(Aus dem physiologischen Institut in Göttingen.)

Fortgesetzte Untersuchungen über die elektrischen Erscheinungen am thätigen Nerven.

Von

Dr. Heinrich Boruttau,
Assistenten und Privatdozenten.

Mit 2 Holzschnitten.

Nachdem die in einer früheren Mittheilung¹⁾ von mir veröffentlichten Versuche an Nerven und Kernleitern zu dem Ergebniss geführt hatten, dass sich alle unter der Wirkung erregender Einflüsse am Nerven auftretenden elektrischen Erscheinungen aus seiner Natur als Kernleiter erklären lassen, erwies es sich als nothwendig, einige der an betreffender Stelle im Zusammenhang dargestellten Einzelresultate durch ergänzende Versuche zu vervollständigen, sowie auch einigen neuen Fragen der Nervenphysiologie durch geeignete Experimente näher zu treten.

Die Grunderscheinungen, auf welchen das erwähnte Gesamtergebniss fusst, nämlich das Auftreten einer Negativität der proximalen Ableitungselektrode bei extrapolarer Ableitung eines Kernleiters, welchem kongruente Wechselströme zugeführt werden, und die durch die Versuche am Rheotom ermöglichte Zurückführung dieser Erscheinung auf den von der Kathode aus wellenförmig sich fortpflanzenden Katelektrotonus wurden erhalten an Kernleitern aus zwei Elektrolyten, sowie an dem aus Platindraht in verdünnter Kochsalzlösung bestehenden Kernleiter. Von allen Metallen, welche zur Herstellung des Kernes bisher verwendet wurden, zeigte nur das Platin dieses wichtige, den Grund zu unsern weiteren Versuchen und Folgerungen bildende Verhalten. Die andern Metalle, von denen früher die Rede war, nämlich Aluminium, Nickel und

1) Pflüger's Archiv, LVIII, S. 1 ff.

Quecksilber, stets mit 0,6% Kochsalzlösung als Hülle versehen, ergaben bei Zuführung von Wechselströmen, unter allen Bedingungen, extrapolar abgeleitet, nur Positivität der proximalen Elektrode, welche sich als Ueberwiegen des Anelektronus leicht erklärt. Eine weitergehende Heranziehung noch anderer Metalle erschien bei der Wichtigkeit des Gegenstandes um so mehr geboten, als, wie früher schon hervorgehoben wurde, eine physikalische Erklärung des Wesens der in Rede stehenden Erscheinungen noch fehlt, das Platin aber gerade unter sämtlichen Metallen hinsichtlich gewisser physikalischer Eigenschaften besonders ausgezeichnet ist. Die in dieser Richtung unternommenen Versuche ergaben nun zunächst, dass auch das Kupfer sich wie Aluminium, Nickel und Quecksilber verhält, d. h. stets das Ueberwiegen der Anodenpolarisation zeigt, und zwar unabhängig davon, ob die Oberfläche des Drahtes noch ganz blank, oder bereits mehr oder weniger oxidiert ist. Dass die Oxidationsfähigkeit in feuchter Luft oder in indifferenten Flüssigkeiten für die in Rede stehenden Wirkungen nicht von Belang ist, zeigte sich weiterhin dadurch, dass auch Kernleiter aus chemisch reinem Silber- und Golddraht — von 1 mm Dicke und 30 cm Länge — ebenfalls das Verhalten der andern genannten Metalle im Gegensatz zum Platin zeigten, obwohl Gold und Silber als sog. Edelmetalle mit diesem letzteren die geringe Neigung zur Oxidation theilen.

Von allen bis jetzt von uns verwendeten Metallen ist es nur ein zweites Element der Platingruppe, welches dasselbe Verhalten zeigt wie das Platin, nämlich das Palladium. Ein Kernleiter aus Palladiumdraht von 1 mm Dicke und 30 cm Länge in 0,6% Kochsalzlösung ergab in allen Versuchen dasselbe, quantitativ hinsichtlich der negativen Ausschläge noch etwas mehr ausgesprochene Verhalten, wie Kernleiter aus Platindraht in 0,6% Kochsalzlösung. Hinsichtlich der Einzelergebnisse kann ich mich darum einfach auf das früher mitgetheilte beziehen.

Wenn man daran denken wollte, das hier in Rede stehende qualitativ besondere Verhalten der beiden Platinmetalle gegenüber den geprüften Repräsentanten der übrigen Metalle in Verbindung zu bringen mit der Eigenschaft jener, Gase auf ihrer Oberfläche zu verdichten, so muss man sich doch daran erinnern, dass auch andere Metalle, namentlich andere Edelmetalle, besonders Gold, diese Eigenschaft, wenn auch in geringerem Grade, ebenfalls be-

sitzen. Uebrigens ist ein besonderes Verhalten von Platinelektroden bei der Elektrolyse mit Wechselströmen bereits festgestellt und theoretisch untersucht¹⁾. Jedenfalls wird hierauf auch die rein physikalische Untersuchung der vorliegenden Thatsachen Rücksicht nehmen müssen²⁾.

Die Analogie nun zwischen diesen Kernleitern aus Platin und Palladium in 0,6 % Kochsalzlösung, sowie den aus zwei Elektrolyten bestehenden Kernleitern einerseits und dem Nerven andererseits bei erregenden elektrischen Einwirkungen (Intensitätsschwankungen, „Stromstößen“) hatte sich im vollsten Masse gezeigt bei der an Kernleitern ausgeführten künstlichen Reproduktion der von Hermann als „phasische Aktionsströme“ des Nerven bezeichneten Erscheinungen, d. h. also der wellenförmigen Fortpflanzung einer galvanischen — negativen — Phase von der durchströmten bzw. gereizten Strecke aus auf weite Entfernungen hin mit messbarer Geschwindigkeit und mit, im Verhältnis zu dem Verhalten der „festen Polarisierung“ durch den konstanten Strom geringem, mit zunehmender Entfernung abnehmendem (am „stromlosen“ Nerven ganz fehlenden) Dekrement.

Das Objekt der Versuche, welche zu diesen Ergebnissen führten, waren Glasröhrenkernleiter bis zu 1 m Länge und — für Kernleiter aus zwei Elektrolyten — Thonpfeifenröhren bis zu 60 cm Länge. Um indessen die Analogie mit dem Nerven auch hinsichtlich der im Verhältniss zu ihrer Dicke beträchtlichen Länge der Nervenfasern zu vervollständigen, hielten wir die Wiederholung der Versuche an noch viel längeren Modellen für wünschenswerth.

1) Hopkinson, Wilson u. Lydall, Proceedings of the Roy. Society, LIV.

2) Hier glaube ich auch daran erinnern zu sollen, dass Bernstein gelegentlich der Darstellung seiner „Theorie der Nerven- und Muskelerregung“ (Untersuchungen aus dem physiolog. Inst. in Halle, 1888, I.) den Nerven mit einem mit Sauerstoff beladenen, von Flüssigkeit umgebenen Platindraht verglichen hat, wobei er allerdings die Anordnung als Kernleiter nur zur Erklärung der elektrotonischen Ströme annimmt, während er für die Erregung und die mit ihr verbundenen elektrischen Erscheinungen eine elektro-chemische Modifikation von du Bois-Reymond's Molekulartheorie aufstellt, und zwar auf Grund der von Hoppe-Seyler, Pflüger und Ehrlich entwickelten Theorie der intramolekularen Oxidation (sogen. Ferment- oder Sprengstoff-Theorie) und einer willkürlichen Annahme elektrischer Ladungen und räumlicher Anordnungen der Atome.

Es wurde daher mit Hilfe längerer, geeignet verbundener Glasröhren ein Kernleiter aus 0,3 mm dünnem Platindraht in 0,6 % Kochsalzlösung hergestellt von solcher Länge, dass der Abstand zwischen durchströmter und abgeleiteter Strecke auf vier Meter gesteigert werden konnte, bei einer Gesamtdicke (gleich dem Lumen der Röhre) von 4 mm. Ueber die an demselben erhaltenen Ergebnisse ist im allgemeinen zu sagen, dass auch auf diese recht bedeutende Entfernung hin die wellenförmige Fortpflanzung der Negativität höchst deutlich zu beobachten war, ferner aber, dass eben auch nur diese Erscheinungsform der extrapolaren Wirkung sich auf solche Entfernung hin fortpflanzte, wodurch die Analogie zum Nerven thatsächlich einwandsfrei wird. Wurde nämlich durch die Strecke *rr* (s. untenstehendes Schema) ein konstanter Strom

geschickt, so zeigte sich während der Dauer desselben von der Strecke *ab* bei einem Abstände $ra = 4$ m keine mit Sicherheit nachzuweisende Wirkung auf das Galvanometer oder Kapillarelektrometer, insbesondere auf der Anodenseite kein positiver Ausschlag oder anelektrotonischer Strom, auch nicht bei hochgesteigerter Astasie der empfindlichen Busssole, und auch dann nicht, wenn durch möglichste Wegräumung aller Widerstände und Steigerung der Elementenzahl die Stromintensität bis zu starker Gasentwicklung in der Hüllenflüssigkeit zwischen Platindraht und zuleitenden Elektroden gesteigert wurde. Dagegen war im Moment des Schlusses auf der Kathodenseite und demjenigen der Oeffnung auf der Anodenseite ein, wenn auch geringfügiger, kurzdauernder Ausschlag im Sinne einer Negativität der proximalen Elektrode sichtbar. Bedeutend ansehnlicher zeigte sich ein solcher momentaner negativer Ausschlag, als einzelne Induktionsschläge des Induktoriums, sei es „gewöhnliche“, sei es „nivellierte“ mittels Schlüssels durch die Strecke *rr* geführt wurden: Ganz unabhängig von ihrer Richtung entsprach jedem ein kurzer negativer Ausschlag. Wurden Wechselströme durch *rr* geführt, so zeigte sich eine Negativität von *a*, welche so lange dauerte, wie jene „Tetanisierung“.

Wie beim Nerven, so auch beim langen Kernleiter wird die „feste Polarisierung“ durch die dem polarisierenden Strom gleich

gerichteten elektrotonischen Ströme auf grössere Entfernungen, d. h. im Verhältniss zur Dicke lange Strecken, nicht mehr angezeigt. Dagegen folgt auf Dasjenige, was den Nerven zu erregen im Stande ist, nämlich die elektrische Intensitätsschwankung, sei es nun durch Schliessung oder Oeffnung eines konstanten Stroms, oder durch einen Induktionsschlag, eine einzelne „negative Schwankung“, ein „Aktionsstrom“; und hierin ist der Kernleiter sogar dem Nerven voraus, insofern die negative Schwankung bei der elektrischen Einzelreizung am Nerven wenigstens nicht ganz sicher¹⁾ beobachtet worden ist.

Dass die in Rede stehende Wirkung von der (jeweiligen) Kathode der durchströmten Strecke ausgeht, kann nach der an anderer Stelle bereits gegebenen Entwicklung nicht in Frage gestellt werden. Was die Anode betrifft, so pflanzt sich offenbar deren Wirkung nicht nur, wie bereits dargethan, langsamer fort, sondern es geht ihr auch überhaupt die Fähigkeit ab, sich auf so weite Entfernungen hin fortzupflanzen.

Dies zeigt sich auch in Versuchen mit den Wechselströmen des Schlitteninduktoriums. Während bei geringem Abstände ra zwischen durchflossener und abgeleiteter Strecke mit zunehmender elektromotorischer Kraft der Induktion (durch Annähern der Rollen), erst Negativität, dann ein Wendepunkt, dann Positivität der proximalen Elektrode durch Ueberwiegen des Anelektrotonus auftritt, so rückt der Wendepunkt bei zunehmendem Abstände ra auf immer kleineren Rollenabstand hinaus, wie schon a. a. O. erwähnt ist, und bei dem Abstände von vier Metern nun zeigt sich weder Wendepunkt noch Positivität: Wechselströme erzeugen immer nur Negativität der proximalen Elektrode.

Auch die Analyse durch das Differentialrheotom führte zu dem Ergebniss, dass auf solche Entfernungen hin nur noch eine „Negativitätswelle“ sich fortpflanzt. Hierbei ist es gleichgültig für das Ergebniss, ob durch die Strecke rr mittelst des Rheotoms kurze, frequente Kettenströme oder die Doppelinduktionsschläge des Schlitteninduktoriums geleitet werden: in beiden Fällen zeigt sich die in zwei Phasen

1) Hierüber vergl. einerseits: v. Bezold und Hirt, Arbeiten aus dem Würzburger physiolog. Institut, I 1867, S. 143, andererseits Fick und Böhm, ibid., 1873, S. 202, sowie Verhandl. d. W. med.-phys. Ges.

über die abgeleitete Strecke hinlaufende Negativitätswelle, durch welche die proximale Elektrode *a* gegen die distale erst negativ, dann positiv ist. Qualitative und quantitative Eigenschaften der Welle, sowie ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit sind die gleichen in beiden Fällen, so dass man bei einer und derselben Schieberstellung des Rheotoms abwechselnd die polarisierende Kette und das Induktorium mit seinen Betriebselementen in den „Reizkreis“ einschalten kann und dabei stets denselben Ausschlag der Bussole erhält. Die Höhe der beiden Phasen (die Grösse der maximalen negativen und positiven Ausschläge) ist bei diesem Abstände zwischen beiden Strecken nahezu die gleiche; ein Zeichen dafür, dass das „Dekrement“ nur noch sehr gering ist. Die an diesem 4,5 m langen Kernleiter gefundene Geschwindigkeit der Fortpflanzung stimmt vorzüglich mit der an den kürzeren Kernleitern erhaltenen¹⁾ überein, wie aus der nachfolgenden Versuchstabelle zu ersehen ist. Eine Variation der Temperatur der Kochsalzlösung wurde aus begrifflichen Gründen hier nicht versucht²⁾.

I.

Rheotomversuch an einem 4,5 m langen Kernleiter aus dünnem Platindraht in 0,6 % Kochsalzlösung. (Induktionsströme oder Kettenströme mit gleichem Resultat.)

$rr = 8$ cm Rheotom-Tourenzahl = 20.

$ab = 20$ cm 1 Theilstr. = 0,0005 Sec.

$ra = 390$ cm Kontaktzeit von 96 bis 99,5.

Eintritt der negativen Phase bei 48, Dauer bis 65

„ „ positiven „ „ 65, „ „ 83.

Fortpflanzungszeit von 96 bis 48 = 52 Theilstriche, oder 0,026 Sec. für den Weg von 390 cm, entspricht einer Geschwindigkeit von 150 m.

Nachdem die soeben geschilderten Versuche die ausschliessliche Fähigkeit der katelektrotonischen Welle, sich auf sehr weite Entfernungen hin fortzupflanzen, sicher bewiesen haben, nachdem andererseits aber ein wellenförmiger Ablauf auch des Anelektroto-

1) a. a. O., S. 54, 55.

2) Das letztere gilt auch für die Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit aus der Differenz der Maxima beider Phasen und der Länge der abgeleiteten Strecke, wie hier nachträglich erwähnt sei. Auch Hermann erwähnt die Unsicherheit dieser Methode für den Nerven, welche bei dem flachen Verlauf der Phasen am Kernleiter eben zur Unmöglichkeit wird.

nus sowohl bereits aus Hermanns, wie auch aus meinen Versuchen sich ergeben hatte, blieb noch die Aufgabe, das Verhalten der nicht zur Platingruppe gehörigen Metalle — welche als Kernleiter mit Hülle aus 0,6% Kochsalzlösung, von Wechselströmen durchflossen, unter allen Umständen das Ueberwiegen der Anodenpolarisation zeigen — gleichfalls mit dem Rheotom zu prüfen. Die Anwendung kurzer Kettenströme ergab hier (bei mässigem Abstände beider Strecken) durchaus ähnliche Stromverlaufskurven, wie bei den aus Platindraht gefertigten Kernleitern. Die Anwendung der Induktionsströme dagegen liess, wie zu erwarten war, das Ablaufen einer „Positivitätswelle“ über die abgeleitete Strecke *ab* erkennen, derart, dass die proximale Elektrode *a* gegen die distale *b* erst positiv, dann negativ ist. Der Höhenunterschied beider Phasen ist ein beträchtlicher, das Dekrement also bedeutend, woraus mittelbar die Unfähigkeit folgt, sich auf besonders weite Strecken hin fortzupflanzen. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist beiläufig halb so gross, wie diejenige der am Platinleiter auftretenden negativen Welle. Die genaueren Daten sind aus der folgenden Versuchstabelle ersichtlich.

II.

Rheotomversuch an einem Kernleiter aus Aluminiumdraht in 0,6% Kochsalzlösung. Induktionsströme.

rr = 20 mm Rheotom-Tourenzahl = 20.

ab = 60 mm

ra = 330 mm Kontaktzeit von 92,5 bis 98.

Erste Phase positiv, Eintritt bei 1,5, Dauer bis 7,5

Zweite Phase negativ „ „ 7,5 „ „ 15,0.

Fortpflanzungszeit von 92,5 bis 1,5 = 9 Theilstriche, oder 0,0045 Sec. für den Weg von 33 cm; entspricht einer Geschwindigkeit von $73\frac{1}{3}$ m.

Obgleich ich auf das Fehlen einer aus den bis jetzt bekannten Thatsachen der Physik möglichen Erklärung der in Rede stehenden wellenförmig verlaufenden elektrischen Erscheinungen bereits an anderer Stelle hingewiesen habe, glaube ich doch hier noch ausdrücklich daran erinnern zu sollen, dass bereits Hermann¹⁾ anlässlich der ersten Beobachtung solcher Erscheinungen ausdrücklich hervorgehoben hat, dass das einfache, zunächst für „feste Po-

1) Pflügers Arch., XXXV, S. 19.

larisation“ aufgestellte Schema und die Vorstellung von der Stromfädenausbreitung weder für die von ihm beobachteten Erscheinungen, noch für das Entstehen der Polarisation, noch endlich für eine Theorie der Nervenerrregung ausreiche, dass aber die Möglichkeit der Entstehung von Wellenerscheinungen durch galvanische Polarisation sich dereinst noch vielleicht werde exakt nachweisen lassen. Ich glaube, dass dieser Gegenstand chemisch-physikalischer Forschung gerade in dieser Zeit um so grösseres Interesse verdient, da durch die Arbeiten von Hertz die wellenförmige Fortpflanzung der Elektrizität durch den gaserfüllten Raum und längs der Oberfläche von Leitern nachgewiesen und damit der Forschung ein ganz neues Gebiet eröffnet ist. Auch in rein physiologischer Hinsicht dürfte es von besonderer Wichtigkeit sein, zu prüfen, ob und inwieweit die wellenartige Fortpflanzung der extrapolarären elektrischen Erscheinungen am Kernleiter bez. Nerven an das thatsächliche Eintreten von Elektrolyse, und sei es nur im geringsten Masse sich knüpft und infolge davon von bleibenden chemischen Veränderungen begleitet ist, oder nur auf einem von der Elektrolyse selbst noch zu unterscheidenden, derselben voraufgehenden Polarisationsvorgang beruht.

Da indessen dies der Zukunft zu überlassen sein wird, so sollen jetzt noch einige Versuche beschrieben werden, welche die Auffassung des Nerven als Kernleiter noch weiter rechtfertigen. Das Verhalten eines verzweigten, durch den konstanten Strom polarisirten Kernleiters hat bereits Hermann geprüft, und dabei gefunden, dass in jedem Zweige die Wirkung schwächer, im Stamm hinter der Verzweigung aber verstärkt ist. Nach den von mir in dieser Richtung angestellten Versuchen kann ich mittheilen, dass für die Wirkungen der Stromstösse und Wechselströme dasselbe gilt. Die negativen Ausschläge, bez. die durch das Rheotom zu erhaltende Negativitätswelle zeigen sich an jedem der Zweige deutlich, wenn auch quantitativ geschwächt. Wichtiger als die Verzweigungsversuche sind solche, in denen zwei Kernleiter streckenweise einander anliegen, an beiden Enden divergiren, und an denen die Wirkung der durch eine Strecke am freien Ende des einen geleiteten elektrischen Applikationen auf den andern Kernleiter geprüft wird. Knüpft sich doch hieran die experimentelle Frage der sekundären Zuckung vom Nerven aus, sowie allgemein die Frage von fundamentaler Wich-

tigkeit, worauf die isolirte Leitung in den einzelnen Nervenfasern beruht. Versuche, in welchen ein natürlicher Kernleiter, nämlich ein Froschnerv, auf eine gewisse Strecke einem künstlichen Kernleiter — Metalldraht mit feuchter Hülle nach *Matteucci* — angelegt wurde, hat bereits *Schiff* in Jahre 1868¹⁾ angestellt; er erhielt bei Polarisirung des (künstlichen) Kernleiters durch einen konstanten Strom an dem angelegten Nerven die nämlichen Resultate, wenigstens in physiologischer Hinsicht, wie wenn statt des (künstlichen) Kernleiters ein zweiter Nerv verwendet worden wäre, — Erscheinungen, welche als sog. sekundärer Elektrotonus schon lange bekannt sind²⁾. Es bildet nämlich der angelegte Nerv mit der anliegenden Strecke einen Schliessungsbogen für den elektrotonischen Strom des andern Nerven oder — in *Schiff's* Versuchen — des Kernleiters, welcher natürlich im „sekundären“ Leiter die umgekehrte Richtung hat. Die Durchströmung durch diesen elektrotonischen Strom erzeugt nun extrapolar wieder Elektrotonus in dem angelegten Nerven, welchen *Schiff* in seinen Kernleiterversuchen durch die Erregbarkeitsänderungen, sowie durch die beim Entstehen und Verschwinden nach *Pflüger's* Gesetz in der mit dem Nerven in Verbindung gelassenen Muskulatur auftretenden Zuckungen nachwies. In den Versuchen mit zwei Nerven ist der sekundäre Elektrotonus auch physikalisch, in Gestalt der „sekundären elektrotonischen Ströme“ nachgewiesen, welche selbstredend auch die umgekehrte Richtung haben von derjenigen im primär polarisirten Nerven.

Ich ging nun in meinen mit zwei (künstlichen) Kernleitern anzustellenden Versuchen gleichfalls von der Wirkung des konstanten Stromes aus und erhielt, ganz nach Erwarten, entsprechend dem Verhalten zweier Nerven, auf's schönste und deutlichste die „sekundären elektrotonischen Ströme“, welche dem Verlaufe des „primären“ in seinem Kernleiter, somit dem Verlaufe des Kettenstroms entgegengesetzt gerichtet sind. Diese Versuche und ihre Ergebnisse sind in Folgendem schematisch verdeutlicht, wozu noch zu bemerken ist, dass der eine Kernleiter stets ein mit

1) *Nuovo Cimento*, apr. 1868; *Gesamm. Abhandl. I.*, S. 553 f.

2) *du Bois-Reymond, Moleschott*; vergl. hierüber *Hermann, Handb. II.*, S. 160 f.

in 0,6% Kochsalzlösung getränkter Baumwolle umspinnener Draht war, dessen beide Enden im stumpfen Winkel abgebogen waren, während das Mittelstück dem andern, geraden Kernleiter anlag; dieser letztere war nach Bedarf als umspinnener Draht oder als Röhrenkernleiter hergerichtet. Es sind nun r r' bez. q q' die durchströmten, a b bez. α β die abgeleiteten Strecken des einen oder andern Kernleiters. So lange nun die Entfernungen r_1 a , r_1 α , q_1 a , q_1 α mässig gross und von einander nicht wesentlich verschieden bleiben, folgen die primären und sekundären elektrotonischen Ströme folgendem Schema, wobei die Stromrichtung in der durchströmten Strecke, sowie das Verhalten der proximalen Ableitungselektrode in früher schon angewendeter Weise bezeichnet ist:

$r \rightarrow r_1$	$a -$	$\alpha +$
$r \leftarrow r_1$	$a +$	$\alpha -$
$q \rightarrow q_1$	$\alpha -$	$a +$
$q \leftarrow q_1$	$\alpha +$	$a -$

Ein im allgemeinen dem entsprechendes Verhalten fand sich nun auch bei Anwendung von frequenten Wechselströmen: immer hatten die sekundären Erscheinungen die den primären entgegengesetzte Richtung, so dass also bei Anwendung des Schlitteninduktoriums mit gewöhnlichem Hammerspiel — am primären Kernleiter, wie bekannt, mit abnehmendem Rollenabstand erst negatives Verhalten der proximalen Elektrode, dann Wendepunkt, dann positives Verhalten sich zeigt, dagegen am sekundären Kernleiter erst positives, dann Wendepunkt, dann negatives Verhalten:

$$r \begin{matrix} \rightarrow \\ \leftarrow \end{matrix} r^1: \left\{ \begin{array}{c|c} a - & \alpha + \\ a 0 & \alpha 0 \\ a + & \alpha - \end{array} \right.$$

$$e \begin{matrix} \rightarrow \\ \leftarrow \end{matrix} e^1: \left\{ \begin{array}{c|c} \alpha - & a + \\ \alpha 0 & a 0 \\ \alpha + & a - \end{array} \right.$$

Die Anwendung der Helmholtz'schen Einrichtung ergab:

$$r \begin{matrix} \rightarrow \\ \leftarrow \end{matrix} r^1: \left\{ \begin{array}{c|c} a - & \alpha + \\ a 0 & \alpha 0 \end{array} \right.$$

$$e \begin{matrix} \rightarrow \\ \leftarrow \end{matrix} e^1: \left\{ \begin{array}{c|c} \alpha - & a + \\ \alpha 0 & a 0 \end{array} \right.$$

und diejenige des Sinusinduktors:

$$r \begin{matrix} \rightarrow \\ \leftarrow \end{matrix} r^1: a - \quad \alpha +$$

$$e \begin{matrix} \rightarrow \\ \leftarrow \end{matrix} e^1: \alpha - \quad a +$$

Indessen fällt bei Anwendung der Wechselströme auf, dass die im sekundären Kernleiter erzeugte Positivität der proximalen Elektrode im Verhältniss zu der Negativität am primären Kernleiter schwach ist. Sie bleibt ganz aus, wenn der sekundäre, oder beide Kernleiter sehr lang genommen werden, so dass der Abstand der abgeleiteten von der durchströmten Strecke nun ebenfalls gross ist, wie in folgendem Versuch:

Schlitteninduktorium:

$$r \begin{matrix} \rightarrow \\ \leftarrow \end{matrix} r^1 \left\{ \begin{array}{c|c} a - & \alpha + \\ a 0 & \alpha 0 \end{array} \right.$$

$$e \begin{matrix} \rightarrow \\ \leftarrow \end{matrix} e^1 \left\{ \begin{array}{c|c} \alpha - & a 0 \\ \alpha 0 & a 0 \\ \alpha + & a - \end{array} \right.$$

Sinusinduktor:

$$\begin{array}{l} q \rightarrow q^1 \quad a - \quad a \quad 0 \\ r \rightarrow r^1 \quad a - \quad a \quad + \text{ schwach.} \end{array}$$

Das Ablaufen katelektrotonischer Wellen an einem Kernleiter kann somit an einem andern, ihm anliegenden Kernleiter keine galvanischen Erscheinungen auf grössere Entfernungen hin veranlassen, während das Ueberwiegen des (kräftigen) Anelektrotonus an dem ersteren zur Entstehung von Negativitätswellen am sekundären Kernleiter die Ursache werden kann. Dieses Verhalten entspricht aber durchaus der für den Nerven sicher bewiesenen Thatsache, dass die sog. „sekundäre Zuckung vom Nerven aus“, ebenso der „sekundäre Tetanus vom Nerven aus“ auf den Elektrotonus (wir dürfen jetzt sagen den anelektrotonischen Strom), nicht auf die negative Schwankung zurückzuführen ist, besondere Fälle ausgenommen, in welchen unter besonderen Erregbarkeitsverhältnissen (Kaltfrösche Hering's) und wahrscheinlich auch bei geringer Grösse der in Betracht kommenden Abstände angeblich „echte“ sekundäre Zuckung vom Nerven aus, d. h. veranlasst durch die negative Stromesschwankung des primären Nerven, erhalten wurde.

Das Ergebniss meiner Versuche mit zwei Kernleitern scheint mir aber sogar geeignet, eine recht plausible Erklärung der isolirten Nervenleitung in den einzelnen Fasern anzubahnen, insofern es berechtigt erscheint, das Wesen der Nervenleitung mit der Fortpflanzung einer galvanischen Phase zu identifiziren, welche Berechtigung am Schlusse der vorigen Veröffentlichung bereits im bejahenden Sinne besprochen wurde, und sogleich nochmals geprüft werden wird.

Ich habe noch hinzuzufügen, dass die Verwendung eines Bündels von Kernleitern — als Ganzes, ohne Abbiegung oder Abzweigungen — dieselben Resultate ergibt, wie man sie an einem einzelnen Kernleiter erhält, nur noch quantitativ verstärkt.

Endlich habe ich auch noch alle wichtigen Versuche, unter andern die Beobachtung der Negativitätswelle mit dem Rheotom am Platindrahtkernleiter von 4,5 m Länge, wiederholt unter Anwendung von Röhrenelektroden mit amalgamirtem Zink in Zinksulfatlösung und zugespitzten Präpfen

aus Papiermasse, befeuchtet mit 0,6 % Kochsalzlösung — an Stelle der d'Arsonval'schen Chlorsilberelektroden: auch jetzt, mit diesen Elektroden geprüft, blieben alle Erscheinungen die gleichen, so dass auch in dieser Beziehung etwaige Bedenken und Einwände beseitigt erscheinen.

Hinsichtlich der Berechtigung, das Wesen der Nervenleitung auf die Kernleiter-Eigenschaft der Nervenfasern zurückzuführen, glaube ich noch folgendes bemerken zu sollen: Macht man die Annahme, dass die mit dem einen oder andern Ende einer peripherischen Nervenfaser verbundenen Erfolgsorgane auf die infolge des irgend eine Stelle der Faser treffenden, zunächst elektrischen „Reizes“ sich in ihr, als Kernleitergebilde, fortpflanzende extrapolare galvanische Veränderung — Negativitätswelle — je nach ihrem Bau und ihrer Beschaffenheit in analoger Weise reagiren, wie die mit Kernleiter oder Nerv an entfernter Stelle in Verbindung gebrachten Strom- oder Spannungsanzeiger — Galvanometer, Kapillarelektrometer — als gewissermassen „künstliche Erfolgsorgane“: so würde die durch die elektrische Reizung bewirkte „Thätigkeit“ oder „Aktion“ der Nervenfaser in Nichts anderm gesucht zu werden brauchen, als eben in diesem ihr als Kernleiter zukommenden extrapolaren galvanischen Vorgang. Die nähere Begründung dieses Satzes erscheint sowohl durch länger bekannte Thatsachen, als auch durch die zahlreichen in meiner früheren und der vorliegenden Mittheilung enthaltenen Versuchsergebnisse hinlänglich gesichert.

Was nun die durch nicht elektrische, zunächst ebenfalls inadäquate Einwirkungen hervorgerufene „Thätigkeit“ der Nervenfasern betrifft, so erscheint die Möglichkeit des Schlusses, dass, wie zu fordern ist, auch hierbei wieder nur jene von der gereizten Stelle aus auf Grund der Kernleiternatur der Faser sich fortpflanzende galvanische Veränderung das Wesen der „Thätigkeit“ ausmache, dadurch angebahnt, dass, wie früher mitgetheilt, ein künstlicher Kernleiter ebenfalls auf eine an beschränkter Stelle ihn treffende, zunächst rein mechanische Einwirkung — Durchbruch oder Durchschneidung — dieselbe von dieser Stelle aus sich fortpflanzende galvanische Erscheinung zeigt, wie sie durch eine elektrische Einwirkung in Gang gesetzt wird. Denn mag auch der beim Durchbrechen des künstlichen Kernleiters an

Ort und Stelle erzeugte Vorgang seinem Wesen nach völlig verschieden sein von demjenigen, welchen Schnitt oder Druck an der getroffenen Stelle des Nerven bewirkt, mag es z. B. am Drahtkernleiter sich um Benetzen, „Eintauchen“ einer frischen Metallbruchfläche handeln, so bleibt doch das hier offenbar allein den Ausschlag gebende Moment bestehen, dass in beiden Gebilden, Kernleiter und Nerv, die lokale, zunächst nicht elektrische Einwirkung, der „Reiz“, jenen „extrapolar“ sich fortpflanzenden Prozess bewirkt, durch welchen an ferner Stelle angebrachte Erfolgsorgane beeinflusst werden können. Hervorzuheben ist allerdings, dass bis jetzt nur diese eine, einem nichtelektrischen Nervenreize entsprechende Behandlung des künstlichen Kernleiters, nämlich der der Durchschneidung entsprechende Durchbruch, untersucht wurde, und dass hier weitere Versuche, namentlich an geeigneten nicht metallischen Kernleitern, nothwendig sind. Wenn es sich dann herausgestellt haben wird, dass bei jeder Art, die „Thätigkeit“ des Nerven auf i n a d ä q u a t e Weise hervorzurufen, die Kernleiter-Eigenschaft, und nur diese, in Frage zu kommen braucht, so wird alsdann über das Wesen auch des auf a d ä q u a t e Weise in Gang gesetzten Nervenprozesses kein Zweifel bestehen können, insofern derselbe ja durch die gleiche galvanische Wirkung wie der auf inadäquate Weise in Gang gesetzte an „künstlichen Erfolgsorganen“ — Beobachtungsinstrumenten — nach aussen hin zum Ausdruck kommt.