

(Aus dem physiol. Laboratorium der Universität Odessa.)

## Ueber die Reizung des Nerven mit dreiarmigen Elektroden.

Von

Prof. **B. Werigo.**

---

(Mit 6 Textfiguren.)

---

Vor einigen Jahren sind zwei Artikel erschienen, der eine von Schaternikow<sup>1)</sup> (unter Setschenow's Leitung) und der andere von Danilewsky<sup>2)</sup>, welche sich auf die Frage über die Reizung des Nerven mit dreiarmigen Elektroden beziehen. Mit dieser Frage beschäftigte ich mich schon vor mehr als fünfzehn Jahren in Petersburg, wo ich im Laboratorium von Prof. Setschenow arbeitete. Da hat nämlich Prof. Setschenow bemerkt, dass die Effecte der Nervenreizung mit Inductionsschlägen in hohem Maasse verstärkt werden können, wenn man den Nerven nicht durch zwei, wie es üblich ist, sondern durch drei Drähte mit der secundären Rolle verbindet, und zwar so, dass der negative Pol des Inductionsschlages, wie es in der nachstehenden Fig. 1 abgebildet ist, zwischen den beiden positiven zu liegen kommt.

Zu derselben Zeit beschäftigte ich mich mit den Effecten der gleichzeitigen Reizung des Nerven mit zwei Inductionsschlägen<sup>3)</sup>, und desshalb konnte ich, als Herr Prof. Setschenow mir seine Versuche gezeigt hatte, leicht einsehen, dass seine Resultate nichts Anderes sind, als ein specieller Fall der gleichzeitigen Reizung des Nerven mit zwei Inductionsschlägen, und zwar ein Fall, der sich auf

---

1) Schaternikow, Reizung der Nerven mit dreiarmigen Elektroden. Centralblatt für med. Wissensch. Bd. 33 Nr. 26. 1895.

2) Danilewsky, Ueber die tripolare elektrische Reizung der Nerven. Centralblatt für Physiologie Bd. 9 Nr. 12. 1895.

3) B. Werigo, Pflüger's Archiv Bd. 36. 1885.

Grund meiner Untersuchung ganz einfach erklären lässt. Nachdem ich mit meiner Untersuchung ganz fertig war, habe ich damals, dem Rathe Prof. Setschenow's folgend, einige Versuche auch in Bezug der Reizung des Nerven mit dreiarmigen Elektroden angestellt. Die Resultate, die ich dabei erzielte, habe ich dennoch bis jetzt nicht veröffentlicht.

Wenn ich es jetzt thue, nachdem schon zwei Artikel über denselben Gegenstand erschienen sind, so liegt die Ursache nicht darin, dass ich irgend welche Ansprüche auf Priorität machen will (die Priorität gehört hier Herrn Prof. Setschenow), sondern einfach darin, dass die von mir damals erzielten Resultate für das Verständniss der nachfolgenden Arbeit nothwendig sind.

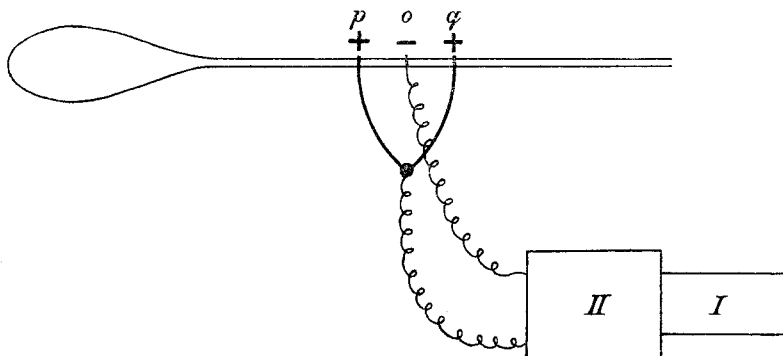


Fig. 1.

Bei meiner Untersuchung habe ich zuerst, in Uebereinstimmung mit den neueren Angaben von Schaternikow und Danilewsky, die volle Constanz bei verschiedenen Abständen der Reizelektroden von einander und einen sehr ausgeprägten Charakter der Setschenow'schen Erscheinung constatirt<sup>1)</sup>. Ferner habe ich gefunden, dass bei dem Umkehren der Richtung des Inductionsschlages in der Weise, dass die Anode am Nerven zwischen beiden Kathoden zu liegen kommt, die Reizung mit dreiarmigen Elektroden einen schwächeren Effect liefert als die gewöhnliche Reizung mit zwei Elektroden. Aber die Abschwächung der Reizungseffecte ist hier verhältnissmässig gering und zeigt sich in hohem Grade von den Abständen der Reizelektroden von einander abhängig: je kleiner

1) Die Untersuchungsmethode war dieselbe wie bei Schaternikow.

diese Abstände (*po* und *oq*) sind, desto schärfer ist die Erscheinung ausgeprägt.

Was die Erklärung dieser Thatsachen betrifft, so geht dieselbe, wie ich schon oben gesagt habe, aus meiner Untersuchung über die Effecte der gleichzeitigen Reizung des Nerven mit zwei Inductionsschlägen direct hervor.

Ich habe in der That bei der erwähnten Untersuchung gefunden, dass es unter den verschiedenen Combinationen der Richtungen der Reizschläge zwei solche gibt, wo die gleichzeitige Reizung des Nerven mit beiden Schlägen, je nach deren Richtung, entweder stärkere oder schwächere Effecte hervorruft als die Reizung des Nerven mit jedem einzelnen Schlage. Diese Combinationen sind in der beigegebenen Fig. 2 unter *A* und *B* abgebildet. Die Combination *A* gibt eine

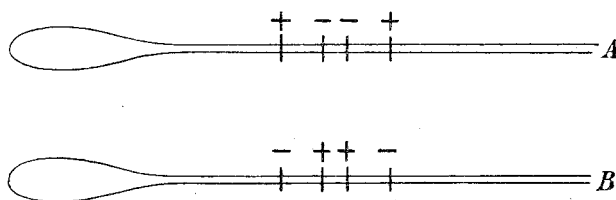


Fig. 2.

Verstärkung, die Combination *B* eine Abschwächung der Reizungseffecte. Dabei ist die Verstärkung bei der Combination *A* viel stärker ausgeprägt als die Abschwächung bei der Combination *B*.

Es ist klar, dass diese Combinationen ganz genau jenen beiden entsprechen, mit denen man bei der Reizung des Nerven mit dreiarmigen Elektroden zu thun hat. Und zwar entspricht die Reizung mit dreiarmigen Elektroden dem speciellen Falle der Combinationen *A* und *B*, wo die einander zugekehrten Elektroden in einem und demselben Nervenpunkte zusammenfallen. Der Unterschied zwischen den beiden zu vergleichenden Fällen besteht nur darin, dass bei der gleichzeitigen Reizung mit zwei Schlägen die Stärke jedes Schlages immer dieselbe bleibt, gleichviel, ob der Schlag allein oder zusammen mit dem anderen wirkt, während bei der Reizung mit dreiarmigen Elektroden die Stromstärken in den durchflossenen Nervenstrecken *po* und *oq* (Fig. 1) etwas verschieden ausfallen, je nachdem jede von diesen Strecken allein (mit zwei Elektroden) oder beide zusammen (mit dreiarmigen Elektroden) gereizt werden.

Es ist aber leicht einzusehen, dass dieser Unterschied keinesfalls gross sein kann.

Nehmen wir in der That an, dass die Stromstärke, bei der Reizung der Nervenstrecke  $po$  (Fig. 1), gleich  $i_1$  sei. Die Stromstärke bleibt dieselbe auch bei der Reizung der Nervenstrecke  $oq$  (bei der Voraussetzung, dass die beiden Nervenstrecken  $po$  und  $oq$  einen gleichen Stromwiderstand haben). Diese Stromstärke  $i_1$  kann nach dem Ohm'schen Gesetze so dargestellt werden:

$$i_1 = \frac{E}{R + r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1),$$

wo  $E$  die betreffende elektromotorische Kraft des Schlages,  $R$  — den Widerstand der zu reizenden Nervenstrecke und  $r$  — den Widerstand der übrigen Theile des Stromkreises bezeichnen. Bei Reizung der beiden Nervenstrecken  $po$  und  $oq$  mit dreiarmigen Elektroden ist der Nervenwiderstand augenscheinlich zweimal kleiner geworden (statt einer sind zwei gleiche Nervenstrecken in den Stromkreis parallel eingeführt) und desshalb kann man jetzt die betreffende Stromstärke in dem unverzweigten Theile des Stromkreises so ausdrücken:

$$i_2 = \frac{E}{\frac{1}{2}R + r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

Da der Nervenwiderstand  $R$  im Verhältniss zu dem Widerstande der übrigen Theile des Stromkreises  $r$  sehr gross ist, so kann man, ohne grossen Fehler zu begehen,  $r$  in den beiden Formeln ganz vernachlässigen und die Stromstärken in den zu vergleichenden Fällen folgendermaassen ausdrücken:

$$\begin{aligned} i_1 &= \frac{E}{R} \text{ und} \\ i_2 &= \frac{2E}{R} \end{aligned} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3).$$

Die Stromstärke bei Reizung beider Nervenstrecken  $po$  und  $oq$  mit dreiarmigen Elektroden ist also zwei Mal grösser geworden. Da aber hier das der Stromstärke entsprechende Elektrizitätsquantum sich auf zwei gleiche Nervenstrecken vertheilen muss, so ist es klar, dass die Dichtigkeit des Stromes im Nerven nahezu unverändert bleibt.

Daraus geht schon mit voller Klarheit hervor, dass der Fall der Nervenreizung mit dreiarmigen Elektroden ganz dem Falle gleichzustellen ist, wo wir, bei gleichzeitiger Reizung des Nerven

mit zwei Inductionsschlägen, die einander zugekehrten Elektroden zusammenfallen lassen, und dass die Erklärung der Erscheinungen in beiden Fällen ganz dieselbe sein muss.

Diese Erklärung kann in zweifacher Form gegeben werden.

Erstens kann man nur darauf achten, dass die Effecte der gleichzeitigen Reizung auf die elektrotonischen Erscheinungen zurückgeführt werden sollen. Die Reizung des Nerven mit zwei Schlägen, deren negative Pole einander zugekehrt sind (ebenso die Reizung mit dreiarmligen Elektroden bei mittlerer Lage des negativen Poles) ist, von diesem Standpunkte aus, nur deshalb viel wirksamer als die Reizung der einzelnen Nervenstrecken, weil die Kathode jedes Schlages, die bekanntlich nur allein zu reizen vermag, in das Gebiet des Katelektrotonus des anderen Schlages fällt. Umgekehrt ist die Reizung des Nerven mit zwei Schlägen, deren positive Pole einander zugekehrt sind (also auch die Nervenreizung mit dreiarmligen Elektroden bei mittlerer Lage des positiven Poles) nur deshalb weniger wirksam, als die Reizung der einzelnen Nervenstrecken, weil die Kathode jedes Schlages in das Gebiet des Anelektrotonus des anderen zu liegen kommt.

Das ist die Erklärung, die ich in meiner Arbeit über die gleichzeitige Reizung des Nerven mit zwei Inductionsschlägen gegeben habe<sup>1)</sup>. Man kann aber, wie ich es später gethan habe, die Erklärung noch weiter führen und sich die Frage vorlegen, woher es überhaupt kommt, dass der Katelektrotonus verstärkend und der Anelektrotonus hemmend auf die Effecte der Nervenreizung wirkt. Der Fall der gleichzeitigen Reizung des Nerven mit zwei Inductionsschlägen ist nämlich für die Entscheidung dieser Frage der günstigste von allen anderen, wo wir es auch mit elektrotonischen Erscheinungen zu thun haben (z. B. bei der constanten Nervendurchströmung). In Bezug auf diesen Fall bin ich zuerst in meinem Buche über die intermittirende Nervenreizung<sup>2)</sup> zu meiner Summirungshypothese gelangt, die sich bei weiteren Untersuchungen insofern bewährte, als sie zur Erklärung sämmtlicher Erscheinungen des physiologischen Elektrotonus geführt hatte<sup>3)</sup>. Indem ich mich auf die Theorie des Elektrotonus von Prof. Hermann stützte, habe ich nämlich die

1) B. Werigo, Pflüger's Archiv Bd. 36. 1885.

2) B. Werigo, Effecte der Nervenreizung durch intermittirende Kettenströme. Berlin, Hirschwald 1890.

3) Ibid.

Ansicht ausgesprochen, dass in dem Falle, wo die von verschiedenen Strömen herrührenden elektrotonischen Zustände an einer und derselben Nervenstelle zusammentreffen, diese Zustände ganz physikalisch unter einander summirt werden, und zwar so, dass die gleichnamigen elektrotonischen Zustände sich einfach addiren und die ungleichnamigen sich einfach subtrahiren. Dieser Anschauung liegt augenscheinlich die Hermann'sche Theorie des Elektrotonus zu Grunde, der zu Folge das Wesen des an- und katelektrotonischen Zustandes nur darin besteht, dass in dem ersten Falle die elektrotonischen Stromfäden in den polarisirbaren Kern (Achsenzylinder nach meiner Ansicht) eindringen und so zu einer positiven Polarisation Anlass geben, während in dem zweiten die elektrotonischen Stromfäden aus dem Kern (Achsenzylinder) heraustreten und deshalb den Nerven negativ polarisiren. Wir wissen bis jetzt nicht, welche Veränderungen im Nerven an den Stellen der positiven und der negativen Polarisation vorgehen; dennoch belehren uns die Thatfachen, dass nur die negative Polarisation den Nerven zu reizen vermag. Deshalb müssen wir immer, wenn wir die Effecte der betreffenden Reizung im Voraus bestimmen wollen, darauf achten, wie stark die negative Polarisation (Katelektrotonuszustand) an dem zu reizenden Nervenpunkte ist. Da die negative Polarisation eine physikalisch vollkommen bestimmte Grösse darstellt, und da die beiden (negative und positive) Polarisationen einander entgegengesetzt, und also mit den entgegengesetzten Vorzeichen in Rechnung zu nehmen sind, so geht daraus nothwendigerweise hervor, dass wir hier, bei der Bestimmung der Grösse der negativen Polarisation an irgend welcher Nervenstelle, die von verschiedenen Strömen herrührenden gleichnamigen Polarisationen unter einander addiren und die ungleichnamigen subtrahiren müssen.

Diese einfache Vorstellung genügt, wie ich schon oben gesagt habe, vollständig zur Erklärung sämmtlicher Erscheinungen des physiologischen Elektrotonus, wie ich es in meiner oben citirten Monographie über die Effecte der intermittirenden Nervenreizung auseinandergesetzt habe.

Was den uns jetzt speciell interessirenden Fall der Nervenreizung mit dreiarmigen Elektroden betrifft, so kann hier die Erklärung auf folgende Weise graphisch dargestellt werden.

Den Fall, wo die negative Elektrode die mittlere Lage hat, können wir uns auf Grund des früher Gesagten so vorstellen, als

hätten wir hier mit der gleichzeitigen Wirkung zweier Schläge zu thun, deren einander zugekehrte negative Pole in einem und demselben Nervenpunkte zusammenfallen. Jeder von diesen Schlägen muss den Nerven polarisiren. Wir können die von ihnen hervorgerufene negative und positive Polarisirung in Form zweier Curven darstellen, die im Allgemeinen mit der bekannten Curve der Pflüger'schen elektrotonischen Erregbarkeitsänderungen des polarisirten Nerven übereinstimmen müssen. Für die gleichzeitige Wirkung

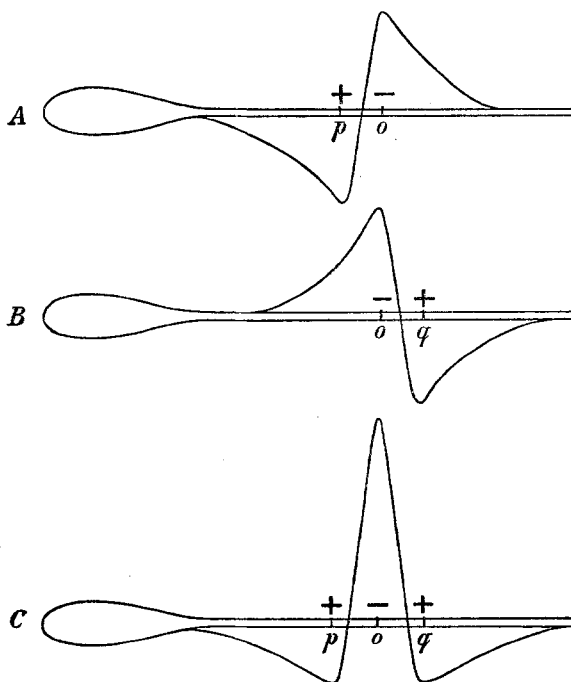


Fig. 3.

dieser beiden Schläge (Reizung mit dreiarmigen Elektroden) müssen wir dann eine dritte Curve construiren, und zwar so, dass die Ordinaten dieser Curve der algebraischen Summe der Ordinaten der beiden ersten entsprechen.

In Figur 3 haben wir diese drei Curven construirt, wobei die negative Polarisirung, die dem Katelektrotonuszustande entspricht, nach oben, und die positive, dem Anelektrotonus entsprechende, nach unten auf den Nerven aufgetragen ist.

Die Curve A entspricht dem Falle, wo wir nur die Nervenstrecke  $po$  reizen. Der alleinigen Reizung der Nervenstrecke  $oq$

entspricht die Curve *B*. Und endlich bei Reizung des Nerven mit dreiarmligen Elektroden bekommen wir die Curve *C*. Wir sehen hier, dass die negative Polarisation resp. der Katelektrotonuszustand in dem Punkte *o* dieser Curve *C* zweimal stärker ist als auf den Curven *A* und *B*. Desshalb können wir es leicht begreifen, dass die Reizung des Nerven mit dreiarmligen Elektroden viel wirksamer sein muss als die Reizung einzelner Nervenstrecken *po* und *oq*. Ausserdem sehen wir auch, was für uns später von Wichtigkeit sein

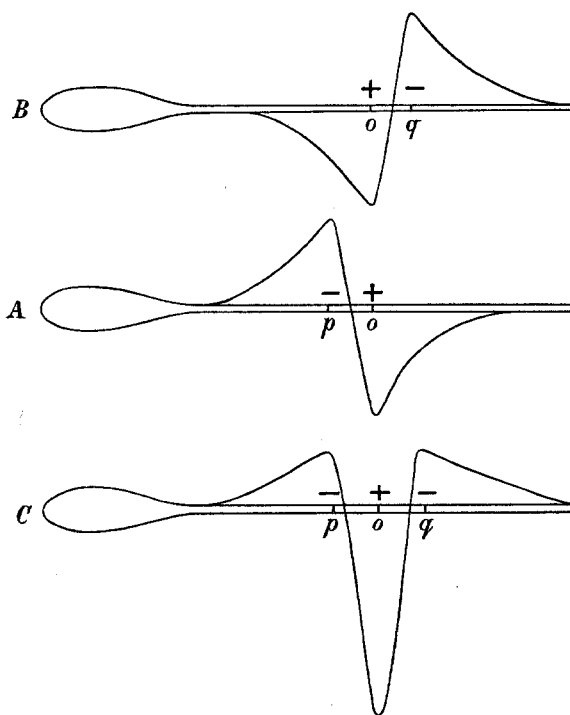


Fig. 4.

wird, dass der Katelektrotonuszustand hier auf der Curve *C* ganz symmetrisch in Bezug auf den Punkt *o* nach beiden Seiten vertheilt ist und eine viel kleinere Ausbreitung längs dem Nerven hat als in den beiden Curven *A* und *B* (er erreicht nicht nach beiden Seiten die Anodenelektroden *p* und *q*). Ausserdem sind hier die Anelektrotonuszustände, die die katelektrotonisirte Nervenstrecke nach beiden Seiten begrenzen, etwas geschwächt im Vergleich mit den Curven *A* und *B*.

In dem Falle, wo die Anode die mittlere Stellung hat, bekommen wir die Resultate, die den beschriebenen genau entsprechen, mit dem



einzigsten Unterschiede, dass die oben angeführten Curven hier einen entgegengesetzten Ordinatenwerth haben, wie es aus der nachfolgenden Fig. 4 ersichtlich ist.

Hier auf der Curve *C* haben wir einen verstärkten Anelektrotonuszustand (im Punkte *o*), und geschwächte Katelektrotonuszustände in den Punkten *p* und *q*. Da der durch die Schläge hervorgerufene Anelektrotonus nicht reizend wirken kann (bei nicht zu starken Schlägen), so muss seine Verstärkung bei der Reizung des Nerven mit dreiarmligen Elektroden ohne jede Wirkung bleiben. Eine geringe Abschwächung der Katelektrotonuszustände in den Nervenpunkten *p* und *q* muss aber eine kleine Abschwächung des Reizungseffectes bedingen, wie wir es in der That in diesem Falle beobachten, und zwar muss diese Abschwächung desto grösser sein, je kleiner der Abstand der Elektroden von einander ist.

Das ist Alles, was ich in Bezug auf die Theorie der Nervenreizung mit dreiarmligen Elektroden anführen möchte. Hier will ich noch einige Bemerkungen über die praktische Anwendung dieser Methode der Nervenreizung hinzufügen.

Es gibt Fälle, wo es für uns sehr wichtig ist, den Nerven nur an einer kurzen Strecke mit verhältnissmässig starken Inductionsschlägen zu reizen. In solchen Fällen ist die gewöhnliche Methode der Reizung mit zwei Elektroden sehr ungenau. In der That reizen wir bei Reizung des Nerven mit Inductionsschlägen bekanntlich nur die an die Kathode des Schlages angrenzende Nervenstrecke, da die Anode, insofern zu starke Schläge nicht in Betracht kommen, nicht im Stande ist, eine Erregung des Nerven hervorzurufen. Mit anderen Worten, wir reizen nur diejenigen Punkte des Nerven, die sich im Zustande des Katelektrotonus befinden. Der Katelektrotonuszustand ist aber nicht nur in dem Punkte vorhanden, wo die Kathode des Schlages dem Nerven anliegt, sondern er breitet sich mehr oder weniger weit in die extrapolare Strecke des Nerven aus, und zwar um so weiter, je stärker der reizende Schlag ist. Desshalb können wir bei Reizung des Nerven mit sehr schwachen Schlägen, die nur eine minimale Erregung hervorrufen, mit Recht behaupten, dass diese Erregung ungefähr nur an der Kathode stattfindet. Bei starken Schlägen dagegen können wir vollkommen überzeugt sein, dass die Erregung in einer mehr oder weniger grossen Nervenstrecke entsteht. Wenn wir also irgend welche Reizungseffecte bei schwacher und bei starker Reizung untereinander vergleichen wollen, so ist die Zu-

sammenstellung der bei solcher Reizungsmethode erhaltenen Resultate sehr unsicher, weil wir es hier nicht nur mit verschiedener Stärke, sondern auch mit verschiedener Länge der gereizten Strecken zu thun haben. In solcher unsicherer Lage befinden wir uns zum Beispiel, wenn wir die Geschwindigkeit der Erregungsleitung des Nerven bei verschiedener Stärke der Reizung messen wollen. Die verschiedenen Ansichten, die bekanntlich in Bezug auf diese Frage ausgesprochen wurden, können vielleicht zum Theil darauf zurückgeführt werden.

In solchen Fällen wäre es nämlich sehr empfehlenswerth, zu der Reizung des Nerven mit dreiarmligen Elektroden Zuflucht zu nehmen, und zwar bei mittlerer Lage der Kathode. Da die Kathode des Schlages bei solcher Versuchsanordnung zwischen zwei Anoden liegt, so kann hier bei Verstärkung der Reizung keine extrapolare Aus-

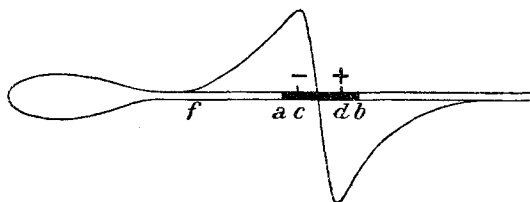


Fig. 5.

breitung des Katelektrotonuszustandes und folglich auch keine Vergrößerung der gereizten Strecke stattfinden.

Diese Auseinandersetzungen zeigen also, dass die Reizung des Nerven mit dreiarmligen Elektroden in vielen Fällen, wo es nothwendig ist die Reizungseffekte bei verschiedener Stärke der Inductionsschläge untereinander zu vergleichen, viel sicherere Resultate geben kann, als die übliche Reizung mit zwei Elektroden. Auf solche Weise könnte man glauben, dass die dreiarmligen Elektroden nicht nöthig sind, wo man es mit minimaler Reizung des Nerven zu thun hat, wie zum Beispiel bei gewöhnlichen Versuchen mit Bestimmung der Nervenirregbarkeit. Aber es lässt sich leicht zeigen, dass es auch hier solche Fälle geben kann, wo die gewöhnliche Reizung uns zu ganz irrthümlichen Resultaten führen muss und wo es unbedingt nothwendig ist, den Nerven mit dreiarmligen Elektroden zu reizen. Das lässt sich am besten an einem Beispiele erörtern.

Stellen wir uns vor, dass in irgend welcher kleinen Nervensecke  $ab$  (Fig. 5) unter irgend welcher Einwirkung eine starke

Herabsetzung der Erregbarkeit (vielleicht ein voller Verlust derselben) entstanden ist, und dass es sich darum handelt, die Grösse dieser Erregbarkeitsherabsetzung zu schätzen. Zu dem Zwecke können wir, wie es üblich ist, an irgend welche zwei Punkte der Strecke  $ab$  (zum Beispiel in  $c\bar{d}$ ) zwei mit der secundären Rolle eines Inductionsapparates verbundene Elektroden appliciren und dann den Rollenabstand messen, bei welchem eben eine minimale Muskelzuckung auftritt. Bis jetzt hat man auch immer in solchen Fällen auf diese Weise verfahren. Aber die einfachsten Betrachtungen können uns überzeugen, dass eine solche Erregbarkeitsbestimmung nicht nur ganz unsicher ist, sondern sogar uns in einigen Fällen zu ganz falschen Resultaten führen kann.

Nehmen wir zum Beispiel an, dass wir in dem von uns besprochenen Falle für unseren auf die Strecke  $cd$  (Fig. 5) wirkenden Schlag eine absteigende Richtung ausgewählt und den der minimalen Zuckung entsprechenden Rollenabstand ermittelt haben. Der Schlag, welcher hier wegen der Erregbarkeitsherabsetzung eine verhältnissmässig grosse Intensität haben muss, versetzt in Katelektrotonuszustand eine mehr oder weniger grosse Nervenstrecke  $cf$  (s. Fig. 5), in welcher somit die Erregung entstehen kann. Desshalb muss es hier immer unentschieden bleiben, ob die von uns erhaltene minimale Zuckung der Reizung der zu untersuchenden Nervenstrecke  $ab$ , oder der Reizung der benachbarten normalen Nervenstrecke  $af$  ihren Ursprung verdankt. Es könnte wohl sein, dass der Nerv in  $ab$  zu der Zeit, wo wir nur eine verhältnissmässig schwache Erregbarkeitsherabsetzung constatiren, seine Erregbarkeit schon längst verloren hat.

Bei solcher Reizungsmethode ist es auch möglich, dass wir hier überhaupt keine Erregbarkeitsherabsetzung und sogar eine Erregbarkeitssteigerung finden. Ein solcher Fall kann nämlich dann vorkommen, wenn die Nervenstrecke, welche an die zu untersuchende angrenzt, eine stark gesteigerte Erregbarkeit hat. Dann können die sich auf diese Strecke ausbreitenden katelektrotonischen Stromfäden des reizenden Schlages schon bei einer solchen Stärke des letzteren erregend wirken, die zur Erregung des normalen Nerven noch ungenügend ist.

Ganz anders muss es in dem Falle sein, wo wir den Nerven mit dreiarmigen Elektroden reizen. Wenn wir diese Elektroden auf die Strecke  $ab$  (Fig. 5) appliciren, so haben wir volle Sicherheit, dass der durch Schläge hervorgerufene Katelektrotonuszustand sich

nicht über diese Strecke hinaus ausbreiten kann, und dass wir folglich nur die zu untersuchende Nervenstrecke auf ihre Reizbarkeit prüfen. Bei solcher Reizungsmethode kann nur die erregende Wirkung des Anelektrotonus die von uns erhaltenen Resultate stören. Aber die Reizwirkung des Anelektrotonus, die überhaupt erst bei grossen Intensitäten der Inductionsschläge zum Vorschein kommt, kann bei Reizung des Nerven mit dreiarmigen Elektroden nur bei noch grösserer Stärke der Schläge auftreten, weil der Anelektrotonus hier, wie wir es oben gesehen haben, mehr oder weniger abgeschwächt ist.

Wir haben also hier eine sehr ausgedehnte Scala der Reizungen zur Verfügung und können vollkommen überzeugt sein, dass die im Bereiche dieser Scala gemachten Erregbarkeitsbestimmungen ganz richtig sind. Es ist aber möglich, dass auch diese Scala in einigen Fällen nicht mehr ausreichen wird (mit einem solchen Falle werden wir in meiner nachfolgenden Abhandlung „Zur Frage über die Beziehung zwischen Erregbarkeit und Leitungsfähigkeit des Nerven“ zu thun haben), und nämlich dann, wenn die zu untersuchende kleine Nervenstelle ihre Erregbarkeit vollständig verloren hat. Wir werden hier bei unseren Reizungen nicht im Stande sein, diesen Verlust der Erregbarkeit nachzuweisen, weil wir bei der Verstärkung der Reizung zuletzt genöthigt sein werden, solche Stärken der Schläge anzuwenden, bei denen schon die Anode zu reizen vermag.

Es ist also unmöglich, sogar bei Anwendung der dreiarmigen Elektroden, den vollständigen Verlust der Erregungsfähigkeit an irgend welcher kleinen Nervenstelle zu constatiren. Aber das liegt schon in der Natur der elektrischen Reizung. Die Reizung mit dreiarmigen Elektroden gibt uns in dieser Beziehung jedenfalls das Beste, was wir überhaupt bei der elektrischen Reizung bekommen können<sup>1)</sup>.

Zum Schlusse will ich auf die praktische Anwendbarkeit<sup>\*</sup> der

---

1) Im Text habe ich mich überall so geäussert, als ob die reizende Wirkung der Anode bei der Anwendung starker Inductionsschläge endgültig bewiesen wäre. Ich halte mich für berechtigt, das zu behaupten, und zwar auf Grund der That-sachen, welche in meiner Arbeit über die secundären Erregbarkeitsänderungen an der Kathode eines andauernd polarisirten Froschnerven (Pflüger's Archiv Bd. 31, 1883) angeführt sind, und welche, meiner Meinung nach, die reizende Wirkung der Anode ganz sicher beweisen. In dieser Beziehung muss ich also den Leser auf die erwähnte Abhandlung verweisen.

dreiarmligen Elektroden noch in einer anderen Beziehung aufmerksam machen.

Jeder Physiologe weiss, wie schwer es ist, bei Vivisectionen an grösseren Thieren (Hunden, Katzen, Kaninchen) einen tief in der Wunde liegenden Nerven ganz sicher zu reizen. Hier ist immer die Gefahr vorhanden, dass bei der Reizung des betreffenden Nerven noch andere in der Nähe desselben befindliche auch mitgereizt werden. In dieser Beziehung gibt die Reizung des Nerven mit dreiarmligen Elektroden eine solche Sicherheit, die bei keiner anderen elektrischen Reizungsmethode erreicht werden kann.

Um das zu erläutern, stellen wir uns vor, dass  $ab$  und  $a_1b_1$  die in der Tiefe der Gewebe liegenden Nerven darstellen (Fig. 6), die wir ein Mal nach der üblichen Methode mit zwei ( $A$ ) und dann mit drei Elektroden ( $B$ ) reizen.

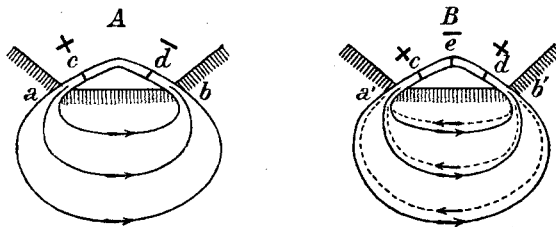


Fig. 6.

Bei der gewöhnlichen Reizungsmethode (Fall  $A$ ) geht der Strom nicht nur durch die zu reizende Nervenstelle, sondern er breitet sich nach allen Richtungen in das den Nerven umgebende Gewebe aus. Diese Ausbreitung des Stromes bildet nämlich eine Complication, welche die Versuchsergebnisse immer etwas bedenklich macht.

Solche Ausbreitung des reizenden Stromes findet auch bei der Reizung mit dreiarmligen Elektroden statt (Fall  $B$ ). Aber man kann aus unserer Fig. 6 leicht ersehen, dass die Stromschleifen, welche hier von den beiden äusseren Elektroden  $c$  und  $d$  in das umgebende Gewebe hineindringen, eine einander entgegengesetzte Richtung haben und desshalb sich gegenseitig compensiren müssen. Da die Ausbreitungsbedingungen für die Stromschleifen beider Richtungen ganz gleich sind, so muss diese Compensation vollständig sein in dem Falle, wo die Nervenstrecken  $ce$  und  $ed$  gleich lang sind oder, besser gesagt, wenn sie einen gleichen Stromwiderstand haben.

Diese Auseinandersetzungen sind nicht bloss ein Resultat der rein theoretischen Betrachtung der Reizbedingungen, sondern sie können auch sehr leicht experimentell nachgewiesen werden. Wenn wir nämlich auf ein Stück von Kochsalzthon zwei mit den Schenkeln in Verbindung gelassene Froschnerven einander parallel (bei gegenseitigem Abstände von 3—5 mm) legen und den einen Nerven in der üblichen Weise mit zwei Elektroden reizen, so bekommen wir schon bei mässiger Reizstärke Zuckungen in den beiden Schenkeln. Der zweite Nerv wird also hier sehr leicht durch die Stromschleifen erregt. Wenn wir aber den Nerven mit dreiarmigen Elektroden reizen, so bekommen wir nur Zuckung des zugehörigen Muskels sogar bei sehr starken Reizströmen. Die Reizung des Nerven mit dreiarmigen Elektroden macht es uns also möglich, den zu reizenden Nerven so zu sagen ganz von dem umgebenden Gewebe zu isoliren.

Das sind die Gründe, die mich glauben lassen, dass die Reizung des Nerven mit dreiarmigen Elektroden eine mehr oder weniger grosse Anwendung in der physiologischen Technik finden muss.

---