

migen Zellen bestehend. c) Tiefste, aus rundlichen Zellen bestehende Schicht. d) Grenzmembran. e) Substrat.

Figg. 1—3. sind nach frischen Präparaten gezeichnet; Fig. 4. nach einem Präparat, das 24 Stunden in Chromsäure (1:1000) gelegen hatte.

Neue Messungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Reizes in den menschlichen Nerven.

Von

Dr. RUDOLF SCHELSKE.

Nachdem Helmholtz die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den Nerven des Frosches zuerst gemessen, ist er auch der Einzige geblieben, der auf seine Frage: „Wie verhält sich nun die Sache beim Menschen?“ eine Antwort gegeben hat. Da jedes Wort, das in Bezug darauf in seinem Vortrag „über die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen, und ihre Anwendung für physiologische Zwecke“ auch für die vorliegenden Untersuchungen gilt, so sei es gestattet, den betreffenden Passus hier einzuschalten, da jene Arbeit wegen ihrer Seltenheit den wenigsten Lesern zugänglich sein wird:

„Die Nachricht von einem Eindruck, der auf das Hautende empfindender Nerven gemacht ist, pflanzt sich mit einer zu verschiedenen Zeiten und bei verschiedenen Individuen nicht merklich variirenden Geschwindigkeit von etwa 60 Mt. (180 Fuss) nach dem Gehirn fort. Im Gehirn angekommen, vergeht eine Zeit von etwa $\frac{1}{10}$ Secunde, ehe der Wille auch bei der angespanntesten Aufmerksamkeit die Botschaft an die Muskelnerven abzugeben im Stande ist, vermöge welcher gewisse Muskeln eine bestimmte Bewegung ausführen sollen. Diese Zeit variirt besonders nach dem Grade der Aufmerksamkeit

bei verschiedenen Personen und zu verschiedenen Zeiten bei derselben Person und ist bei laxer Aufmerksamkeit sehr unregelmässig und lang, bei gespannter dagegen sehr regelmässig. Nun läuft die Botschaft wahrscheinlich mit derselben Geschwindigkeit nach den Muskeln hin und endlich vergeht noch $\frac{1}{100}$ Secunde, ehe der Muskel sich nach ihrer Empfangnahme in Thätigkeit setzt. Im Ganzen vergehen also von der Reizung der sensibeln Nervenenden bis zur Bewegung des Muskels $1\frac{1}{4}$ bis 2 Zehntheile einer Secunde. Die Messungen werden ähnlich ausgeführt, wie die an Fröschen die Zwischenzeit der Reizung und der Muskelwirkung betreffenden. Es wird einem Menschen ein ganz leichter elektrischer Schlag an irgend einer beschränkten Hautstelle beigebracht, und derselbe ist angewiesen, wenn er den Schlag fühlt, so schnell es ihm möglich ist, eine bestimmte Bewegung mit der Hand oder den Zähnen auszuführen, durch welche der zeitmessende Strom unterbrochen wird. Es kann also nur immer die Summe der vorher bezeichneten einzelnen Zeiträume gemessen werden. Wenn wir aber den Eindruck von verschiedenen Hautstellen, dem Gehirn bald nahe bald entfernt, ausgehen lassen, so ändern wir von der ganzen Summe nur das erste Glied, die Fortpflanzungszeit in den empfindenden Nerven. Wenigstens dürfen wir wohl annehmen, dass die Vorgänge des Wahrnehmens und des Wollens im Gehirn in ihrer Dauer nicht wesentlich von dem Ort der getroffenen Hautstelle abhängen werden. Ich muss aber dies als eine nicht vollständig erwiesene Annahme anerkennen; erweisen lässt sich nur, dass sie nicht von der Empfindlichkeit der Hautstelle, oder etwa von bestimmten physiologischen Beziehungen derselben zu den zu bewegenden Muskeln abhängen. Der Verlauf in den motorischen Nerven und im Muskel ist schliesslich natürlich gleich. Wahrscheinlich gemacht wird unsere Deutung dadurch, dass der Zahlenwerth der Fortpflanzungsgeschwindigkeit, wie er sich aus den verschiedenen Combinationen der Beobachtungen ergibt, bei denen die Empfindung durch das Gehör, durch die Haut des Gesichts, des Nackens, der Hände, des Kreuzbeins, der Füsse aufgenommen ist, hinreichend gut übereinstimmt. Es ergibt sich z. B., dass eine Nachricht vom grossen Zehen etwa $\frac{1}{30}$ Secunde später

ankommt, als eine vom Ohr oder Gesichte. Wenn man nun von der gemessenen Summe der einzelnen Zeiträume das abzieht, was den Nervenleitungen in den empfindenden und bewegenden Fasern angehört und die aus andern Versuchen bekannte Zeit, während welcher der Muskel sich in Bewegung setzt, so bleibt die Zeit übrig, welche im Gehirn vergeht, um die von den Empfindungsnerven empfangene Depesche an die motorischen abzugeben.“ So weit Helmholtz.

Die Messungen an Froschnerven waren nach der Pouillet'schen Methode, kleinste Zeittheilchen zu bestimmen, ausgeführt und später durch die graphische, die zur Construction des Myographion führte, vervollständigt. Wenn die Pouillet'sche Methode für Messungen an Menschen auch durchaus an Genauigkeit genügt, so schien es mir doch im Bereich des Wünschenswerthen zu liegen, diese Frage auch der zweiten, graphischen, Methode zur Prüfung zu unterstellen; natürlich nicht, weil ich wähnte andere Resultate erzielen zu können, sondern im Gegentheil, weil ich auf anderem Wege Untersuchungen bestätigen wollte, die mich vom ersten Augenblick ihrer Bekanntschaft mit der höchsten Bewunderung erfüllt hatten. — Wenn dies bisher von keiner andern Seite geschehen, so mag das einfach in dem Mangel eines passenden Apparates seinen Grund gehabt haben: mir kam ein günstiger Zufall dabei zu Statten.

Auf der Utrechter Sternwarte hatte ich Gelegenheit Krille's Registrirapparat für Sterndurchgangsbeobachtungen kennen zu lernen, wie er von Peters in den „Astronomischen Nachrichten“ und seinem Werk „über die Bestimmung des Längenunterschiedes zwischen Altona und Schwerin“ beschrieben worden ist.

Da die Kenntniss desselben zur Beurtheilung dieser Untersuchungen nothwendig ist, ich aber voraussetzen darf, dass den Lesern dieses Archivs beide angezogene Schriften nicht bequem zur Hand sind, so will ich über das Wesentliche dieses sinnreichen Apparates hier referiren.

Derselbe besteht aus einem Uhrwerk, welches einen Metallcylinder mit gleichmässiger Geschwindigkeit um eine horizontale Achse rotirt. Um denselben ist geschwärztes Kreidepa-

pier gespannt, worauf die Angaben einer Passageuhr durch einen Schreibstift mit Demantspitze und die Beobachtungsmomente, welche den Durchgang des Sterns durchs Fadenkreuz des Fernrohrs angeben, durch einen zweiten Schreibstift notirt werden.

Durch dasselbe Uhrwerk werden die beiden Zeichenapparate, die durch Elektromagnete in Bewegung zu setzen sind, auf einem Wagen an dem Cylinder, parallel mit dessen Drehungsachse, entlang geführt, wodurch sie spiralige Touren auf jenem rotirenden Cylinder ausführen.

Hieran schliesst sich eine Vorrichtung, welche eine Passageuhr mit dem einen der Zeichenapparate verbindet und eine andere, welche den andern Zeichenstift den Notizen des Beobachters zugänglich macht.

Die Bewegung der Ankerwelle der Uhr unterbricht dadurch, dass ein an dem Pendel derselben befestigtes Glimmerplättchen einen stromschliessenden Quecksilberfaden durchschlägt, eine sehr kleine constante Kette, so dass diese eine Secunde lang geschlossen, die nächste geöffnet ist. Ein eingeschalteter Elektromagnet zieht nämlich während der Schliessung jener Kette einen Hebelarm an, durch den dann eine zweite Kette geschlossen wird. Der von dieser letztern ausgehende Strom umkreist den Elektromagneten des einen jener obengenannten Schreibapparate und bewirkt dadurch die Notirung der Secunden der Uhr auf dem rotirenden Cylinder. Es zieht der durch den Stromschluss magnetisirte Eisenkern das eine Ende des Schreibstifts, der die Form eines zweiarmigen Hebels hat, an und rückt dadurch das andere Ende, welches die zeichnende Demantspitze trägt, auf dem Cylinder aus seiner Ruhelage, in die es bei weichendem Magnetismus in Folge der Stromöffnung zurückfällt und in dieser Lage die Linie weiter zeichnet, bis beim Beginn der nächsten Secunde durch das Zurückschwingen des Pendels der Uhr und das dadurch entstehende Zusammenfliessen des stromschliessenden Quecksilberfadens der Eisenkern wieder magnetisirt, der eine Hebelarm angezogen, der andere aus seiner Ruhelage gebracht wird und diese folgende Secunde anzeigt. —

Fig. 1.

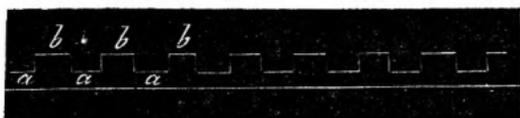
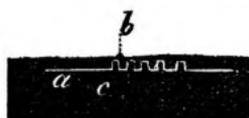


Fig. 1. zeigt dann die Art der Aufzeichnung der Secunden. Hierin sind die *a* in der Lage des Stifts bei geöffnetem, also der Ruhelage, die *b* in der bei geschlossenem Strome gezeichnet, die gerade Linie darunter hat der Stift des Beobachters in seiner Ruhelage gezogen.

Eine andere Kette, die mit einem Schlüssel durch die Hand des Beobachters geschlossen werden kann, beherrscht den Elektromagnet dieses zweiten Zeichenstiftes, mit dem der Beobachter seine Notirungen auf den Cylinder schreibt. Der Mechanismus dieses Schreibstiftes ist dem geschilderten ganz ähnlich. Auch hier rückt der magnetische Eisenkern des Elektromagnets den Zeichenstift aus seiner Ruhelage und entlässt ihn in dieselbe bei dem durch die Stromöffnung weichenen Magnetismus.

Fig. 5. giebt das Bild dieser Notizen.

Fig. 2.



a ist die Lage des Stifts bei geöffnetem Strom; wird dieser durch die Hand momentan geschlossen, so wird der Stift durch den Elektromagnet verschoben und schreibt die Curve *b* auf den Cylinder. Die Ecke bei *c* entspricht somit dem Zeitpunkt der Beobachtungsnotiz; in der Figur sind also fünf aufeinanderfolgende Beobachtungen notirt. —

Man sieht, dass die Vergleichung der Zeichnungen beider Schreibstifte genau die Zeit der Beobachtung angiebt, wenn man den Zeitpunkt merkt, von dem ab der erste Schreibstift, der unter dem Einfluss der Passagur steht, seine Thätigkeit begonnen hat.

Es lag nun sehr nahe, diesen Apparat für physiologische Zwecke zu Bestimmungen von Zeitdifferenzen zu verwerthen. Ordnete man nämlich den Versuch so, dass einerseits der Reiz, welcher irgend eine beschränkte Hautstelle des Körpers traf, auf dem Cylinder notirt, andererseits ein Zeichen von dem betroffenen Beobachter, sobald er den Reiz wahrgenommen, durch denselben Zeichenstift gegeben wurde, so konnte man die Zeit, welche während beider Zeichen verstrich, unmittelbar aus der Vergleichung dieser während dessen gezeichneten Linie mit der, welche die Secundenuhr mit dem durch sie bewegten Stift zu gleicher Zeit aufschrieb, durch mikrometrische Messung finden. „Wir müssen am Menschen unter sehr viel complicirteren Verhältnissen experimentiren, als am Froschpräparat, wir können den noch nicht speciell gekannten Einfluss der Nervenleitungen im Gehirn und Rückenmark nicht nur nicht beseitigen, sondern müssen ihn nothwendig mitbenutzen“ (Helmholtz a. a. O., S. 18.).

Reizt z. B. die Schliessung oder Oeffnung einer Kette, die zu gleicher Zeit den Zeichenstift bewegt, mochte dieser nun aus der Ruhelage verschoben oder in dieselbe zurückgesenkt werden, eine Hautstelle am Fussrücken eines Menschen und annoncirt dieser den empfundenen Schlag durch den Druck der Hand auf den Schlüssel, der denselben Zeichenstift beherrscht, so giebt die Länge der Linie auf dem Cylinder zwischen jenem Reiz und diesem Zeichen die Zeit an, welche verging für die Reizung des Hautnerven, die Fortpflanzung derselben zum Gehirn, die bewusste Uebertragung daselbst auf die motorischen Nerven der Hand, die Leitung in diesen und die Contraction der betreffenden Muskeln.

Macht man nun einen gleichen Versuch für eine höher oben gelegene Hautstelle desselben Nervengebiets, z. B. der Leisten-gegend, so erhält man dafür ein ganz analoges Resultat. Die Linien umfassen denselben Vorgang in der ganzen Mannigfaltigkeit der Leistungen des Organismus und mit allen Fehlern, die in dies Verfahren mit eingehen. Beide Beobachtungen unterscheiden sich nur durch die geringere Zeitdauer der zweiten und diese Differenz kann keinen andern Sinn haben als den, der Ausdruck zu sein für die Fortpflanzungsgeschwindig-

keit des Reizes im Nerven auf der Länge vom Fuss bis zur Leiste.

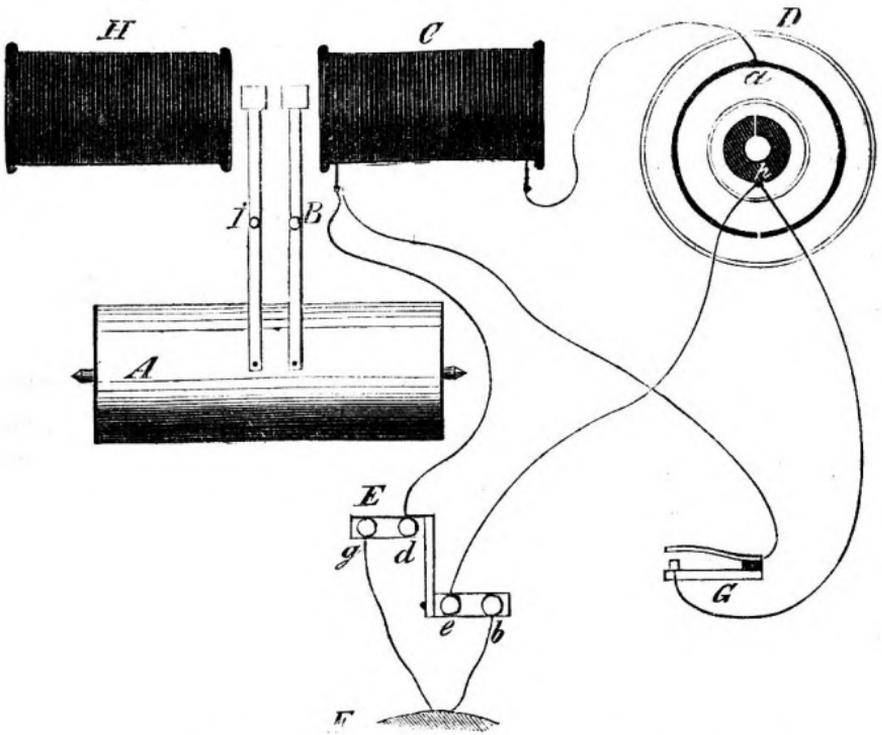
Das Wesentliche für die Brauchbarkeit dieses Verfahrens ist, dass die Fehler, für die es nicht geringe Quellen dabei giebt, bei sorgfältiger Anstellung der Versuche für die eine Beobachtungsreihe durchaus dieselben sind, wie für die zweite und dass sie deshalb, weil es sich nur um die Differenzen der gezeichneten Linien handelt, für die Richtigkeit des Resultates von keiner Bedeutung sind.

Es schien mir nun sehr der Mühe werth, diese Ueberlegungen am Apparat selbst zu prüfen und ich ergriff mit Freuden die Gelegenheit, die mir durch die gastfreundliche Güte des Herrn Professor Hoek, Director der Utrechter Sternwarte, dazu gegeben wurde.¹⁾

Es handelte sich für die Ausführung der Versuche vor Allem die Einrichtung so zu treffen, dass die Oeffnung oder Schliessung der Kette, welche den Nerven reizte, zugleich eine Marke auf dem Cylinder machte. Dies konnte natürlich nur dadurch geschehen, dass der Stift in seine Ruhelage zurückfiel oder durch den entstehenden Magnetismus aus derselben in eine andere gebracht wurde. Es musste ferner dafür gesorgt werden, dass der Stift in der Lage verharrte, in die er durch die reizende Stromesänderung gebracht war, bis die Hand am Schlüssel über den empfangenen und wahrgenommenen Schlag durch Schliessung desselben Auskunft gegeben hatte; nur so konnte eine gerade Linie die Zeit, welche zwischen beiden Acten verstrich, ausdrücken. Diesem wurde nun in folgender Weise genügt:

1) Es sei gestattet auch an dieser Stelle meinen Dank sowohl Herrn Hoek, wie den Herren Koster, Gratama und Mac Gillavry für den freundlichen und thätigen Antheil, den sie an der Ausführung dieser Untersuchungen nahmen, auszudrücken und hier öffentlich Zeugniß zu geben von der unbegrenzten Liberalität und Gastlichkeit, mit der die Utrechter Gelehrten dem Fremden entgegen kommen und ihm die Erinnerung an den holländischen Aufenthalt unvergesslich machen. —

Fig. 3.



Ist A der rotirende Cylinder, so möge J der Zeichenstift und H die inducirende Spirale sein, welche unter dem Einfluss der Passageuhr die Secunden in der geschilderten Weise aufzeichnet. In Wirklichkeit liegt H auf der andern Seite von J, parallel mit C, damit die Stifte J und B in gleichem Sinne verschoben werden. Parallel mit J liegt der andre Zeichenstift B, der die Beobachtungen notiren soll. C sei der zu ihm gehörende Elektromagnet und D die constante Kette, die in diesem Falle aus Meidinger'schen Elementen bestand. Bei E befand sich ein du Bois'scher Schlüssel, bei F die zu reizende Hautstelle z. B. des Fusses des Beobachters, G ist ein anderer Schlüssel, den der letztere in der Hand hält. Diese Apparate waren nun in der Weise, wie Figur 3. es zeigt, mit einander verknüpft. Eine Leitung führte von h bei geöffnetem Schlüssel E über e F durch die Hautstelle, durch g d über C nach D, während bei geschlossenem Schlüssel der Hauptstrom von e direct nach d und nur ein unmerklicher Zweig über F dahin ging.

Die oben gestellte Forderung war durch diese Anordnung folgendermassen gelöst.

Die Stromstärke nämlich wurde so regulirt, dass dieselbe, wenn der Kreis durch den guten Leiter des Schlüssels E geschlossen wurde, den Elektromagnet in Wirksamkeit setzte, so dass der Magnetismus stark genug war den Hebelarm des Zeichenstifts anzuziehn und während der Stromdauer fest zu halten. Wurde dagegen der Schlüssel geöffnet und blieb der grosse Widerstand des menschlichen Körpers allein, um den Kreis zu schliessen, so empfing dieser zwar einen sehr wohl merkbaren Schlag, der Strom war aber nicht mehr im Stande den Hebelarm des Zeichenstiftes durch den Elektromagnet fest zu halten und dieser entliess jenen in demselben Moment in seine Ruhelage, in dem die Hautstelle des Beobachters den Reiz empfing. Somit war der Augenblick des Reizes auf dem Cylinder durch den Zeichenstift markirt, der jetzt in der veränderten Lage, die zugleich seine Ruhelage war, seine Linie weiter zog.

Es war der Natur der Sache nach nöthig, dass das Zeichen über den ertheilten Reiz von einer andern Person, als dem Beobachter, der das Zeichen des wahrgenommenen auslösen sollte, gegeben wurde. Wenn nun auch dem Princip nach nichts im Wege stand zum Zeichen dieses letztern wieder den Schlüssel E zu brauchen, so war es durch die praktische Ausführbarkeit geboten, einen andern Weg für das Anwachsen des Magnetismus im Elektromagnete und dadurch bedingte Anziehung des Hebelarms des Stiftes zu suchen. Es wurde daher die Stromleitung h e d C a in einer dieser parallelen Leitung wiederholt und zwar in h G C a. G ist ein anderer Schlüssel, der sich nur in der Form, die sich durch die Handlichkeit für den astronomischen Beobachter bestimmt, vom du Bois'schen Schlüssel unterscheidet.

Nachdem also durch Oeffnung des Schlüssels E der Nerv gereizt, der Zeichenstift in seine Ruhelage zurückgefallen und der Schlag dem Beobachter bewusst geworden, schliesst dieser den Schlüssel G, der Elektromagnet zieht den Stift an, und dieser notirt den Moment des wahrgenommenen Reizes.

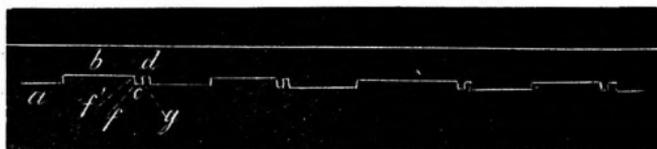
Damit ist die Aufgabe gelöst. —

Der Versuch selbst wurde nun in folgender Weise angestellt: Es waren dabei stets vier Personen thätig 1) der Beob-

achter, 2) derjenige, welcher mit der Secundenuhr in der Hand die Oeffnung und Schliessung des Schlüssels E übernommen hatte, 3) derjenige, welcher den rotirenden Cylinder und den regelmässigen Gang der Zeichenstifte beobachtete und endlich 4) derjenige, welcher das Protocoll über jeden Versuch führte, und den etwaigen Fehler, der von den andern drei Beobachtern gemeldet wurde, notirte. —

Nachdem die Elektroden F dem Beobachter an die entsprechende Stelle des Fusses oder der Leistengegend fest und unverrückbar angelegt waren, dieser den Schlüssel G in die Hand genommen und in möglichst bequemer Lage seine Aufmerksamkeit auf die folgenden Acte concentrirt hatte: schloss Nro. 2 den Schlüssel E und sagte dabei „Schluss“; es zog dann der aus seiner Ruhelage a gebrachte Stift die Linie b (Figur 4); nach $2\frac{1}{2}$ —3 Secunden öffnete er denselben ge-

Fig. 4.



räuschlos und ohne es anzuzeigen, es fiel dann der Stift in die Lage a (oder c) zurück und Nr. 1 erhielt einen Schlag, worauf dieser, sobald er ihn wahrgenommen, den Schlüssel G momentan schloss und wieder öffnete: es drückt dann die Linie c die Zeit der Vorgänge zwischen ertheiltem (f^1) und wahrgenommenem (g) Schlage aus, die Curve d Schliessung und Oeffnung des Schlüssels G. Beim nächsten vollen Zwölftel der Minute wurde der Schluss des Schlüssels E wieder ausgeführt und angezeigt, dem dann die anderen Acte in möglichster Regelmässigkeit folgten. Man sieht also, dass jede Beobachtung fünf Secunden dauerte und zwölf Beobachtungen in einer Minute sich unmittelbar folgten.

Es wird bei derartigen Versuchen stets die Aufmerksamkeit

1) Richtiger f^1 , jedoch ist der Fehler wegen der Gleichmässigkeit bei allen Versuchen so gering, dass bei den folgenden mikrometrischen Messungen f zum Anfangspunkt genommen werden konnte.

und die Uebung von grossem zu berücksichtigendem Einfluss sein. Man muss daher für grösste Ruhe in der Umgebung und möglichst grosse Regelmässigkeit in Ausführung der einzelnen Acte sorgen. Je regelmässiger die wiederkehrende Oeffnung des Schlüssels E vom Beobachter B vollzogen wird, desto mehr gelingt dem ersten, seine ganze Aufmerksamkeit auf den Moment des Reizes zu concentriren. Die Resultate würden gewiss an Genauigkeit gewinnen, wenn man diesen Act durch ein geräuschloses Uhrwerk vollziehen lassen könnte. Um den Einfluss der Uebung auf beide Gesamtreihen vom Fuss und der Leiste möglichst gleichmässig zu machen, wurde eine besondere Folge der einzelnen Serien innegehalten. Solcher Serien wurden acht an einem Beobachter gemacht, vier vom Fuss, vier von der Leiste, deren jede aus zwölf bis fünfzehn Einzelbeobachtungen bestand. Die Reihenfolge der Serien war dann nach dem Orte, wo die Elektroden lagen: Fuss—Leiste — Leiste — Fuss — Fuss — Leiste — Leiste — Fuss.

Man sieht den Sinn dieser Ordnung auf den ersten Blick ein: es wurde danach gestrebt, den Zustand der höchsten Uebung für denselben Ort zu verwerthen, welchem der der niedrigsten Nachtheil bringen musste und in dieser Weise einen gewissen mittleren Zustand der Uebung für die Summe der Serien zu erzielen. Ich glaube, dass dies durch diese Anordnung erreicht ist.

Die graphischen Resultate dieser Versuche bestehen aus zusammengehörigen Doppelcurven, deren obere die Zeichnungen der Secundenuhr, deren untere die verschiedenen Beobachtungsacte darstellt. Figur 5 giebt ein Bild davon.

Fig. 5.



Sie bildeten alle, wie bemerkt, eine fortlaufende Spirale auf dem Cylinder, die dann in ein langes Band zerschnitten und der Messung leicht unterzogen werden konnte.

Die Linien C, die Zeitdauer vom empfangenen bis zum ge-

meldeten wahrgenommenen Reiz, welche verschiedene Längen haben, je nachdem sie durch den Reiz des Fusses oder der Leiste ihren Anfangspunct nahmen, wurden dann sämmtlich unter einem kleinen Mikroskop bei ungefähr zehnfacher Vergrößerung mit dem Fadenkreuz der Mikrometerschraube gemessen. Es wurden dann aus den entsprechenden Reihen von der Leiste und dem Fusse die Mittel der Zahlenwerthe und die Differenz dieser Mittel für jene beiden Körperstellen gezogen. Diese ergab die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, deren Werth aus den nebengezeichneten Secunden-Längen berechnet werden konnte. —

Der ganze Kreis der Mikrometerschraube war in sechzig Einheiten getheilt. Für das Mikrometer, welches zur Messung der Beobachtung der nächsten Reihe benutzt wurde, gelten folgende Zahlen:

1 Mm = $18\frac{7}{60}$ Revolutionen (ganze Umdrehungen) der Mikrometer-Schraube = 1087 Einheiten. Dies ist das Mittel aus 24 Ablesungen, 12 vor und 12 nach Ausführung der Messungen.

Die durch die Passageuhr gezeichnete Raumlänge einer Secunde = 3,18 Mm.

Danach ist 1 Secunde = $57\frac{36}{60}$ Revolutionen = 3456 Einheiten. —

Der Fehler für die Ablesung des Mikrometers betrug im Mittel aus 10 Bestimmungen 6 Theilstriche d. h. $\frac{1}{10}$ einer Revolution und dies in Zeit umgerechnet ca. $\frac{1}{570}$ Secunde.

Für die Ausführung der Messung gilt, dass das Fadenkreuz auf die Mitte der Linie in f (Fig. 4) einerseits und andererseits auf die Mitte der Linie c in g eingestellt wurde, wo diese ihre Krümmung nach d hin begann.

Die Zahlenwerthe der verschiedenen Serien sind in ganzen Revolutionen und Sechzigsteln derselben gegeben, da es genügen wird, zur Abkürzung der Arbeit nur die Summe jeder Serie in Secunden umzurechnen. Um die Wahrscheinlichkeit für die Richtigkeit der Resultate zu bestimmen, habe ich von jeder Serie nach der Methode der kleinsten Quadrate den mitt-

lern und den wahrscheinlichen Fehler herechnet¹⁾ und stelle diese unter die andern Zahlenwerthe jeder Serie.

Trotz aller Vorsicht und Aufmerksamkeit erhoben sich doch vereinzelte Zahlen in den Serien über die benachbarten. Man befindet sich denselben gegenüber in einer sehr peinlichen Situation und erst nach Rücksprache mit Professor Helmholtz, der auf das Unverfängliche dieses Verfahrens aufmerksam machte, erlaubte ich mir, dieselben zu beseitigen. Beifügen muss ich übrigens, dass das Resultat nicht wesentlich beeinflusst wird, wenn man sie mit in Rechnung zieht, aber nach gewissenhafter Prüfung des Zustands des Beobachters während des Versuchs, halte ich's für richtiger dieselben zu streichen. Ich habe sie in die Reihe aufgenommen, aber mit einem Sternchen versehen, damit jeder im Stande sei, das Verfahren und das abweichende Resultat zu prüfen und zu beurtheilen.

Erste Reihe.

Die Orte der Reizung waren am innern Rande des linken Fusses über dem os naviculare und in der linken Leistengegend unter dem Poupert'schen Bande, zwei Zoll von der Spina ant. sup. ossis il.

Die Entfernung beider Oerter betrug 930 Mm. Die Nummern der Serie bedeuten die Zeitfolge, in welcher die Beobachtungen derselben im Verhältniss zu denen der andern Serien angestellt sind.

I.	II.
Serie 1., Fuss.	Serie 8., Fuss.
9—46	12—40
11—15	12—38
10—41	16—1*
12—35	13—10

1) Ist x das Mittel aus einer Reihe von 6 Beobachtungen, a, b, c, d, e, f , so ist

$$\sqrt{\frac{(a-x)^2 + (b-x)^2 + (c-x)^2 + (d-x)^2 + (e-x)^2 + (f-x)^2}{6-1}} = M$$

dem mittleren Fehler; der wahrscheinliche Fehler M' ist dann

$$M' = M \cdot 0,6744897.$$

	11—58	11—29
	8—54	11—36
	11—0	11—2
	19—4*	11—21
	11—26	10—12
	18—7*	12—30
	<hr/>	
	Summe = 87—35	10—39
	Mittel = 10—56	9—55
	Mittel in Sec. = 0,189	12—9
Mittlerer Fehler	„ = 0,020	11—29
Wahrscheinlich.	“ = 0,014	12—39
		<hr/>
	Summe = 163—29	
	Mittel = 11—40	
	Mittel in Secunden = 0,202	
Mittlerer Fehler	„ = 0,017	
Wahrscheinlicher	„ = 0,011	

III.

Serie 4. Fuss.

IV.

Serie 5. Fuss.

		14—33
		12—37
		12—53
	12—9	12—13
	14—27	10—36
	12—1	14—25
	12—36	18—13*
	12—40	12—1
	13—51	16—25*
	13—14	13—35
	12—16	12—11
	11—29	13—21
	12—27	13—11
	12—41	11—57
	18—4*	12—25
	<hr/>	
	Summe = 139—51	165—58
	Mittel = 12—43	12—46
Mittel in Sec. =	0,221	0,221

Mittlerer Fehler	„	=	0,014	0,018
Wahrscheinl.	„	=	0,009	0,012

		V.	VI.	
		Serie 2. Leiste.	Serie 7. Leiste.	
			9—17	
			9— 1	
		11— 7	10—32	
		13—48*	10—20	
		8—54	10—45	
		8—13	9—32	
		8—58	10—35	
		9—36	12— 9	
		10—56	14—42*	
		9— 7	9—57	
		9—45	10—31	
		11—15	11—26	
		18—12*	9—58	
		9—20	11—14	
		8—48	10— 1	
		9— 0	11—16	
	Summe =	114—59	156—34	
	Mittel =	9—35	10—26	
	Mittel in Sec. =	0,166	0,181	
Mittlerer Fehler	„	=	0,015	0,014
Wahrscheinl.	„	=	0,010	0,009

VII.	VIII.
Serie 3. Leiste.	Serie 3. Leiste.
10—46	12— 1
8—51	12— 4
12—16	12—53
9—16	11—57
11— 9	10— 9
9—33	11—12
12— 6	8—42
11— 0	10—53
12—33	11—30

	10—15	10—17
	10—16	9—35
	8 53	10—29
	8—41	8—25
	18—14*	10—13
	11—10	9—52
	Summe = 146—45	160—12
	Mittel = 10—29	10—40
	Mittel in Sec. = 0,182	0,185
Mittlerer Fehler	„ = 0,023	0,021
Wahrscheinl.	„ „ = 0,015	0,014

Es ergibt sich also für die Berechnung:

Fuss				Leiste			
	Mittel in Sec.	<i>M</i> in Sec.	<i>M'</i> in Sec.		Mittel in Sec.	<i>M</i> in Sec.	<i>M'</i> in Sec.
Serie 1	0,189	0,020	0,014	Serie 2	0,166	0,015	0,010
„ 8	0,202	0,017	0,011	„ 7	0,181	0,014	0,009
„ 4	0,221	0,014	0,009	„ 3	0,182	0,023	0,015
„ 5	0,221	0,018	0,012	„ 6	0,185	0,021	0,014
Mittel	0,208	0,017	0,011	—	0,178	0,018	0,012

Die Differenz der beiden Mittel der Zeit für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Reizes vom Fuss bis zum angezeigten Empfang und von der Leiste bis dahin $0,208'' - 0,178'' = 0,03''$ ist also die Zeit, welche der Reiz braucht, die Strecke vom Fuss zur Leiste von 930 Mm. zu durchlaufen.

Berechnet man nun die Fortpflanzungsgeschwindigkeit nach den oben gegebenen, für diese Reihe geltenden Zahlen, so findet sich dieselbe als

31 Meter in der Secunde.

Die Summe der wahrscheinlichen Fehler $0,011 + 0,012$ beträgt nun $0,023$ Secunden, ist somit kleiner, als jene Differenz, so dass das Resultat nicht als ein zufälliges Ergebniss aus den Fehlern der Methode zu betrachten ist, sondern im Wesen der Untersuchung seinen Grund haben muss, und zwar ist die

Wahrscheinlichkeit für die Richtigkeit des Gesamtergebnisses grösser als nahezu $\frac{1}{4}$.

Bei einem andern Beobachter fand sich bei Versuchen an denselben Körperstellen, Fuss und Leiste, deren Entfernung hier 860 Mm. betrug, für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Werth

25,294 Meter in der Secunde.

Der Reiz brauchte für diese Strecke die Zeit von 0,034", also mehr, als beim ersten Beobachter.

Man könnte die Frage aufwerfen, ob die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreize im lebenden Menschen bei verschiedenen Individuen und Zuständen verschieden sei: ich möchte das aus diesem Befund keinesfalls ableiten, sondern denselben eher auf die Fehler beziehen, die den letztern Beobachtungen ankleben, da der wahrscheinliche Fehler bei diesen sehr viel grösser war, als bei denen der ersten Reihe.

Bei einer frühern, vor allen übrigen, erhaltenen Reihe von 150 Versuchen, die vom ersten Beobachter mehr um eine Vorstellung von der Ausführung der Methode zu geben und die Uebung zu schärfen, angestellt wurden, waren die gereizten Hautstellen, die eine auf dem vordern Fussrücken, die andre am Halse, dicht unter dem Ohre am Rand des musc. sternocleidomast. der linken Seite. Die Entfernung derselben betrug 1500 Mm., diese Strecke wurde in 0,046" durchleitet, und es berechnete sich daraus die Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit

32,608 Meter in der Secunde

Ein Resultat also, das hinlänglich gut mit dem der ersten Reihe übereinstimmt.

Seit lange steht die Frage nach der Leitungsgeschwindigkeit im Rückenmark auf der Tagesordnung und ich habe mich selbst vor Jahren, von Professor Helmholtz dazu angeregt, mit der experimentellen Beantwortung derselben befasst, ohne mit Myographion und Froschrückenmark zu einer befriedigenden Lösung gekommen zu sein.

Die Erinnerung daran wurde mir in Utrecht sehr lebendig und ich glaubte, die eben benutzte Methode, wenigstens zur annähernden Aufklärung derselben verwenden zu sollen. Die Ueberlegung war diese:

Eine Gruppe der hintern Aeste der Rückenmarksnerven treten auf sehr kurzem Wege direct durch die Rückenmuskeln, indem sie die oberste Lage derselben durchbohren, zur Haut des Rückens.

Reizte man nun eine tiefere und eine höhere Stelle derselben, so wäre der Weg bei beiden nur durch eine kleine, nahezu gleich lange Strecke durch die Nerven, die überwiegend grössere durch das Rückenmark selbst. Die Differenz würde also einen annähernden Werth für die Geschwindigkeit der Leitung im Marke selbst ergeben. — Die Versuche wurden ganz wie die der ersten Reihe angestellt und alles dort Gesagte gilt auch für diese.

Zweite Reihe.

Die Reizungsstellen waren 1) auf der Haut links neben dem dritten Halswirbel (Nacken), 2) auf der Haut links neben dem vierten Lendenwirbel (Rücken). Die Entfernung beider Stellen betrug 590 Mm. —

Für die Messungen gilt, da ein andres Mikrometer hierzu benutzt werden musste:

1 Mm. = $16\frac{40}{60}$ Revolutionen = 1000 Einheiten

1 Secunde = 3,18 Mm. = 3180 Einheiten.

Die Reihenfolge der Versuche war:

Rücken—Rücken—Nacken—Nacken—Rücken—Rücken—Nacken—Nacken.

I.	II.
Serie 1. Rücken.	Serie 2. Rücken.
8—41	10— 2
8—37	9—57
8—23	10— 6
10—12	7—13
11—20	10—55
9—58	10— 6
9— 4	10—37
9—53	7—44
7— 7	9—46

	8—19	10—16
	9—15	8—40
	8—57	8— 1
	<hr/>	<hr/>
Summe =	109—46	113—23
Mittel =	9— 9	9—27
Mittel in Secunden =	0,172	0,178
Mittlerer Fehler in Sec. =	0,020	0,021
Wahrscheinl. „ „ =	0,013	0,014

	III. Serie 5. Rücken.	IV. Serie 6. Rücken.
	12—49	9—15
	10— 0	10
	9—23	9—23
	9—41	8—17
	9—16	8— 7
	10—29	8—30
	9—29	9—59
	7—27	8—31
	8—55	9—44
	7—51	8—23
	7—42	7—28
	10— 5	7—38
	10— 0	7—41
	8—12	7—55
	<hr/>	<hr/>
Summe =	131—19	120—51
Mittel =	9—22	8—38
Mittel in Secunden =	0,176	0,163
Mittlerer Fehler in Sec. =	0,026	0,017
Wahrscheinl. „ „ =	0,017	0,011

V. Serie 3. Nacken.	VI. Serie 4. Nacken.
------------------------	-------------------------

8—56	
9—21	
10—26	10—17

	7—36	7—26
	8—22	11—36
	7—15	9— 5
	11—28	8—43
	7—49	11—56
	6—58	8—24
	6—47	8—56
	7—34	9—45
	8—35	7—57
	10—24	9—34
	9—12	8— 2
	<hr/>	<hr/>
Summe =	120—43	111—41
Mittel =	8—37	9—18
Mittel in Secunden =	0,162	0,175
Mittlerer Fehler in Sec. =	0,026	0,026
Wahrscheinl. „ „ =	0,018	0,017

VII.

Serie 7. Nacken.

VIII.

Serie 8. Nacken.

		7—18
		7—17
	7—54	7—46
	8—33	6—59
	7—50	6—51
	6—17	6—52
	7—28	6—49
	7—36	6—15
	6—50	6—42
	7—52	6— 52
	6—15	9— 0
	6—46	7—25
	7—10	8 - 33
	7— 8	7—18
	8—34	7—14
	<hr/>	<hr/>
Summe =	96—13	109—11
Mittel =	7—24	7—16
Mittel in Secunden = :	0,139	0,137

Mittlerer Fehler in Sec. =	0,010	0,013
Wahrscheinl. „ „ =	0,007	0,009

Die Zusammenstellung der Resultate ergibt folgende Tabelle:

Rücken				Nacken			
	Mittel in Sec.	M in Sec.	M' in Sec.		Mittel in Sec.	M in Sec.	M' in Sec.
Serie 1	0,172	0,020	0,013	Serie 3	0,162	0,026	0,018
„ 2	0,178	0,021	0,014	„ 4	0,175	0,026	0,017
„ 5	0,176	0,026	0,017	„ 7	0,139	0,010	0,007
„ 6	0,163	0,017	0,011	„ 8	0,137	0,013	0,009
Mittel	0,172	0,021	0,013	—	0,153	0,018	0,012

Die Differenz der beiden Mittel der Zeit für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Reizes vom vierten Lendenwirbel bis zum angezeigten Empfang desselben und vom dritten Halswirbel bis dahin $0,172 - 0,153 = 0,019$ ist also die Zeit, welche der Reiz braucht, die genannte Strecke durch das Rückenmark von 590 Mm. zu durchlaufen.

Berechnet man daraus die Fortpflanzungsgeschwindigkeit nach den für diese Reihe giltigen Massen, so findet man dieselbe gleich

31,052 Meter in der Secunde. —

Das Resultat für die Leitung im Rückenmark stimmt somit sehr nahe mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den Nerven desselben Beobachters überein.

Jedenfalls ist der Fehler in dieser zweiten Reihe grösser, als jener in der ersten, denn der wahrscheinliche Fehler ist hier = 0,013, d. h. fast eben so gross ($\frac{1}{1000}$ Sec. Unterschied), wie bei der ersten, während wir ihn hätten kleiner erwarten müssen.

Allein Angesichts der Uebereinstimmung der Zahlenwerthe in den einzelnen Serien und der ausgleichenden Wirkung einzelner hoher Werthe von der einen und anderen Stelle der Reizung, einer Ausgleichung, die sich bei der Berechnung des wahrscheinlichen Fehlers nicht geltend macht, zögere ich nicht dem Resultat eine hinlänglich grosse Annäherung an die Wahr-

heit zu vindiciren, um darauf hin die einzelnen Serien dem Urtheil des Lesers zu unterbreiten.

Es hätte sich vielleicht empfohlen, die niedersten Werthe aus den Gesamtreihen von Rücken und Nacken auszuwählen und in Rechnung zu ziehn; allein das Willkürliche in der Festsetzung der oberen Gränze musste vor diesem Verfahren warnen. —

Ich komme zum Schluss dieser Abhandlung zu dem Verhältniss der Zahlen, die Helmholtz nach der Pouillet'schen Methode fand, und der meinigen.

Kaum hätte ich's gewagt, mit meinen Ergebnissen, da sie sich von jenen andern sehr weit entfernen, hervorzutreten, wenn sich nicht gewisse Zeichen für die Vereinbarung beider aus der Berathung, die ich mit Professor Helmholtz darüber pflog, ergeben hätten.

Helmholtz hatte für den Froschnerven c. 25 Meter, für den menschlichen c. 60 Meter in der Secunde gefunden, ich fand, wenn es erlaubt ist, das Mittel von zwei verschiedenen Beobachtern zu ziehn,

$$\begin{array}{r}
 31,000 \text{ Meter} \\
 25,294 \text{ „} \\
 32,608 \text{ „} \\
 \hline
 \text{Mittel } 29,634 \text{ Meter.}
 \end{array}$$

Es musste auffallen, dass die neue Zahl der der Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Froschnerven äusserst nahe kommt und zugleich die Hälfte von Helmholtz's Zahl ist, um dem Gedanken an das Uebersehen eines Factors zwei, bei jenen älteren Versuchen, was bei der complicirten Rechnung, die dabei ausgeführt werden musste, so ausserordentlich leicht gewesen wäre, nicht in das Reich der Unmöglichkeit zu weisen.

Die Abweichung bei Frosch- und Menschen-Nerv wurde damals durch die Kälte des ersteren erklärt, da bekanntlich die Abkühlung die Fortpflanzungsgeschwindigkeit verlangsamt.

Endlich machte sich für die Richtigkeit meiner Zahlen ihre relativ grosse Uebereinstimmung unter äusserst verschiedenen Umständen geltend.

Leider war der einzige Weg, jene Muthmassung zu beweisen, die Wiederholung der Versuche durch den andern Beob-

achter, für beide nicht zu betreten: Professor Helmholtz schied der Raum von dem Apparat, mit dem die meinigen an- gestellt, mir war es unmöglich, seine Apparate, deren Wider- stände u. s. w. er berechnet, in der alten Weise als Ganzes herzustellen, da Theile davon in Königsberg zurückgeblieben waren.

Es muss daher die Erklärung dieser Abweichung vorläufig noch dahingestellt bleiben.¹⁾

Heidelberg, im Januar 1864.

1) Herr Dr. Hirsch, Director der Sternwarte zu Neuchâtel in der Schweiz, ist schon vor längerer Zeit durch Versuche am Hipp'schen Chronoskop zu Ergebnissen gelangt, welche den von Herrn Dr. Schelske in gegenwärtiger Abhandlung mitgetheilten nahe entsprechen. Er fand für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den menschlichen Empfindungsnerven etwa 34 M. in der Secunde. Obschon bereits am 8. November 1861 der Société des Sciences naturelles de Neuchâtel vorgelegt, waren Hrn. Hirsch's Versuche in Deutschland im Allgemeinen unbekannt geblieben, da sie nur in dem wenig verbreiteten Bulletin jener Gesellschaft (t. VI., 1er Cahier, 1862, p. 100) und, in Folge einer der Versammlung der Schweizerischen Naturforscher zu Luzern am 25. September 1862 gemachten Mittheilung, in den Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève (Nouv. Sér. t. XV. 1862. p. 160), gedruckt erschienen. Erst ganz kürzlich sind sie durch eine Uebersetzung in Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre u. s. w., (Bd. IX. S. 183) zugänglicher geworden. Vergl. auch das Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften, 5. März 1864. No. 11. S. 165.

[E. d. B.-R.]