

Ueber die elektromotorische Kraft des Warmblüternerven.

Von

Léon Fredericq in Lüttich.

Auf Veranlassung des Hrn. Professor du Bois-Reymond unternahm ich in der physikalischen Abtheilung des Berliner physiologischen Institutes eine Reihe von elektromotorischen Maassbestimmungen an Warmblüternerven.

Die ersten Versuche der Art hat Hr. du Bois-Reymond selber an- gestellt. Er fand die Kraft des Kaninchenischiadicus bis zu 0.026 eines Daniells.¹ Für denselben Nerven giebt Hr. O. Israël² etwas niedrigere Zahlen an, nämlich bei nicht abgekühlten Thieren 0.015 D, bei abgekühlten Thieren 0.016 D. Bevor ich auf die von mir erhaltenen Resultate näher eingehe, erlaube ich mir einige Bemerkungen über die angewandten Ver- suchsanordnungen voranzuschicken.

Zur Methodik.

Die elektromotorische Kraft der zwischen den unpolarisirbaren Elek- toden aufgelegten Gewebe wurde mittels des du Bois-Reymond'schen Compensationsverfahrens³ in Bruchtheilen eines Normal-Daniells (verquiektes Zink in Zinksulfatlösung von 1.25 spec. Gewicht) ausgewerthet. Als Gal- vanometer diente die übliche Wiedemann'sche Busssole, bei deren Auf- stellung ich folgende Werthe bestimmte:

Logarithmisches Decrement des Magnetes	0.55
Beruhigungszeit des eben aperiodischen Magnetes ($\epsilon = \pi$)	8.5''
Abstand des Spiegels vom Nullpunkt der Fernrohrscala	246 ^{cm} .

¹ E. du Bois-Reymond, Ueber die elektromotorische Kraft der Nerven und Muskeln. *Dies Archiv.* 1867. S. 440. — *Gesammelte Abhandlungen zur allgemeinen Muskel- und Nervenphysik.* Bd. II. Leipzig 1877. S. 250.

² Oscar Israël, Ueber künstliche Pökilothermie. *Dies Archiv.* 1877. S. 451.

³ E. du Bois-Reymond, *Gesammelte Abhandlungen* u. s. w. Bd. I. Leipzig 1876. S. 176, 257; — Bd. II. S. 234.

Archiv f. A. u. Ph. 1880. Physiol. Abthlg.

Die Messungen geschahen am sogenannten runden Compensator. In der Hauptleitung befand sich der Normal-Daniell nebst einem Quecksilberschlüssel; möglichst kurze und dicke Verbindungsdrähte ohne eingeschobene Bussrollen führten zum Platindraht des Compensators. Die Graduationsconstante des letzteren konnte also nicht auf directem Wege gewonnen werden, sondern es musste die zweite mittelbare¹ von du Bois-Reymond angegebene Methode eingeschlagen werden. Dazu diente eine bereits vorher graduirte Vorrichtung bestehend aus einem zweiten Normal-Daniell, dem sogenannten langen Compensator, einem Quecksilberschlüssel und einer eingeschalteten Thermorolle. Um die Graduationsconstante des runden Compensators (II) als Bruchtheil der Graduationsconstanten des langen (I) zu bestimmen, wurden die beweglichen Drähte der beiden Compensatoren mit den hintereinander eingeschalteten Hydrorollen der Bussole verbunden, und nun diejenigen Stellungen der beweglichen Theile der beiden Compensatoren aufgesucht, bei denen der Strom in dem Bussolkreise Null war. Bekanntlich hat man dann

$$\left[\frac{E_2}{k_2} \right] = \frac{n_1}{n_2} \left[\frac{E_1}{k_1} \right],$$

wenn E_1, E_2 die elektromotorischen Kräfte der zu (I) und (II) gehörigen Ketten, $\left[\frac{E_1}{k_1} \right], \left[\frac{E_2}{k_2} \right]$ die bezüglichen Graduationsconstanten und n_1, n_2 diejenigen abgelesenen Theilstriche bedeuten, bei denen elektrisches Gleichgewicht in dem Bussolkreise erreicht wurde.

Da in unserem Falle $E_1 = E_2 = D$, so hat man einfach

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{n_1}{n_2},$$

das heisst, die Graduationsconstanten der beiden Vorrichtungen verhalten sich den im Fall des Gleichgewichtes an beiden abgelesenen Theilstrichen umgekehrt proportional.

Aus einer Reihe von Bestimmungen ergaben sich nun folgende Zahlen:

Als Mittel für die Graduationsconstante $\left[\frac{D}{k_1} \right]$ des langen Compensators: 0.000213 D, und da 100 Grade des runden Compensators im Mittel 105 Graden des langen Compensators entsprachen, so hatte man:

$$\frac{0.000213}{\left(\frac{1}{k_2} \right)} = \frac{100}{105},$$

woraus $\left[\frac{D}{k_2} \right] = 0.00022365$ D, oder abgekürzt = 0.000224 D, als Gra-

¹ E. du Bois-Reymond, *Gesammelte Abhandlungen* u. s. w. Bd. II. S. 235. 236.

duationsconstante des runden Compensators sich ergab. Da der Draht dieser Vorrichtung 1000 Theilstriche umfasst, so liess sich daran eine Kraft bis zu $1000 \times 0.0002237 D = 0.2237 D$ messen.

Diese Werthe schienen bequem genug, um an der Vorrichtung nichts zu verbessern. Sie blieb während der ganzen Dauer der Versuchsreihen absolut unverändert. Nur wurde der Daniell zwischen den jedesmaligen Versuchsreihen auseinander genommen und es wurden dessen Flüssigkeiten erneuert.

Bei allen Strombestimmungen wurde dafür gesorgt, dass die Ausschläge des Magnetspiegels innerhalb derjenigen Theile der Scala sich hielten, für welche Proportionalität mit den Stromstärken angenommen werden darf: man musste also in vielen Fällen das Drehungsmoment der Rollen durch grössere Entfernung vom Magnete verringern. Anstatt nun die Rollen sich selbst parallel zu verschieben, kann man auch daran denken, das Drehungsmoment der Rollen dadurch zu vermindern, dass man sie in grösserer Nähe bei dem Magnete lässt, sie aber um eine verticale Axe dreht, so dass ihre Windungen einen kleineren oder grösseren Winkel mit dem magnetischen Meridiane bilden, in der Art wie es Bowditch mit der secundären Rolle des Inductoriums gegenüber der primären gethan hat. Dies Verfahren ist aber nach meinen Beobachtungen nicht zulässig, wenn die Intensität des die Rolle durchfliessenden Stromes von der beim Compensationsverfahren üblichen Grössenordnung ist. Alsdann nämlich wirkt die Rolle so stark magnetisirend, dass n merklich $> \varepsilon$ wird, folglich der Magnet aufhört, sich aperiodisch zu bewegen.

Als Controle der besprochenen Graduirung wurde mittels derselben Vorrichtung die elektromotorische Kraft einer durch einen Leslie'schen Würfel bestrahlten Thermosäule bestimmt, deren Kraft als Bruchtheil der Daniell'schen Kette vorher auf anderem Wege ausgewerthet war.

Uebrigens wurde während der Versuchsreihen die Graduationsconstante mehrere Mal auf's Neue bestimmt und dieselbe stets in befriedigender Weise unverändert gefunden.

Natürlich kann man nur dann darauf rechnen, stets den nämlichen Werth für die Graduationsconstante zu erhalten, wenn man den Daniell genau immer in derselben Weise, namentlich also auch mit gleich concentrirten Flüssigkeiten zusammenstellt. Beim Wechseln der Flüssigkeiten ändert sich zwar die elektromotorische Kraft des Daniells nicht merklich, aber dessen innerer Widerstand erleidet Aenderungen von genügendem Betrage, um den Werth der Graduationsconstanten wesentlich zu beeinflussen.

Die elektromotorische Kraft der Nerven in der Ruhe.

Die ersten Versuche wurden an lebenden Kaninchen vorgenommen; und zwar wurde der N. ischiadicus tief unten durchgeschnitten, so hoch wie möglich frei präparirt und das noch mit dem Centralnervensysteme zusammenhängende Nervenstück mit Querschnitt und natürlicher Oberfläche den unpolarisirbaren Thonelektroden angelegt.

Auch dem lebenden Thiere frisch entnommene Nervenstücke habe ich auf ihre elektromotorische Kraft geprüft. Da sich ergab, dass bei Säugethieren der Strom gerade so wie beim Frosch nur äusserst langsam abnimmt, so begnügte ich mich in der Folge die Ischiadici durch Nackenstich oder Verblutung eben getödteten Thieren (Kaninchen, Hunden, Katzen, Pferden, Enten) zu entnehmen. An jedem Nerven wurden die beiden frischen Querschnitte folgwiese gegen den Aequator auf ihre elektromotorische Kraft geprüft, und jedesmal die grösste der beiden erhaltenen Zahlen notirt.¹ Ich bekam folgende Werthe:

Katze	0.018 D	Kaninchen	0.020 D
	0.017		0.022
Hund	0.018	Kaninchen	0.015
	0.024		0.022
Hund	0.021	Kaninchen	0.024
	0.020		0.025
Kaninchen	0.025		
	0.021	Ente	0.0240
Kaninchen	0.028		0.0268

Auch nach 24 Stunden geben frisch angelegte Querschnitte noch sehr starken Strom. Es gelang mir einmal nach 44 Stunden noch einen Werth von mehr als 0.01 Daniell an einem in feuchter Kammer bei niedriger Temperatur aufbewahrten Kaninchenerven zu bekommen. Die elektromotorische Kraft war also in diesem Falle nach zwei Tagen nur um etwa die Hälfte gesunken. Nach dreimal 24 Stunden fand ich gewöhnlich gar keinen Strom mehr; zuweilen war noch eine sehr unbedeutende, ja sogar in umgekehrter Richtung wirkende Kraft vorhanden. Hr. Israël hat bei seinen Versuchen ein viel rascheres Absterben constatirt. Meine Untersuchungen sind im Winter bei einer ziemlich niedrigen Zimmertemperatur angestellt.

¹ Wie Prof. du Bois-Reymond nach mündlicher Mittheilung selbst früher auch schon bemerkt hatte, trifft man den höheren Werth gewöhnlich am oberen, dem Centrum zugekehrten Querschnitt an.

Durch die Güte der HH. Professoren Munk und Möller konnte ich von der Thierarzneischule aus drei verbluteten Pferden einmal den N. vagus, zweimal den N. tibialis frisch bekommen. Die Nerven wurden rasch vor Verdunstung und Erkaltung geschützt nach dem physiologischen Institute gebracht, so dass sie schon nach 20 Minuten auf den Thonelektroden lagen. Merkwürdiger Weise gaben die grossen Pferdenerven nur äusserst niedrige Werthe: 0.004, 0.005, 0.006 und 0.007 eines Daniells, während Kaninchenerven, welche gleichzeitig in der Thierarzneischule präparirt und zusammen mit den Pferdenerven nach dem Institute gebracht wurden, die ganz normalen Werthe von 0.024 und 0.025 gaben.

Die elektromotorische Kraft der Nerven im Elektrotonus.

Die Versuche wurden genau nach den du Bois-Reymond'schen Vorschriften angestellt,¹ nur war kein Rheochord in den erregenden Kreis eingeschaltet. Die erregende Kette war eine sechsgliedrige Grove'sche Säule der kleineren Art.

Bei Kat- und Anelektrotonusversuchen zeigten Kaninchen- und Hundenerven dieselben Erscheinungen, wie sie von Prof. du Bois-Reymond bei seinen Versuchen am Froschischiadicus ausführlich geschildert worden sind, doch verdient bemerkt zu werden, dass er dabei noch keinen aperiodischen Magnete anwendete. Es ergab sich, dass auch mit solchem Magnete vom ersten Augenblicke an, wo die Beobachtung möglich wird, der katelektrotonische Strom sinkt um sich asymptotisch einer unteren Grenze zu nähern; dass dagegen der Anelektrotonusstrom von dem entsprechenden Augenblicke an wächst, mit ziemlicher Langsamkeit ein Maximum erreicht, und darauf albnählich wieder herabsinkt. Auch liegt das Maximum des Anelektrotonusstromes immer weit über den erstbeobachteten Werthen des Katelektrotonusstromes. Was die Grösse dieses ersten Stromes betrifft, so übertraf sie unter günstigen Umständen um das Mehrfache die des Stromes des ruhenden Nerven und betrug also einen erheblichen Bruchtheil eines Daniells.

Die Elektrotonuserscheinungen waren an Hunde- und Kaninchenischiadicus nach 24, bisweilen noch nach 48 Stunden ganz deutlich zu be-

¹ E. du Bois-Reymond, *Gesammelte Abhandlungen* u. s. w. Bd. II. S. 251.

obachten. Es wurde niemals versäumt, den Versuch nach Durchschneidung oder Unterbindung des Nerven zu wiederholen, um jede Täuschung durch Stromschleifen auszuschliessen.

Die negative Schwankung des Nervenstromes.

Der Bussolmagnet war bei diesen Versuchen mittels des Haüy'schen Stabes überaperiodisch ($\epsilon > n$) gemacht. Zum Tetanisiren der Nerven dienten Thonelektroden, welche mittels eines eingeschalteten Stromwenders und eines Vorreiberschlüssels als Nebenschliessung mit der secundären Rolle des du Bois-Reymond'schen Schlitteninductoriums verbunden waren (1 Daniell, Helmholtz'sche Anordnung). Auf diese Weise ist negative Schwankung an frischen Hunde- und Kaninchenerven leicht und ausnahmslos zu beobachten. Nach Unterbindung oder Durchschneidung zwischen Reiz- und Ableitungsstrecke bleibt die Schwankung aus. Sie verschwindet viel frühzeitiger als die elektrotonischen und sonstigen Stromerscheinungen, wie dies beim Frosche ja auch der Fall ist. Aber man bekommt doch noch sehr deutlich negative Schwankung an Nerven, welche bereits seit 5, 10 und mehr Stunden ausgeschnitten sind. Selbst noch nach 24 Stunden habe ich sie einmal aufgefunden.

Der Betrag der negativen Schwankung war jedoch immer nur ein sehr niedriger. Wenn zum Beispiel dem Nervenstrome eine Ablenkung von 200^{se} entsprach, so vermochten stärkste tetanisirende Erregungen nur eine negative Ablenkung von 10—12^{se} zu bewirken, also nicht mehr als $\frac{1}{20}$ der positiven Ablenkung. Beim Frosch erhält man bei gleicher Stromdichte ein wesentlich grösseres Verhältniss.

Versuche, um mittels chemischer (Na Cl), mechanischer (Tetanomotor), thermischer (Annäherung glühender Metalldrähte) Reize negative Schwankung zu erzielen, misslangen vollkommen. Auch solche Versuche gaben keine entscheidenden Resultate, welche zum Zweck hatten, am lebenden Kaninchen negative Schwankung durch natürliche Erregung zu bewirken. Weder Krämpfe durch Strychninvergiftung, noch heftige allgemeine Zuckungen als Schmerzensäusserung beim Tetanisiren des anderen Ischiadicus, wobei allem Vermuthen nach auch in dem den Elektroden aufliegenden Ischiadicus starke Innervation stattfand, liessen mit Sicherheit das Vorhandensein einer negativen Schwankung erkennen.

Die Pferdenerven gaben trotz ihrer geringen elektromotorischen Kraft ganz deutlich negative Schwankung.

Im Vergleiche zu dem niedrigen Werthe der Pferdenervenstromkraft ist es ganz auffallend, eine wie hohe elektromotorische Kraft Nerven des Hummers (*Astacus marinus*) besitzen. An den zwei Scheerenerven eines Hummers fand ich die Werthe 0·048 und 0·042 D, also nur wenig schwächere als sie im Mittel bei Froschmuskeln angetroffen werden. Der Thon der unpolarisirbaren Elektroden war aus Gründen, die ich anderswo mitzuthellen gedenke, bei diesem Versuche mit 2procentiger Kochsalzlösung getränkt.

Es bleibt mir die angenehme Pflicht übrig, Hrn. Prof. du Bois-Reymond meinen innigsten Dank auszusprechen für die liberale Weise, in der er mir alle Mittel des physiologischen Institutes zu Gebote stellte, und für die freundliche Unterstützung, die ich stets bei ihm fand.

Es sei mir auch gestattet Hrn. Dr. Christiani meine Erkenntlichkeit zu bezeugen, der mich mit den elektrophysiologischen Methoden vertraut machte und mir bei meinen Versuchen mit Rath und That auf die lebenswürdigste Weise zur Seite stand.

Im Vergleiche zu dem niedrigen Werthe der Pferdenervenstromkraft ist es ganz auffallend, eine wie hohe elektromotorische Kraft Nerven des Hummers (*Astacus marinus*) besitzen. An den zwei Scheerenerven eines Hummers fand ich die Werthe 0·048 und 0·042 D, also nur wenig schwächere als sie im Mittel bei Frostmuskeln angetroffen werden. Der Thon der unpolarisirbaren Elektroden war aus Gründen, die ich anderswo mitzutheilen gedenke, bei diesem Versuche mit 2procentiger Kochsalzlösung getränkt.

Es bleibt mir die angenehme Pflicht übrig, Hrn. Prof. du Bois-Reymond meinen innigsten Dank auszusprechen für die liberale Weise, in der er mir alle Mittel des physiologischen Institutes zu Gebote stellte, und für die freundliche Unterstützung, die ich stets bei ihm fand.

Es sei mir auch gestattet Hrn. Dr. Christiani meine Erkenntlichkeit zu bezeugen, der mich mit den electrophysiologischen Methoden vertraut machte und mir bei meinen Versuchen mit Rath und That auf die lebenswürdigste Weise zur Seite stand.
