierenden Elektroden 12 mm.

Abstand zwischen der Anode und der Reizstelle 2 mm.

Polarisierender Strom 10.

regung an der Anode bei aufsteigendem Strom.

in den polarisierenden Elektroden 12 mm.

in der Anode und der Reizstelle 2 mm.

Polarisierender Strom 20.

Fig. 10. Intrapolare Erregung an der Anode bei aufsteigendem Strom.

Abstand zwischen den polarisierenden Elektroden 12 mm.

Abstand zwischen der Anode und der Reizstelle 2 mm.

Polarisierender Strom 20.

regung an der Anode bei aufsteigendem Strom.

in den polarisierenden Elektroden 12 mm.

in der Anode und der Reizstelle 2 mm.

Polarisierender Strom 10.

Fig. 11. Intrapolare Erregung an der Kathode bei aufsteigendem Strom.

Abstand zwischen den polarisierenden Elektroden 16 mm.

Abstand zwischen der Kathode und der Reizstelle 2 mm.

Polarisierender Strom 20.

regung an der Anode bei aufsteigendem Strom.

in den polarisierenden Elektroden 12 mm.

in der Anode und der Reizstelle 4 mm.

Polarisierender Strom 20.

Fig. 12. Intrapolare Erregung an der Kathode bei aufsteigendem Strom.

Abstand zwischen den polarisierenden Elektroden 16 mm.

Abstand zwischen der Kathode und der Reizstelle 2 mm.

Polarisierender Strom 10.

nischen Reizung im Elektrotonus nachzuweisen. An diese Methode habe ich mich definitiv gehalten, und zwar nachdem ich an der anfänglichen Technik meiner Untersuchungen vielfache Abänderungen und Verbesserungen vorgenommen hatte.

Meine Versuche wurden im Wintersemester 1902—1903 an den gewöhnlichen Nervenmuskelpräparaten (Ischiadicus und Gastrocnemius)

angestellt. Als Schreibfläche diente die berusste Trommel T (Fig. I) des Baltzer'schen Kymographions. Die gesammte Hebellänge betrug 14 cm, der kurze Hebelarm 3 cm. Eine Messingplatte F (Fig. I)

ist an einem Stativ befestigt, welches vermittelt eines Glasarmes drei unpolarisierbare Elektroden A^1 A^2 K trägt, die sorgfältig isolirt und 3 cm über der Fläche F liegen. Auf dieser letzteren liegt ein

kleiner Holzklotz, welcher als Basis für einen Amboss aus Elfenbein dient, den ich in der Fig. II *a* in etwas vergrößerter Form dargestellt habe. Die obere Fläche des Amboss befindet sich in gleicher Höhe mit den unpolarisierbaren Elektroden und hat zwei sich kreuzende Rinnen von gleicher Tiefe. Eine von diesen *m* (schwarz gezeichnet in der Fig. II *a*) läuft den Elektroden $A^1 A^2 K$ parallel. Auf den Boden dieser Rinne schlägt ein Hämmerchen *s* (Fig. II), welches die mechanischen Reize hervorrufen soll. Die zweite *n* ist zur Aufnahme des Nerven bestimmt. Die erste Rinne *m* hat zu beiden Seiten zwei enge, parallele Einschnitte in einem Abstand von 2,5 mm von einander, durch welche die Platindrähte der Reizelektroden gelegt sind. Diese Drähte ziehen nun senkrecht durch die Rinne *n*, indem sie den Boden derselben berühren. Auf diese Weise ist der beständige Contact des Nerven mit den Reizelektroden gesichert und gleichzeitig verhindert, dass der Nerv unter den Hammerschlägen sich bewege. Der Holzklotz des Amboss kann sich in der Richtung der Länge des Nerven durch einen in der Messingplatte *F* angebrachten Einschnitt bewegen.

Die Elektroden $A^1 A^2 K$ sind auch beweglich, und so können unpolarisierbare Elektroden und Amboss mit seinen Reizelektroden ihre gegenseitigen Stellungen beliebig wechseln. Die Drähte der Elektroden gehen durch die Messingplatte *F*, und zwar in kleinen Glasröhren, wodurch eine Isolirung, sei es gegen das Metall, sei es gegen die feuchten Niederschläge, am sichersten hergestellt wird. Diese Niederschläge können sich leicht auf der Fläche *F* bilden, auf welcher ja der Glaskasten der feuchten Kammer steht. Der Nerv ruht also auf dem Amboss und auf den drei unpolarisierbaren Elektroden und ist, wie diese letzteren, sorgfältig gegen jeden schädlichen Contact geschützt.

Der polarisierende Strom geht von zwei Daniell'schen Elementen aus; mittelst des Schlüssels *a* kann man nach Belieben ein Element aus der Leitung ausschalten (Fig. I). In *c* ist ein Dubois'scher Schlüssel dargestellt und in *d* eine Wippe, welche gestattet, den Strom abwechselnd in die Elektroden A^1 oder A^2 zu leiten, je nachdem man die durchflossene Strecke vergrößern oder verkleinern will, oder wenn man, ohne Apparat oder Präparat zu bewegen, die Entfernung zwischen der Reizstelle und der Anode ändern möchte. Der Strom kehrt alsdann durch *K* zum Dubois'schen Schlüssel zurück und von da zur Kette. Wenn man nun die Länge der durchflossenen Strecke vergrößert und in Folge dessen

auch den Gesamtwiderstand des polarisirenden Stromes, so kann man, wie schon gezeigt, mittelst des Schlüssels *a* in dieselbe Leitung beide Elemente und beliebige Widerstände einschalten. Uebrigens ist eine genaue Messung des polarisirenden Stromes, der durch den Nerv geht, nicht nöthig. Und in der That war — *ceteris paribus* — die Erscheinung, von der wir sprechen, bei Strömen von verschiedenen Intensitäten immer deutlich, und es scheint, dass das stufenweise Verstärken oder Schwächen des Stroms durch Ein- oder Ausschalten von Widerständen keine Aenderung des Phänomens bewirkt. Aus diesen Gründen verzichtete ich, um die etwas complizirte Einrichtung zu vereinfachen, bei meinen letzten Untersuchungen, über welche ich in Folgendem hauptsächlich sprechen werde, auf eine feine Abstufung des polarisirenden Stromes.

Der Strom des Daniell'schen Elements *i* geht zur primären Spirale eines Dubois'schen Schlittens. *b* ist ein Commutator, der es ermöglicht, die Richtung desselben Stromes jedes Mal umzukehren, wodurch jedes Mal auch eine Umkehrung des durch den Nerv gehenden Inductionsstromes stattfindet. Ich will noch erwähnen, dass ich für die elektrischen Reize nur einzelne Oeffnungsschläge wirken liess.

Ich werde nun über die Methode sprechen, die ich zur Hervorufung des mechanischen Reizes angewendet habe. Dieser Reiz musste vor Allem bei jedem Versuch gleichmässig wirken, und, um eine Beschädigung des Nerven zu verhindern, musste man die erforderliche Stärke für die mechanischen Reize ganz leicht und genau messen können. Fig. II gibt den Apparat in seiner ganzen Einrichtung. Auf einem Stativ *a* ist ein Metallstück *b* befestigt, welches mittelst eines Metallstabes den Elektromagnet *mg* trägt. Diese Theile des Apparats sind fest und unbeweglich; nur das Stück *b* kann um das Centrum *c* unter Anwendung einer gewissen Kraft gedreht werden. Der Stab *e*, welcher den Hammer *H* trägt, kann sich aber ganz leicht wie ein Pendel um dasselbe Centrum *c* bewegen. Ein auf den Rücken des Hammers *H* aufgelötetes Eisenstück kann mit dem Kern des Elektromagneten *mg* in Berührung gebracht werden. Unterbricht man den Strom des Elektromagneten *mg*, so fällt der Hammer in einer Pendelbewegung zurück und stösst auf die Mitte der Membran einer Marey'schen Trommel *Mr*. Durch die in der Trommel enthaltene Luft überträgt sich der Stoss auf die Membran einer zweiten Marey'schen Trommel *Mr*¹, die mit der ersteren durch einen

Gummischlauch in Verbindung steht, und daher auf den Hebel o , dessen längerer Arm ein Hämmerchen s von Elfenbein trägt. Dieses passt genau in die Rinne m . Das Gewicht p hat den Zweck, die Nachschläge, die in Folge der Elasticität des Hebelarmes entstehen können, zu verhindern. Ueberdies dient es am Hebel als Gegenkraft. Wir können, um genau eine bestimmte Wirkung zu erreichen, dem Hammer H eine grössere Pendelschwingung geben.

Ein wichtiger Vortheil des Gewichtes p besteht auch darin, dass es die Dauer des auf den Nerv wirkenden Stosses verkürzt, so dass man, ohne seine Wirkung abzuschwächen, die Gewalt des Stosses verringern kann, wodurch eine Beschädigung des Nerven leichter vermieden wird. Es ist ja bekannt, dass die Plötzlichkeit, mit welcher der Nerv mechanisch gereizt wird, ein bedeutender Factor für die Grösse des Reizes ist.

Die Trommel Mr ist an demselben Stativ a befestigt, welches den Hammer H trägt. Es ist nun klar, dass, wenn wir das Metallstück b um das Centrum c etwas drehen, und zwar in der Weise, dass sich der Magnet mg von der Trommel Mr weiter entfernt, die Kraft des Stosses und in Folge dessen auch die Wirkung des mechanischen Reizes zunimmt. Die zweite Trommel Mr^1 , der Hebel o mit seinem Hämmerchen, die Messingplatte F und die Elektroden sind alle an einem anderen Stativ befestigt. Der mechanische Impuls, den man so erhält, hat bei einem bestimmten Abstand zwischen der Trommel Mr und dem Contactpunkte des Magneten mg und des Hammers H immer eine gleiche Wirkung.

Diese Methode wendete ich schon eine Zeit lang an, als ich eine Arbeit von Hällsten (5) fand, der sich zur Hervorrufung des mechanischen Reizes auch der Marey'schen Trommeln bediente. Sein Apparat aber unterscheidet sich in wesentlicher Weise von dem oben beschriebenen.

In Fig. III ist ein rotirender Apparat dargestellt, der dazu dient, in gleichmässigen Phasen und Zeitintervallen den polarisirenden und Inductionsstrom in den Nerv zu leiten, indem er abwechselnd den elektrischen und mechanischen Reiz, in der noch anzugebenden Weise hervorruft. Dieser Apparat besteht aus drei über einander liegenden Holzscheiben; die kleinste von ihnen hat auf ihrer Peripherie einen Zahn, welcher bei jeder Rotation der Scheibe (in 15 Secunden) den Strom des Elektromagneten mg öffnet; der Hammer H fällt in Folge dessen ab und bewirkt einen mechanischen

Reiz. Ueber die eine Hälfte der Peripherie der zweiten Scheibe ist ein Holzrand gelegt, welcher den Strom der primären Spirale schliesst, indem er die schleifenden Federn einer Contactvorrichtung von unten zusammenpresst. Die dritte Scheibe hat auf ihrer Peripherie auch einen Holzrand, der aber kürzer als der vorhergehende ist und den polarisirenden Strom *P* schliesst. Die Oeffnung dieser beiden

Fig. III.

Ströme tritt dann ein, wenn die Holzränder ihre entsprechenden Federn verlassen, da letztere sich dann, in Folge ihrer Elasticität von einander trennen und so den Strom unterbrechen. Der Strom *M* dagegen ist immer geschlossen; nur wenn der Zahn der ersten Scheibe die beiden Federn der Contactvorrichtung *M* trennt, tritt eine Oeffnung des Stromes ein. Der Contact, der jedes Mal unter denselben mechanischen Bedingungen hergestellt und unterbrochen wird, entsteht durch eine kleine Platinspitze und eine Platinplatte.

Der Strom P öffnet sich etwas nach der Oeffnung des Stromes I und dieser letztere gleichzeitig mit dem Strome M .

In Fig. III ist Rotationsrichtung der Scheiben durch Pfeile angegeben. Wir hätten also zu gleicher Zeit einen mechanischen und einen elektrischen Reiz; aber eine einfache Einrichtung, die ich jetzt beschreiben werde, ermöglicht es, beide Reize abwechselnd eintreten zu lassen.

Die Fig. IV stellt eine Pohl'sche Wippe ohne Kreuz dar. m ist das Element, welches dem Elektromagneten mg den Strom liefert,

K ist die Contactvorrichtung für den Stromkreis M , e sind die Reizelektroden, S ist die secundäre Spirale. In der Position A), wenn der rotirende Apparat die Ströme M und I öffnet, kann der Hammer H nicht abfallen, weil der Strom M einen anderen Weg findet, nämlich durch $a o b$; dagegen muss der Oeffnungsinductionsstrom durch $a' o' b'$ gehen und erregt so den Nerv. Umgekehrt in der Position B), wo der Strom M nicht durch $a o b$ gehen kann und keinen andern Weg als $a K b$ hat, wenn man in K den Strom öffnet, fällt der Hammer H und übt den mechanischen Reiz aus. Der zu gleicher Zeit in Kraft tretende Oeffnungsinductionsstrom wird durch die gute Nebenleitung $a' o' b'$, von den Reizelektroden und dem Nerv abgeblendet.

Die Oeffnung des Stromes M tritt im rotirenden Apparat etwas vor der Oeffnung des Stromes I ein, aber nur gerade so lange vorher, als die Schwingung des Hammers und das Spiel der Hebelarme dauert. Mit anderen Worten: der Stoss auf den Nerven ist gleichzeitig mit der Oeffnung des Stromes I . Alles dies hat den Zweck, dem Nerven immer gleiche Polarisationszustände im Augenblick des Reizes, sei er elektrisch oder mechanisch, zu sichern. Das Metallstück $a' o' b'$ versieht also die Rolle eines Dubois'schen Schlüssels und hat auch, wie dieser, den Vortheil, die unipolare Wirkung des Oeffnungsinductionsstromes zu verhindern. Um sodann den Schliessungsinductionsstrom auszuschliessen, bringt man die Pohl'sche Wippe aus der Position B) in die Position A), aber erst wenn der rotirende Apparat den Strom der primären Spirale schon geschlossen hat. Das Wechseln des Reizes lässt sich also einfach durch eine Bewegung der Wippe herstellen, und der rotirende Apparat vertheilt die Ströme und Reize. Wenn man ohne Polarisation experimentiren will, so braucht man nur den Dubois'schen Schlüssel zu schliessen, welcher den Strom abblendet und dadurch den rotirenden Apparat und den Nerv vom polarisirenden Strom ausschliesst.

Diese Einrichtung ist in Wirklichkeit viel einfacher, als sie der Beschreibung nach erscheinen mag; auf jeden Fall erleichtert und vereinfacht sie bedeutend jene zahlreichen Handgriffe, die man sonst bei derartigen Versuchen ausführen muss.

Ich will jetzt zunächst einige Curven aus meinen Untersuchungen besprechen. Es wird nach Erklärung der Methode leicht sein, ihre Bedeutung zu verstehen. Die einzelnen Reizungen treten in einem Zeitabstand von 15 Secunden ein, d. h. stets nach der Zeit, die der rotirende Apparat braucht, um eine Rotation zu vollenden. Beim polarisirten Nerv gibt es stets drei Erhöhungen der Curve, von welchen die erste durch die Zuckung bei Schliessung des polarisirenden Stromes entsteht und die dritte bei Oeffnung desselben; die zweite endlich, die der Oeffnung des polarisirenden Stromes zeitlich viel näher liegt als der Schliessung, stellt die durch elektrischen oder mechanischen Reiz hervorgerufene Zuckung dar. Auf diese Weise erhält man für jeden Reiz eine abgegrenzte Polarisationsperiode, und dadurch sind die Polarisationszustände immer dieselben.

Um die mechanischen Reize von den elektrischen unterscheiden zu können, wurde in den Strom des Elektromagneten mg ein Signal

eingeschaltet, welches auf der berussten Trommel unterhalb der Abscisse der Curven eine zweite Linie zeichnet und durch einen kleinen verticalen Strich die über ihr liegende Erhöhung als mechanische kennzeichnet.

Der Rollenabstand bei den einzelnen Versuchen betrug durchschnittlich 35 cm.

Extrapolare Erregung an der Anode bei aufsteigendem Strom. Die speciellen Bedingungen für die einzelnen Versuche, die ich durch die wiedergegebenen Curven illustriert habe, kann man unter der entsprechenden Figur jedes Mal angegeben finden.

Im ersten Fall (Fig. 1) trifft der mechanische Reiz den Nerv genau an der Stelle der Kathode des Inductionsstromes. Das Hämmerchen und der Amboss hatten damals noch nicht die von uns beschriebene spätere Form, was aber keinen Unterschied im Resultat bedingt. Bei diesen und besonders bei den nachfolgenden Curven ist beachtenswerth, dass ohne Polarisation die mechanischen Erhöhungen niedriger sind als die elektrischen. Um so merkwürdiger erscheint dann die Thatsache, dass bei der Polarisation, während die elektrischen Erhöhungen verschwinden, die mechanischen sich derart vergrössern, dass sie die ursprüngliche Höhe der elektrischen ohne Polarisation überragen. Es könnte nun vielleicht der Verdacht bestehen, dass ein solch verschiedenes Verhalten der beiden Reize im Elektrotonus von mechanischen Beschädigungen der Nerven herrühre, welche den grössten Einfluss besonders auf die elektrischen Reize haben könnten. Und speciell in allen Fällen, in welchen das Hämmerchen wie gewöhnlich zwischen die zwei Reizelektroden fällt, könnte man vielleicht daran denken, dass die mechanische Beschädigung des Nerven einen abnormen Widerstand für den reizenden Inductionsstrom hervorgerufen hätte. Um diesen Zweifel auszuschliessen, schaltet man den rotirenden Apparat durch den Schlüssel *c* aus dem polarisirenden Strom aus, so erhält man wieder Erhöhungen ohne Polarisation, wie bei Beginn des Versuchs. Man kann dann constatiren, dass sowohl die elektrischen als auch die mechanischen Erhöhungen wieder ihre ursprüngliche Höhe zeigen. Der Nerv ist also ganz unversehrt geblieben; die Erscheinung ging allein vom Anelektrotonus aus.

Im zweiten Theile der Fig. 1 sind die elektrischen Reize sogar derart abgeschwächt, dass man überhaupt gar keine Wirkung sieht. Aber auch hier tritt nach Abblendung des polarisirenden Stromes die ursprüngliche Wirkung wieder ein.

Bei den Versuchen, die durch die zweite Curve dargestellt werden (Fig. 2), und in allen folgenden findet der mechanische Reiz zwischen den zwei Reizelektroden statt.

Die elektrischen Zuckungen hören nicht auf, sind aber bedeutend abgeschwächt, die mechanischen dagegen erhalten eine immer deutlichere Verstärkung. Ohne Polarisation kehren die elektrischen und mechanischen Zuckungen auf ihr ursprüngliches Niveau zurück.

In den Fig. 3, 4, 5 wechselte jedes Mal ein Reizpaar mit Polarisation mit einem Reizpaar ohne Polarisation ab; überdies wurde bewirkt, dass bald ein elektrischer Reiz vor einem mechanischen, bald ein mechanischer Reiz vor einem elektrischen lag. Die besprochene Erscheinung tritt immer ein. Man beachte besonders Fig. 4, in welcher die Höhen der Zuckungen bei elektrischem und mechanischem Reize vor der Polarisation des Nerven deutlich im umgekehrten Verhältniss verschieden gross sind.

Man könnte nun aber einwenden: da die mechanische Reizstelle zwischen den zwei Reizelektroden liegt, sind für beide Reize die Abstände von der Anode nicht gleich. Auch könnte man meinen, dass es vielleicht auf die Richtungen des polarisirenden und des Inductionsstromes ankomme. Der erste Einwand fällt durch die Thatsache, dass die Erscheinung dieselbe bleibt, auch wenn man den Abstand zwischen der Reizstelle und der Anode ändert (vergl. die Fig. 1 und 2). Auf den ersten wie auf den zweiten Einwand antworten übrigens auch die Versuche mit dem Oeffnungsinductionsstrom, der jedes Mal in Folge des in den Strom der zweiten Spirale eingeschalteten Commutators umgekehrt wurde. Unter solchen Bedingungen kamen die Zuckungen der Fig. 6, 7, 8, 9, 10, 11 zu Stande. Wir können bei diesen, sowohl beim normalen als auch beim polarisirten Nerv, stets einen mechanischen Reiz mit zwei vorhergehenden elektrischen vergleichen; die erste elektrische Zuckung rührt von einem aufsteigenden, die zweite Zuckung von einem absteigenden Strom her.

Intrapolare Erregung an der Anode bei aufsteigendem Strom. In den angeführten Fällen der Figuren 9 und 10 vollzogen sich die beiden Reize in intrapolaren Strecken. Ihr verschiedenes Verhalten tritt immer deutlich zu Tage; von ganz überraschender Deutlichkeit ist es in Fig. 10.

Aus den angeführten Versuchen und den entsprechenden Curven müssen wir schliessen, dass bei der extrapolaren wie intrapolaren

Erregung der Unterschied zwischen der mechanischen und elektrischen Reizung um so deutlicher hervortritt, je grösser die Intensität des polarisirenden Stromes und je geringer der Abstand der Reizstelle von der Anode ist.

Beim polarisirten Nerv kann man ferner beobachten, dass die elektrischen Zuckungen auf ein und derselben Curve, wenn sie auch immer abgeschwächt sind, doch verschiedene Höhe zeigen können. Um dies zu erklären, will ich einige Erscheinungen erwähnen, die ich im Verlauf meiner anfänglichen Versuche beobachtete, als ich den Nerv an der Anode (bei aufsteigendem Strom) erregte, sei es in der extrapolaren oder intrapolaren Strecke. Ein Fallhammer öffnete den Strom der primären Spirale unter immer gleichen mechanischen Bedingungen und in gleichen Zeitintervallen. So kam eine Reihe von regelmässigen und gleichen Zuckungen zu Stande. Wenn ich nun dauernd den polarisirenden Strom schloss, bemerkte ich Folgendes: War der Strom von genügender Stärke, so sah ich die elektrischen Zuckungen schwinden, um dann allmählich wieder zu erscheinen, weil, wie bekannt, der Anelektrotonus in successiven Zeiteinheiten ein Maximum erreicht und dann wieder abnimmt. Wenn ich aber die Zuckungshöhen der wieder eingetretenen Zuckungen mit einander verglich, so stellte die Verbindungslinie der Höhepunkte nicht eine gerade Linie, sondern eine Wellenlinie dar, die oft ganz regelmässig war, bisweilen aber auch von plötzlichen Senkungen und Erhöhungen unterbrochen wurde. Dies beweist, dass man die Abnahme der Wirkung der Anode nicht durch eine gerade Linie darstellen kann, sondern durch eine Curve mit positiven und negativen Schwankungen. Es kommt aber weder jemals wieder zum völligen Verschwinden der Zuckungen, wie einige Zeit nach Schluss des polarisirenden Stromes, noch erreichen die Zuckungen jemals die Höhe wieder, die sie vor der Einwirkung des polarisirenden Stromes zeigten. Daraus erklärt es sich, wesshalb die elektrischen Curven beim Elektrotonus in verschiedenen Momenten — *ceteris paribus* — nicht immer die gleiche Höhe auf der Abscisse haben. Auch die mechanischen Zuckungen, die bei ähnlichen Versuchen vor der Polarisation des Nerven regelmässig und gleich waren, wurden bei Schliessung des polarisirenden Stromes unregelmässig, aber ohne herabzusinken und ohne jene charakteristische Wellenlinie bei Verbindung ihrer Höhepunkte zu geben, wie wir es oben bei den elektrischen Reizen gesehen haben.

Diese Beobachtungen bezüglich des eigenthümlichen Verhaltens der mechanischen Reize im Elektrotonus sind ein neuer Beweis dafür, dass die Vorgänge im Nerven bei mechanischen Reizen von denen bei elektrischen Reizen verschieden sind.

Sowohl in der intrapolaren wie in der extrapolaren Strecke konnte ich bei absteigendem Strom an der Kathode keine Abweichung vom Pflüger'schen Gesetze beobachten. Die elektrischen und mechanischen Zuckungen nehmen an Höhe zu. Die folgenden Beobachtungen belehren uns aber darüber, dass wir wahrscheinlich die Verstärkung der mechanischen Zuckungen auf eine grössere Leitungsfähigkeit an der Kathode und nicht auf grössere Erregbarkeit des Nerven für den mechanischen Reiz zurückführen müssen.

Wenn man nämlich bei aufsteigendem Strom intrapolar mechanisch reizt, so beobachtet man, dass zwar die Zuckungen in der Nähe der Anode verstärkt sind, aber an Höhe abnehmen, wenn man die Reizstelle zur Kathode hin verschiebt. (Fig. 11 und 12.) Die Zuckungen können sogar auf diese Weise ganz zum Verschwinden gebracht werden. Da nun aber die Erregbarkeit für die mechanischen Reize in der Nähe der Kathode keineswegs so gering ist, so scheint mir aus diesem Verhalten hervorzugehen, dass die Anodenstrecke zu gleicher Zeit mit ihrer vermehrten Erregbarkeit [s. unten (8), (14), (15)] eine verminderte Leitungsfähigkeit besitzt. Um übrigens sicher zu sein, dass wir bei diesen Versuchen nicht gerade im Indifferenzpunkt reizten, haben wir durch Entfernen der Elektroden von einander die intrapolare Strecke vergrössert und konnten dann relativ sehr nahe der Kathode reizen. Wir müssen also nach diesen Versuchen annehmen, dass der mechanische Reiz in der Nähe der Anode einen vermehrten Widerstand findet, was uns die Vermuthung nahe legt, dass der Widerstand für den mechanischen Reiz in der Nähe der Kathode herabgesetzt sein mag. Dazu kommt, dass es bereits einige Beobachtungen gibt, die für eine verminderte mechanische Erregbarkeit in der Nähe der Kathode sprechen.

So sagt Uexküll (8) dass: „Muskeln und Nerven, die viel Flüssigkeit zu enthalten scheinen, wie die Mantelnerven von Eledone und die quergestreifte Muskulatur des Frosches, auf mechanische Reize sehr schlecht oder gar nicht antworten, während die Nerven des Frosches, die relativ trocken erscheinen . . . , der mechanischen Reizung ausnehmend leicht zugänglich sind.“ Nach H. Munk's (14)

Untersuchungen wird aber der Nerv in der Nähe der Kathode wasserreicher, da der polarisirende Strom — kataphorisch wie du Bois-Reymond (15) meint — den Wassergehalt des Nerven verschiebt.

Wir möchten daher annehmen, dass die Vergrößerung der mechanischen Zuckungen in der Nähe der Kathode bei absteigendem Strom, trotz einer Herabsetzung der Erregbarkeit an dieser Stelle, durch die gleichzeitige Verminderung des Leitungswiderstandes zu Stande kommt.

Aber wie dem auch sei, jedenfalls haben unsere Untersuchungen das Resultat ergeben, dass durch den elektrotonischen Zustand Bedingungen geschaffen werden, die nicht in gleicher Weise auf den mechanischen wie auf den elektrischen Reiz wirken.

Literatur.

- 1) Pflüger, Untersuchungen über die Physiologie des Elektrotonus. Berlin 1859.
- 2) Pflüger, Untersuchungen aus dem physiologischen Laboratorium zu Bonn. Berlin 1865.
- 3) Wundt, Untersuchungen zur Mechanik der Nerven. Erlangen 1871.
- 4) Tigerstedt, Zur mechanischen Nervenreizung. Beitrag zur Physiologie. Leipzig 1887.
- 5) Hällsten, Zur Kenntniss der mechanischen Reizung der Nerven. Du Bois' Archiv 1881.
- 6) Kronecker, Methoden der Physiologie. Festgabe zum ersten Physiologencongress.
- 7) Uexküll, Zur Methodik der mechanischen Nervenreizung. Zeitschr. f. Biol. Bd. 31.
- 8) Uexküll, Der Neurokinet. Ein Beitrag zur Theorie der mechanischen Nervenreizung. Zeitschr. f. Biol. Bd. 38.
- 9) Ducceschi, Ueber die Wirkung engbegrenzter Nervencompression. Pflüger's Arch. Bd. 83.
- 10) Tigerstedt, Mittheilungen vom physiologischen Laboratorium des Karol. med.-chir. Instituts Stockholm Heft 1. 1882.
- 11) Lhoták v. Lotha, Kritische Bemerkungen zum Pflüger'schen Erregungsgesetze. Bull. intern. d. l'Acad. d. Boh. 1898.
- 12) Hermann, Handbuch der Physiologie Bd. 2 S. 45. 1879.
- 13) Hermann und Tschitschkin, Die Erregbarkeit der Nerven im Elektrotonus. Pflüger's Arch. Bd. 78.

- 14) Munk, Untersuchungen zur allgemeinen Nervenphysiologie. Reichert's u. du Bois-Reymond's Arch. 1866.
 - 15) E. du Bois-Reymond, Gesammelte Abhandlungen zur allgemeinen Muskel- und Nervenphysik Bd. 1 S. 111.
-

Erklärung der Curven.

Die Zuckungen, auf deren Vergleiche es ankommt, stehen entweder einzeln oder in der Mitte von zwei andern Zuckungen. Die beiden flankirenden Zuckungen rühren von der Schliessung und der Oeffnung des polarisirenden Stromes her. Die durch mechanische Reizung entstandene Zuckung ist durch den kleinen Strich der unteren Abscisse gekennzeichnet.