

(Aus der Abteilung für experimentelle Psychologie des physiologischen  
Instituts der Universität Turin.)

## Zur Frage nach der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im sensiblen Nerven des Menschen.<sup>1</sup>

Von  
F. KIESOW.

Im Jahre 1850 zeigte HELMHOLTZ, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der nervösen Erregung meßbar sei. Er arbeitete am motorischen Nerven und benutzte als solchen zunächst den Hüftnerve des Frosches, der nach der von POUILLET zur Messung kleiner Zeiträume angegebenen Methode an Stellen, die von seinem Eintritt in den Muskel verschieden weit entfernt waren, durch momentane elektrische Ströme gereizt wurde.<sup>2</sup> Diese Versuche ergaben wahrscheinlichste Mittelwerte von 26,4 und 27,0 m pro Sekunde, wobei die aus den einzelnen Versuchsreihen gewonnenen Werte zwischen 24,6 und 38,4 m in der Sekunde schwankten.<sup>3</sup> Zugleich konnte HELMHOLTZ schon hier zeigen, daß auch die Temperatur auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit nicht ohne Einfluß ist. Später hat er diese Untersuchungen auch auf die Vorgänge am Menschen übertragen und N. BAXT veranlaßt, dieselben nach einem von ihm (HELMHOLTZ) entworfenen Plane auszuführen. Hierbei wurde der N. medianus bald am Handgelenk, bald am Oberarm elektrisch gereizt und zugleich die jedesmalige Zuckung der Muskulatur des Daumenballens registriert. Diese Versuche ergaben ein Gesamtmittel

---

<sup>1</sup> Die Mitteilung erscheint ebenfalls in den *Rendiconti della R. Acc. dei Lincei* zu Rom.

<sup>2</sup> *Akad. d. Wiss. zu Berlin*, Berichte 1850, S. 14f. *Müllers Archiv* 1850, S. 71 u. 276 ff.

<sup>3</sup> *Ebenda* S. 337 ff., S. 351.

von 33,9005 m in der Sekunde bei einer Schwankung der Mittelwerte der einzelnen Versuchsreihen von 31,5389 bis 37,4927 m pro Sekunde.<sup>1</sup> Im Jahre 1870 hat dann HELMHOLTZ der Akademie zu Berlin neue, gleichfalls von BAXT ausgeführte Versuche vorgelegt, welche namentlich den erheblichen Einfluß zeigen, den die Temperatur auf die Geschwindigkeit der Nervenleitung auch beim Menschen ausübt. Bei diesen Versuchen wurde auch der N. ulnaris gereizt, wobei die Zuckungen der Mm. abductor indicis und adductor pollicis aufgezeichnet wurden. Für die Strecke vom Handgelenk bis zum Ellenbogen ergaben sich so aus Versuchen, die gegen Ende des Sommers, im Winter und zu Anfang des nächsten Sommers angestellt wurden, Werte, die zwischen 27,8081 m bis 32,8827 m in der Sekunde schwankten. Für die gleiche Strecke erhielt man bei Reizung des Medianus einen Mittelwert von 30,3904 m pro Sekunde. Aus allen erhaltenen Werten resultierte ein Gesamtmittel von 30,1488 m pro Sekunde. Um die Mitte des Sommers aber stiegen die Werte beträchtlich an, während sie sich zu Beginn des Winters wieder verkleinerten. Weitere Erfahrungen lehrten dann, daß Erwärmung des Körpergliedes regelmäßig eine Erhöhung, Abkühlung desselben dagegen stets eine Verlangsamung der nervösen Leitungsgeschwindigkeit nach sich zog.<sup>2</sup>

Während die Ergebnisse dieser grundlegenden Versuche durchweg Aufnahme fanden, harrt die Frage nach der Leitungsgeschwindigkeit im sensiblen Nerven noch ihrer Lösung, wenngleich eine Tendenz besteht, sie von der im motorischen vorsichgehenden als nicht verschieden anzunehmen.

Nun hat freilich schon HELMHOLTZ seiner Zeit auf die Schwierigkeiten aufmerksam gemacht, die einer derartigen Bestimmung entgegenstehen und auf die Differenzen hingewiesen, die sich in den damals vorliegenden Untersuchungsergebnissen finden, Umstände, die ihn eben bewogen, die Lösung des Problems am Bewegungsnerven des Menschen zu versuchen.<sup>3</sup> Aber sowohl in dem Verständnis der Reaktionsvorgänge, wie in dem der Hautempfindungen und ihrer Messung sind inzwischen Fortschritte gemacht worden. Gestützt auf diese neuen Erkennt-

---

<sup>1</sup> *Berliner Berichte* 1867, S. 228 f.

<sup>2</sup> *Berliner Berichte* 1870, S. 184 f.

<sup>3</sup> *Ebenda* 1867, S. 228 u. 229.



nisse glaube ich einen Weg eingeschlagen zu haben, auf dem zuverlässige Resultate zu erhalten sein dürften.

Geführt wurde ich auf diese Frage durch eine umfangreiche Untersuchung über die Reaktionszeiten der punktuell ausgelösten taktilen Belastungsempfindung, die, in ihrem experimentellen Teile abgeschlossen, in nächster Zeit in dieser Zeitschrift erscheinen wird.

Zugrunde legte ich meinem Versuchsplane die extrem muskuläre Reaktionsweise bei maximaler Einübung der Versuchsperson. Die Gründe hierfür sind ersichtlich. Der Gesamtvorgang ist vereinfacht, und da alle übrigen Faktoren, die an demselben teilnehmen, die gleichen bleiben müssen, so können die in den Mittelwerten zutage tretenden Unterschiede nur durch die längere Wegstrecke bedingt sein, die die Erregung zu durchlaufen hat.

Gereizt werden Hautstellen des linken Armes und Beines, wobei ersterer auf einem passend zugerichteten, erhöhten Kissen ruht, während die Versuchsperson bei Reizung des letzteren bequem auf einem verstellbaren Fahrbette sitzt. Die Versuche unterscheiden sich von den bisher ausgeführten dadurch, daß nicht beliebige Hautstellen, sondern bestimmte und möglichst isoliert stehende Empfindungspunkte benutzt wurden. Für die vorliegende Untersuchung wählte ich Tastpunkte. Die Reizung ist in unserem Falle ferner keine elektrische, sondern eine mechanische und geschieht durch ein VON FREY'sches Reizhaar, dessen Spannungswert vorher genau bestimmt worden ist.

Ein solches Reizhaar wird einem Ästhesiometer aufgesteckt, das ich mir eigens für Reaktionsversuche habe herstellen lassen. Da an demselben infolge eines Stromschlusses vom Experimentierzimmer aus durch elektromagnetische Wirkung ein eben dieses Reizhaar tragender Hebel herabgezogen wird, so habe ich dasselbe als Elektroästhesiometer bezeichnet. Eine an dem gleichen Hebel angebrachte Vorrichtung bewirkt, daß sich im Momente der Reizung durch Quecksilberkontakt gleichzeitig eine Nebenleitung schließt, wodurch die Exaktheit der Zeitbestimmung gegeben ist. Der ganze Apparat wird auf ein ZIMMERMANN'sches Universalstativ montiert, wodurch ein genaues Treffen der Punkte bei der Reizung möglich wird. Da der Hebel sehr schnell herabgezogen wird, so wird die Geschwindigkeit der Reizung übermaximal,

d. h. sie liegt weit oberhalb der Grenze, bis zu welcher sie auf die Empfindungsintensität von Einfluß ist.<sup>1</sup>

Wie aus dem Vorstehenden schon erhellt, war die Versuchsanordnung auf zwei Zimmer verteilt. Als Chronoskop diente mir eine von Herrn RUNNE in Heidelberg bezogene HIPPSche Uhr, welche unter anderem den Vorteil gewährt, daß die Glasglocke während des Aufziehens des Uhrwerkes nicht abgenommen zu werden braucht. Ich benutzte die ältere Vorrichtung des Uhrwerks, bei der die Zeiger bei Stromdurchgang festgehalten werden und bemerke weiter, daß die ganze Anordnung genau derjenigen entsprach, die WUNDT ausführlich beschrieben und abgebildet hat.<sup>2</sup> Zur Kontrolle des Uhrwerks diente WUNDTs großer Kontrollhammer, zur Reaktionsbewegung der von CATTELL eingeführte Reaktionstaster. Reagiert wurde mit dem rechten Zeigefinger. Die Zwischenzeit zwischen Signal und Reiz betrug konstant etwas über  $1\frac{1}{2}$  Sek. Ich arbeitete mit zwei Assistenten, von denen der eine im Experimentierzimmer die Uhr und die Reizung besorgte, während der andere im Beobachtungszimmer den Apparat dirigierte und auf ein genaues Treffen der Punkte Acht gab. Von einem Zimmer zum anderen verständigte man sich durch verabredete akustische Signale. Die Versuchsperson hielt während der Versuche die Augen geschlossen. Um störende Geräusche, namentlich die von der StraÙe kommenden nach Möglichkeit abzuhalten, wurden die Gehörgänge der Versuchsperson durch passend zugeschliffene Korkstöpsel verschlossen. Dies verhinderte aber nicht, daß die Signale gehört wurden.

Was die Reaktionen als solche betrifft, so beschränke ich mich hier darauf, hervorzuheben, daß wir Reihen von 10 und 15 Einzelbeobachtungen anstellten und daß nur Zeitwerte gestrichen wurden, die vom Beobachter hierfür signalisiert wurden. Wo, wie zuweilen am Ende einer Sitzung geschah, die Werte infolge eintretender Ermüdung unregelmäßig wurden, haben wir vorgezogen, die ganze Reihe zu verwerfen, um sie in der nächsten Sitzung zu erneuern. Ferner sei noch bemerkt, daß zwischen den einzelnen Reihen eine längere Pause eingeschaltet ward, während die einzelnen Reaktionen in möglichst schneller Aufeinanderfolge ausgeführt wurden.

<sup>1</sup> Die ausführlichere Beschreibung des Apparates erfolgt in der später erscheinenden größeren Abhandlung.

<sup>2</sup> Grundzüge der physiol. Psychologie, 5. Aufl. Bd. III, S. 387 ff.



Als Versuchsperson habe ich selbst fungiert. Für geleistete Assistenz bin ich Fräulein AYMAR, sowie Herrn Dr. A. FONTANA und meiner Frau aufrichtigen Dank schuldig.

Als ich mich dieser Frage zuwandte, hatte ich bereits seit vielen Monaten mit kurzen Unterbrechungen täglich Reaktionen ausgeführt. Da ich außerdem in der letzten Zeit ausschließlich muskulär reagiert hatte, so konnte ich eine maximale Einübung bei mir voraussetzen.

Darauf, daß nur möglichst isoliert stehende Empfindungspunkte bei diesen Versuchen benutzt werden dürfen, ist nach meinem Dafürhalten ein besonderes Gewicht zu legen. Eben aus diesem Grunde wurden nicht Tastpunkte der Hand, des Fußes oder des Gesichtes gereizt, Körperstellen, an denen die Dichte der Punkte eine erhebliche ist, sondern Haarpunkte der erwähnten Körperteile.<sup>1</sup>

Weiter ist nach meiner Auffassung darauf zu achten, daß die benutzten Tastpunkte eines und desselben Körperlides von gleicher oder wenigstens von annähernd gleicher Empfindlichkeit sind und schließlich ist besonders auch für eine geeignete Reizintensität Sorge zu tragen. Ist diese letztere zu gering, so ist eine extrem muskuläre Reaktion nicht mehr möglich, insofern sich die Aufmerksamkeit dann nicht mehr in maximalem Grade der auszuführenden Bewegung zuwenden kann, sondern sich zu einem Teile unwillkürlich auf den zu erwartenden Eindruck richtet. Dies hat aber zur Folge, daß sich die Werte verlängern und ihre Schwankungen sich vergrößern. Ist dagegen der Reiz zu stark, so ist man nicht immer sicher, ausschließlich ein einzelnes Tastorgan zu reizen, sondern es können infolge der größeren Ausbreitung der Deformation andere Organe mitgereizt werden, woraus möglicherweise eine Verringerung der Reaktionszeiten und wiederum unkontrollierbare Schwankungen resultieren können. Und da weiter die Anzahl der Empfindungspunkte in der Flächeneinheit auch auf einem und demselben Körperlide nicht überall die gleiche ist<sup>2</sup>, so würden in diesem Falle die erhaltenen Zeitwerte auch nicht untereinander vergleichbar sein. Unter den hervorgehobenen Bedingungen aber schien mir eine Neubearbeitung der Frage nicht aussichtslos zu sein.

<sup>1</sup> Vgl. hierzu meine Abhandlung „Über Verteilung und Empfindlichkeit der Tastpunkte“ in *Philos. Studien* 19, S. 260 ff.

<sup>2</sup> Vgl. eben diese Abhandlung.

Was die Empfindlichkeit der bis jetzt benutzten Tastpunkte betrifft, so sei hervorgehoben, daß sie bei allen einem Schwellenwerte von 1 g pro Millimeter Radius entsprach.

Als Reizgröße wählte ich einen Spannungswert von 6 g pro Millimeter Radius, wobei die einzelnen Konstanten des verwandten Reizhaares die folgenden waren:

Querschnitt	Mittlerer Radius	Kraft	Spannungswert
0,038 mm <sup>2</sup>	0,11 mm	0,66 g	6 g/mm

Dieser Reizwert könnte freilich etwas hoch erscheinen, aber man darf bei der Beurteilung nicht vergessen, daß man die Punkte während der Reizung nicht sieht (beim Aufsuchen und bei Schwellenbestimmungen benutze ich stets die Lupe), sondern die Augen geschlossen hat, und daß der Reiz eben stark genug sein muß, damit die Aufmerksamkeit ohne Schwierigkeit extrem muskulär eingestellt werden kann. Daß man nicht trotzdem noch auf geringere Reize muskulär reagieren kann, ist hiermit nicht gesagt, bei diesen Versuchen aber lag es nicht in meinem Interesse, einen möglichst schwachen, sondern im Gegenteil, einen möglichst starken Reiz zu verwenden.

Dem Vorstehenden sei noch hinzugefügt, daß die Versuche im September d. J. in einer ununterbrochenen Reihe von Tagen und zu immer gleichen Tagesstunden ausgeführt wurden, wie auch, daß ich meine Lebensweise während dieser Zeit in nichts veränderte und daß die Temperatur des Beobachtungszimmers ein wenig um 20° C herum schwankte.

### 1. Versuche am Arm.

Die untersuchten Tastpunkte befanden sich auf der Haargrenze an der Beugeseite des Vorderarms, wie auf der Mitte der gleichen Seite des Oberarms. Hier wie dort wurden je zwei Punkte gewählt. An jedem der Punkte des Unterarms wurden 100 Beobachtungen angestellt. Von denen des Oberarms wurde der eine 100mal, der andere 200mal gereizt. Unten wie oben lagen die beiden Punkte nicht weit voneinander entfernt auf einer und derselben Querlinie, so daß für die Entfernung der ersteren von den letzteren keine Variation eintrat. Der Umfang meines Armes beträgt an der unteren Reizstelle ca. 17 cm; an der oberen ca. 27 cm.



An den beiden Haarpunkten des Unterarms erhielt ich folgende Mittelwerte:

1. Punkt: 161,10  $\sigma$  (mittl. Var. 10,9800)

2. Punkt: 163,38  $\sigma$  ( „ „ 9,6852)

Auf dem Oberarm ergaben sich folgende Mittelwerte:

1. Punkt: 151,64  $\sigma$  (Mittl. Var. 9,9080)

2. Punkt, 1. Hundert: 151,70  $\sigma$  ( „ „ 11,1880)

2. Hundert: 150,61  $\sigma$  ( „ „ 12,2946)

Aus diesen Mittelwerten ergeben sich folgende Differenzen:

1. 161,10 — 151,64 = 9,46  $\sigma$

2. 161,10 — 151,70 = 9,40  $\sigma$

3. 161,10 — 150,61 = 10,49  $\sigma$

4. 163,38 — 151,64 = 11,74  $\sigma$

5. 163,38 — 151,70 = 11,68  $\sigma$

6. 163,38 — 150,61 = 12,77  $\sigma$

Da die Entfernung der Tastpunkte des Unterarms von denen des Oberarms 33 cm beträgt, so würden sich hieraus, wenn man die gleiche Nervenstrecke annimmt, die aber in Wirklichkeit größer ist, folgende Fortpflanzungsgeschwindigkeiten ergeben, welche Werte ich auf drei Dezimalstellen abgerundet habe:

1. 34,884 m pro Sekunde

2. 35,106 „ „ „

3. 31,459 „ „ „

4. 28,109 „ „ „

5. 28,253 „ „ „

6. 25,842 „ „ „

Das arithmetische Mittel aus allen 6 Werten beträgt abgerundet 30,609 m in der Sekunde.

Nimmt man die Punkte je unten und oben zusammen und berechnet die Differenzen aus den Mittelwerten von je 200 Einzelbestimmungen, so ergeben sich abgerundet:

1. 162,24 — 151,67 = 10,57  $\sigma$

2. 162,24 — 151,13 = 11,11  $\sigma$

3. 162,24 — 151,16 = 11,08  $\sigma$

Aus diesen Differenzen ergeben sich abgerundet die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten:

1. 31,220 m pro Sekunde

2. 29,703 „ „ „

3. 29,783 „ „ „

Das arithmetische Mittel aus diesen Werten beträgt abgerundet 30,235 m in der Sekunde.

## II. Versuche am Bein.

Auch hier wurden, und zwar an den vorderen Flächen, am Unterschenkel (unteres Ende), wie am Oberschenkel (ziemlich hoch oben) je zwei Haarpunkte untersucht. An jedem einzelnen wurden 100 Beobachtungen angestellt. Auch hier lagen die Punkte oben wie unten nicht weit von einander entfernt auf der gleichen Querlinie. An der unteren Reizstelle beträgt der Umfang meines Beines 23,5 cm, an der oberen 47 cm.

An den Haarpunkten des Unterschenkels erhielt ich die folgenden Mittelwerte:

1. Punkt: 185,79  $\sigma$  (mittl. Var. 14,0574)
2. Punkt: 182,73  $\sigma$  ( „ „ 14,8446)

Auf dem Oberschenkel fand ich die folgenden:

1. Punkt: 167,64  $\sigma$  (mittl. Var. 12,9316)
2. Punkt: 165,48  $\sigma$  ( „ „ 10,1728)

Hieraus ergeben sich die Differenzen:

1. 185,79 — 167,64 = 18,15  $\sigma$
2. 185,79 — 165,48 = 20,31  $\sigma$
3. 182,73 — 167,64 = 15,09  $\sigma$
4. 182,73 — 165,48 = 17,25  $\sigma$

Über das Knie hinweg gemessen, beträgt die Entfernung der unteren Punkte von den oberen 58 cm. Setzen wir auch hier die Entfernung der Nervenstrecke gleich, so ergeben sich folgende auf drei Dezimalstellen abgerundete Werte der Leitungsgeschwindigkeit:

1. 31,956 m pro Sekunde
2. 28,557 „ „ „
3. 38,436 „ „ „
4. 33,623 „ „ „

Das arithmetische Mittel aus allen vier Werten beträgt 33,143 m pro Sekunde.

Nimmt man auch hier die Punkte je oben und unten zusammen und berechnet die Differenz aus den Mittelwerten von je 200 Bestimmungen, so erhält man

$$184,26 - 166,56 = 17,70 \sigma.$$

Dieser Differenz entspricht eine Leitungsgeschwindigkeit von 32,768 m in der Sekunde.



Stellen wir die berechneten Mittelwerte nochmals zusammen, so erhalten wir eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung für den Arm von

1. 30,609 m pro Sekunde, bei einer Schwankung der Einzelwerte von 25,842 bis 35,106 m pro Sekunde;
2. 30,235 m pro Sekunde, bei einer Schwankung der Einzelwerte von 29,703 bis 31,220 m pro Sekunde;

für das Bein

1. 33,143 m pro Sekunde, bei einer Schwankung der Einzelwerte von 28,557 bis 38,436 m pro Sekunde;
2. 32,768 m pro Sekunde.

Vergleicht man diese Resultate mit den von HELMHOLTZ und BAXT gefundenen, und zieht man ferner in Betracht, daß die durchlaufene Nervenstrecke des Armes bestimmt länger ist, als die geradlinige Entfernung der Punkte voneinander, so liegt bei der guten Übereinstimmung meiner Werte mit den ihrigen wohl der Schluß nahe, daß ein Unterschied in der Geschwindigkeit der motorischen und der sensiblen Nervenleitung beim Menschen, wenigstens in den hier in Rücksicht gezogenen Nervenbahnen nicht gut angenommen werden kann.

Die Weiterführung der Versuche wird in der Weise zu geschehen haben, daß auch Empfindungspunkte anderer Qualitäten in die Untersuchung hineingezogen werden. Daneben werden noch andere Fragen und Faktoren zu berücksichtigen sein. Über in dieser Richtung fortgesetzte Versuche wird zu geeigneter Zeit weiter berichtet werden.

*(Eingegangen am 9. Oktober 1903.)*

---