

### L i t e r a t u r.

---

- 1) Kühne, Reichert's und du Bois-Reymond's Archiv 1860. S. 542.
- 2) du Bois-Reymond, Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 S. 126.
- 3) Jendrassik, du Bois-Reymond's Archiv 1879. S. 300.
- 4) Hermann, Pflüger's Archiv Bd. 39 S. 603. 1886.
- 5) " " " Bd. 45 S. 593. 1889.
- 6) " " " Bd. 47 S. 147. 1890.
- 7) " " " Bd. 67 S. 240. 1897.
- 8) " " " Bd. 70 S. 513. 1898.
- 9) v. Regéczy, Pflüger's Archiv Bd. 45 S. 219. 1889.

---

### A n h a n g.

#### Zur Theorie des galvanischen Wogens.

Von

**L. Hermann.**

---

Die von Herrn Meirovsky gefundenen Thatsachen bestätigen auf das Vollkommenste, dass das galvanische Wogen eine Contractilitäterscheinung ist, deren Auftreten in erster Linie von der Erregbarkeit und Verkürzungsfähigkeit des Muskels abhängt. Mit Electrotransfusion hat diese Erscheinung nichts zu thun.

Als das Wesentliche der Erscheinung habe ich schon in meiner ersten Arbeit über dieselbe das Ablaufen von localen Verdickungen und Verkürzungen bezeichnet, welche den idiomusculären Wülsten vollkommen vergleichbar sind. Der Ablauf erfolgt stets in der Richtung des Stromes, und zwar mit verschiedenen, aber stets sehr geringen Geschwindigkeiten, welche bis auf  $\frac{1}{1000}$  der normalen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contractionswellen herabgehen können. Bedingungen für das Auftreten der Erscheinungen sind nach meinen Versuchen: 1. Erregbarkeit des Muskels, welcher ein quergestreifter sein muss, daher auch eine Temperatur innerhalb der Contractilitätsgrenzen; 2. longitudinale Durchströmung von hoher Dichte; nach der von mir später eingeführten Bezeichnungsweise\*) würde die untere

---

\*) Dieses Archiv Bd. 57 S. 394. 1894.

Dichtengrenze etwa bei 40–60  $\delta$  liegen, während 0,08  $\delta$  schon zur Erregung von Schliessungszuckungen genügen; 3. nicht zu straffe Streckung der Fasern (von Jendrássik gefunden); daher wogt die Wadenfläche des Gastrocnemius, deren Fasern durch die Straffheit des Gefüges stets gestreckt sind, selbst bei enormen Dichten kaum jemals deutlich.

Dass die in der Stromrichtung ablaufenden Wülste nicht etwa von der Stromeintrittsstelle ausgehen, sondern an beliebigen Stellen des Verlaufes entstehen, lässt sich leicht zeigen. Im Augenblick der Schliessung wogt schon jeder Theil des Muskels; bei der enorm langsamen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wülste können dieselben daher nicht von der Anode hergeleitet sein.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass das galvanische Wogen sich irgendwie aus dem polaren Erregungsgesetze ableiten wird; jede Erklärung wird ferner zu berücksichtigen haben, dass die für das Wogen nöthigen starken Ströme eine Misshandlung des Muskels darstellen, welche ihn in der That sehr schnell zu Grunde richtet. Ferner ist zu erwägen, dass die Wanderungsgeschwindigkeit der Wülste so enorm tief unter der normalen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contractionswellen liegt, dass es unmöglich erscheint, jene Wanderung als eine Art Erregungsleitung aufzufassen, zumal man sich leicht überzeugt, dass die Wogen bewirkenden Ströme bei der Schliessung und meist auch bei der Oeffnung normal verlaufende, von der Kathode, resp. Anode ausgehende Schwankungszuckung bewirken. Damit fällt denn auch die Aufgabe weg, zu erklären, warum das normal doppelsinnige Leitungsvermögen hier nur einseitig ist; dass nicht etwa der Strom einen solchen Einfluss auf das Leitungsvermögen ausübt, geht aus den oben S. 447 und 448 erörterten Versuchen hervor.

Eine ungezwungene und hypothesenfreie Erklärung des galvanischen Wogens, welche alles Gesagte berücksichtigt, würde etwa folgende sein, welche an Gedanken anknüpft, die schon in meiner ersten Arbeit ausgesprochen sind.

Da die Wülste promiscue fortwährend an den verschiedensten Stellen der Fasern beginnen, so müssten nach dem polaren Erregungsgesetz an den verschiedensten Stellen gelegentlich Faser-Kathoden auftreten können. Der Umstand, dass straffe Spannung das Wogen hindert, weist geradezu darauf hin, dass diese Kathodenstellen mit Faserkrümmungen zusammenhängen. Die geradlinigen Strömungs-

curven wirken, wie man leicht durch ein Schema findet, auf jede Krümmung, d. h. jeden Faserantheil, der mit den Strömungslinien einen Winkel bildet, wie eine schräge Durchströmung; eine solche aber wirkt auf den betroffenen Faserantheil stets so, dass derselbe am Kathodenende eine freie Kathode, am Anodenende eine freie Anode empfängt und dazwischen sich wie quer durchströmt verhält. Da jede freie Kathode durch ihr Entstehen erregt, ferner die Ströme enorm stark, der Muskel also in abnormer Situation ist, so folgt ganz von selbst, dass zunächst im Momente der Schliessung multiple Erregungsstellen da sind, und dass jede derselben, etwa wie mechanische Reizung eines absterbenden Muskels, einen localen Wulst hervorruft\*). Jeder dieser Wülste wird aber weiter, wie man ebenfalls leicht an einem Schema erkennen kann, durch die geraden Strömungslinien zur Hälfte kathodisch, zur anderen Hälfte anodisch afficirt. Die erstere Hälfte unterliegt also neuer Erregung, und so muss die wulstartige Erregung in der Richtung des Stromes vorrücken. Ausserdem aber werden die Wulstbildungen einer Faser sehr leicht Verbiegungen anliegender Fasern, also in diesen neue Erregungen und Wulstbildungen zur Folge haben können.

Der oben S. 448 besprochene Versuch mit gleichzeitiger Querdurchströmung ist von dem Gedanken eingegeben, dass, wenn diese Erklärung des Wogens richtig ist, jede Querpolarisation einer Muskelstrecke dem Wogephänomen in derselben ungünstig sein muss, da zwar Ströme sich ungestört superponiren, nicht aber Polarisationen. Das Resultat entsprach in der That sehr eclatant den Erwartungen; da es aber möglicher Weise auch anders erklärt werden kann, so kann man nur sagen, dass es mit der aufgestellten Erklärung sich gut vereinbaren lässt.

Schliesslich sei es mir gestattet, an dieser Stelle einen Einwand kurz zu besprechen, welcher vor Kurzem gegen meine Theorie der nervösen und musculären Erregungsleitung erhoben worden ist. Ich habe diese Leitung aus den Actionsströmen zu erklären versucht, welche die unmittelbar angrenzenden Nachbarlemente des erregten Faserinhalts in starken Katelektrotonus, die erregten Elemente selbst aber in starken Anelektrotonus versetzen, erstere also erregen,

---

\*) Man beachte auch, dass, wie Herr Meirovsky gefunden hat, Veratrin das Wogen ausserordentlich begünstigt, entsprechend seiner Eigenschaft die Beharrung der Contraction zu vergrössern.

letztere beruhigen; und habe hierin die Hauptbedeutung sowohl der thierischen Elektrizität wie des polaren Erregungsgesetzes vermuthet\*). Engelmann, welchem diese Vorstellung sehr bestechend scheint, erhebt gegen dieselbe den Einwand, es würde aus ihr folgen, dass stärkere Actionsströme weiter weg gelegene Theilchen erregen, stärkere Erregungen sich also schneller fortpflanzen, während er die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von der Reizstärke unabhängig findet\*\*). Ohne mich in die zwischen Engelmann und Bernstein geführte Controverse einzumischen, ob letzteres Resultat als sicher anzusehen ist, möchte ich nur nachdrücklich hervorheben, dass meine Theorie keineswegs zu dem Schlusse führt, dass stärkere Erregungen schneller sich fortpflanzen müssen. Wenn diese Theorie sich überhaupt durchführen lässt — ein Punkt, für den ich aus mathematischen Gründen alle Vorbehalte gemacht habe\*\*\*) —, so wird sie auf eine analoge Differentialgleichung führen, wie für die Fortpflanzung von Licht, Schall, Schlauchwellen etc.; in allen diesen Fällen ist die Geschwindigkeit von der Intensität unabhängig. Der stärkere und weiter greifende Reiz wird nur bewirken, dass die vorrückende sog. Erregungswelle (Ausdehnung der gleichzeitig merklich erregten Strecke) länger ist, aber nicht dass sie schneller vorrückt, grade wie bei einem Wasserschlauch ein stärkerer Impuls eine stärkere und längere, aber nicht eine schnellere Welle hervorbringt. Dies gilt ganz allgemein, wenigstens soweit das Princip der Superposition kleinster Wirkungen seine Gültigkeit hat.

---

\*) Vgl. Handbuch der Physiologie Bd. 4 Abth. 2 S. 194, 195; 1879. Ferner dieses Archiv Bd. 35 S. 4; 1884.

\*\*\*) Dieses Archiv Bd. 66 S. 588. 1897.

\*\*\*) Vgl. a. a. O. des Handbuchs. Ferner dieses Archiv Bd. 71 S. 294. 1898.