

für „Salz“ noch für „Wasser“ entschieden aussprechen; 2) bei weitem in den meisten Fällen kann man mit Entschiedenheit „Wasser“ ausschliessen, allein man schmeckt kein „Salz“. Ueber diese minimalste Leistung des Sinnes dürften Versuche zugleich etwa mit reinem Wasser, Chlornatrium und einem bitteren Stoff Aufschluss geben.

Herrn Prof. von Vierordt, welcher mich zur Bearbeitung dieses Themas aufforderte und bei der Arbeit mit Rath und That unterstützte, sage ich hiefür meinen besten Dank.

---

### **Bemerkungen zu Preyers Abhandlung über die Grenzen des Empfindungsvermögens und Willens.**

Von

**v. Wittich.**

---

Preyers Abhandlung über die Grenzen unseres Empfindens und Willens gab mir Veranlassung, eine Beobachtungsreihe wieder aufzunehmen, die ich bereits vor einigen Jahren begann, die ich aber, weil sie mir den damals gehofften Aufschluss über gewisse Fragen nicht gab, liegen liess, den Ausführungen Preyers gegenüber, aber doch zum mindesten den Werth zu haben scheint, dass sie eine der That- sachen, auf welche derselbe seine Betrachtungen stützt als irrthüm- lich hinstellt.

Bei Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in menschlichen Nerven fand ich, wie ja auch vor mir Hirsch, Donders und Hankel, dass die physiologische Zeit von Auge zu Hand ganz unverhältnissmässig länger ausfiel, als von Haut (Stirn- haut) zu Hand, dass demgemäss, die Zeit für die centralen Vor- gänge in beiden Versuchsweisen als gleich angenommen, für die Op- ticusfasern eine sehr viel trägere Fortleitung zu berechnen kam, als für die Hautnerven. Mein erster Gedanke war, dass diese Ver- zögerung weniger in der Nervenbahn selbst zu finden sei, als vielmehr darin, dass bei den Augenversuchen der dem Opticus adae-

quate Reiz zunächst dessen Endapparate erregte, den Widerstand welcher die Masse der letztern aber jenem entgegenstellte, die Zeit welche zu seiner Ueberwindung erfordert wird — und die etwa der latenten Reizung beim Nervmuskel-Versuche analog wäre — mit in jener Zeit enthalten sei, die ich für das Auge fand; während in den Hautversuchen die Nerven elektrisch erregt wurden, deren Endapparate demgemäss wenigstens nicht nothwendig in Betracht kamen. Es schien mir diese Anschauungsweise um so gerechtfertigter, als sich auch aus ihr möglicherweise die längere Dauer der Nachempfindung im Auge erklärte; denn bietet die Masse der Opticus Endapparate den Lichtschwingungen einen gewissen Widerstand, vergeht eine bestimmte Zeit bis diese sich in eine materielle Bewegung jener umgesetzt haben, so wird nach Fortfall des Lichtreizes unmöglich unmittelbar Ruhe in der Gleichgewichtslage der letztern eintreten, die Nachschwingungen vielmehr, wenn ich mich so ausdrücken darf, noch eine Zeitlang die einmal eingeleitete Erregung unterhalten.

Um die Zulässigkeit dieser Betrachtungsweise zu prüfen, war es nothwendig zu sehen, ob die Zeit von Haut zu Hand ebenfalls länger ausfiel, wenn man statt der electrischen Reizung eine ihr adäquate (Druck), welche durch das Mittelglied der Endapparate wirken müsste, in Anwendung brachte; ferner ob elektrische Reizung des Opticus durch Schliessung einer constanten Kette die Zeit für das Auge verkürzte. Beide Versuchsweisen habe ich ausgeführt, ihre Resultate im 31. Bande der Zeitschrift für rat. Medicin veröffentlicht, finde jedoch, dass sie nicht im Stande sind jene von mir ventilirte Frage endgiltig zu entscheiden, weil, wie sich herausstellte noch ein Umstand hierbei in Betracht kommt, welcher die Vergleichung der Versuche unthunlich macht. Allerdings ergaben sie, dass die Zeit von Druck zur Bewegung länger ausfiel, als die von elektrischer Reizung zu derselben Bewegung:

im Mittel betrug die Zeit von Hand zu Hand

1. bei elektrischer Reizung 0,166 Sec.
2. bei Druck auf dieselbe Stelle 0,236 Sec.

von Fuss zur Hand

1. bei elektrischer Reizung 0,177 Sec.
2. bei Druck 0,256 Sec.

Auch fand sich bei elektrischer Reizung des Opticus die Zeit bis zur Bewegung kürzer, als beim Sehen eines elektrischen Funkens,

diese betrug im Mittel 0.188 Sec.

jene „ „ 0,168 Sec.

Allein andere Versuche lehrten mich, dass, wie es bereits Helmholtz und Baxt vermutheten, nunmehr von Valentin<sup>1)</sup> für die Muskelnerven festgestellt wurde, dass die Intensität des Reizes in allen diesen Beobachtungen eine sehr wichtige Rolle spielt, dass mit ihrem Anwachsen die Zeit abnimmt, dass daher nur solche Versuche unter einander vergleichbar sind, in denen mit gleichen Reizstärken experimentirt wurde. Ich habe seitdem unter Berücksichtigung dieser Thatsache eine Reihe von Versuchen und zwar in sehr verschiedenen Zeiten angestellt, die, wie ich glaube, eher geeignet sein dürften, jene von mir angeregte Frage zu entscheiden. Ich bemühte mich für beide Arten der Hautreize (elektrische und mechanische) die Reizschwellen herauszufinden und benutzte diese als Signale für eine durch die Hand auszuführende Bewegung, während die Zeit zwischen Empfindung und letzterer auf dem Cylinder registrirt wurde. Als Elektroden dienten mir zwei angefeuchtete auf Metallstücke befestigte Schwämme, jene waren auf der Tischplatte so befestigt, dass ich mit Leichtigkeit den Mittelfinger meiner linken Hand unter letztere schieben konnte. Durch Klemmschrauben standen sie in Verbindung mit den Dräthen einer Inductionsrolle. Schliessung und Oeffnung des inducirenden Stromes erfolgte durch den an der Axe des Cylinders befestigten Stahlzeiger, der wie aus meiner früheren Mittheilung ersichtlich, einmal während seines Umganges durch eine Quecksilberrinne streifte und während dessen den Strom schloss. Bei passender Entfernung der primären von der secundären Spirale erhielt ich bei Schliessung und Oeffnung der ersteren ungemein schwache, einem leichten Druck wohl vergleichbare Schläge, die nur bei ungestörter Aufmerksamkeit wahrgenommen wurden. Geht man über diese Stärke der Inductionsschläge nur ein wenig hinaus, so empfindet man und zwar früher bei Oeffnung als bei Schliessung der inducirenden Spirale statt des Drucks einen leichten Stich. Diese Stromstärke wurde vorsichtigst vermieden und nur jene minimale grade noch fühlbare benutzt. Verglichen wurde hiermit ein äusserst geringer Druck, den das über die Eisenständer des Heidenhainschen Tetanomotors hinaus-

---

1) Valentin: Beiträge zur Kenntniss des Winterschlafs der Murmelthiere. J. Moleschotts Untersuchung. etc. Bd. X pag. 526 ff.

ragende Ende der Unterbrechungsfeder auf die Rückseite des Mittelfingers meiner linken Hand ausübte. Zu dem Ende war der Tetanomotor gleichfalls in den primären Stromkreis gebracht und durch die Contactschraube die Feder so weit niedergedrückt, dass bei Schliessung des Stroms die Feder kaum hörbar schwirrte. Nach Fortnahme des für die Tetanisierung des Froschnerven bestimmten Theiles des Apparates wurde der Mittelfinger auf einer ihn gut stützenden Unterlage so unter den Hammer geschoben, dass das meisselförmige Ende des letztern unmittelbar auf der Haut jenes ruhte und diese bei Schliessung des Stroms unhörbar niederdrückte; auch hier war der Spielraum der Feder so gering als irgend möglich genommen, und somit die Druckempfindung so minimal gemacht, dass es auch hier der angestrengtesten und ungestörtesten Aufmerksamkeit bedurfte um ihr folgen zu können. Natürlich war in diesen Versuchen mit dem Tetanomotor, wie in den mit elektrischer Reizung die Feder der inducirenden Spirale festgestellt, so dass ich weder durch das Klirren oder Anschlagen noch durch die Bewegung jener irgend etwas über den Vorgang erfuhr, sondern allein auf mein Hautgefühl angewiesen war. Es ist das für die Versuche sehr wesentlich, als jedes nicht continuirliche, gleichmässige Geräusch in seinen ja stets wechselnden Stärken gar zu leicht unsere Aufmerksamkeit beansprucht, sie von der uns gestellten Aufgabe ablenkt. Bei dieser Einrichtung der Versuche hörte ich während derselben nichts als den ziemlich leisen gleichmässigen Gang des den Cylinder treibenden Uhrwerks, der wohl geeignet ist, auch die Aufmerksamkeit des Beobachters in einer gewissen Gleichmässigkeit zu erhalten. Um die Ruhe während der Beobachtung nicht zu stören, habe ich noch in einer Beziehung die Versuche etwas anders eingerichtet als früher. Statt nämlich den Zeichenstrom, wie es früher geschah (vgl. Zeitschrift f. rat. Med. Band 31), durch einen zweiten von dem ersten isolirten Stahlzeiger schliessen und öffnen zu lassen, so dass bei einer bestimmten Stellung des Cylinders der Zeichenstift sich von selbst diesem anlegt und die Aufgabe des Beobachters es blieb den Zeichenstrom so schnell wie irgend möglich auf ein gegebenes Signal zu öffnen, die so gezeichnete Strichlänge, also die Zeit zwischen letzterem und der Bewegung registrierte, liess ich, um das hörbare Anschlagen des Zeichenstiftes und seines Magneten ganz zu umgehen, den zweiten Zeiger ganz fort und führte die Drahtenden der Zeichenspirale zu einer kleinen

Wippe, bei deren Niederdrücken der Zeichenstift sich an den Cylinder legte und so lange zeichnete, bis ich jene wieder öffnete. Die Schliessung nicht die Oeffnung des Stroms marquirte also hier die Zeit zwischen Empfindung und Bewegung, es kam daher darauf an, die Stelle des Cylinders zu bezeichnen, welche der Schliessung des Reizstromes entsprach. Zu diesem Ende stellte ich vor Beginn des Versuchs den Cylinder genau in dem Momente fest, in dem das Klappen des Tetanomotors mir anzeigte, dass der ihn in Thätigkeit setzende Strom, durch das Eintreten des Stahlzeigers in die Quecksilberrinne geschlossen wurde, und zwar lässt sich diese Einstellung mit der grössten Genauigkeit so ausführen, dass der daran geknüpfte Fehler kaum 0,1 mm. beträgt. Ist diese Stellung des Zeigers herausgefunden, so schliesse ich den Zeichenstrom und ziehe mit dem jetzt anliegenden Stift eine feine Linie der ganzen Cylinderlänge entlang, und der Abstand dieser Linie von den während des Versuchs gezeichneten zu ihr senkrecht verlaufenden giebt mir die Zeit zwischen Reizeintritt und Beendigung der Bewegung. Als Signal diente mir übrigens bei der elektrischen Erregung absichtlich der sehr viel schwächere Schliessungsschlag, benutzt zur Berechnung wurden aber nur solche Zeichnungen, bei denen ich deutlich beide Schliessung und Oeffnung sicher wahrnahm und das durch eine nochmalige Schliessung markirte, so entging ich der Gefahr Schliessungs- und Oeffnungsreize unter einander zu vergleichen.

Ausnahmslos gaben nur die sehr zahlreichen von mir in dieser Art angestellten Versuche das Resultat, dass zur Wahrnehmung einer Druckempfindung eine längere Zeit erfordert wurde, als zu der einer elektrischen Reizung, zwar fielen die Differenzen lange nicht so gross aus, wie in meinen ältern Versuchen, kein einziges Mal aber in entgegengesetztem Sinne. Die nachfolgende kleine Tabelle giebt eine Zusammenstellung einiger meiner Beobachtungen, sie hat gleichzeitig das Interesse, dass sie für die elektrische Reizung ungemein übereinstimmende, aber sehr viel höhere Zeitwerthe giebt, als meine älteren Versuche, in denen ich mit sehr viel stärkeren Reizen experimentirte, also auch ihrerseits die Abhängigkeit der Fortleitungsgeschwindigkeit von der Reizstärke beweisen.

Mittelwerthe in Sec. für die Zeit von Empfindung  
zu Bewegung.

Zahl der Beob- achtungen.	elektr. Reizung	mechan. Reiz.	Differenz.
36	0,2422	0,2618	0,0196
(33) u. (37)	0,257	0,273	0,016
(59) u. (37)	0,249	0,265	0,016
Mittel:	0,2494.	0,2666.	0,0176 Sec.

Es scheint somit, dass ebenso wie im Muskelnerven der Reiz eine gewisse Zeit erfordert, um die Trägheit der Muskelmasse zu überwinden, ein jeder centripetal wirkende adäquate Reiz zunächst einen gewissen Widerstand in den Endapparaten zu überwinden hat, und dass erst die materielle Veränderung dieser zum Nervenreiz werde; anders verhält sich dagegen bei elektrischer Reizung, welche die Nervenstämme selbst direct nicht, wenigstens nicht nothwendig, erst durch Vermittelung ihrer Endapparate erregt. Ist aber diese Annahme richtig, so erscheint auch der weitere Schluss wohl gerechtfertigt, dass die Nachwirkung zum Theil die Folge davon ist, dass die Gleichgewichtsstörung in den Endapparaten (Muskel, nervöse Endorgane) nicht gleich mit dem Fortfall des momentanen Reizes ihr Ende erreicht, der Werth dieser Zeit latenter Erregung in den Empfindungsendapparaten in einem gewissen constanten Verhältniss zur Dauer der Nachempfindung stehe, keineswegs dieses aber gleich sei, weil sie muthmasslich sich zusammensetzt aus den Vorgängen in den peripheren Endorganen und in der Nervenbahn selbst. Diese Ueberlegung veranlasste mich neue Erfahrungen über die Dauer der Nachempfindung vor Allem in den Hautnerven zu sammeln, schien es mir doch nicht undenkbar, dass die immer noch unverhältnissmässig kürzere Zeit zwischen Druck auf die Hand und Bewegung gegenüber jener zwischen Sehen und derselben Bewegung vielleicht darin ihren Grund findet, dass die kurze Dauer der Nachempfindung in der Haut und demgemäss die kurze Zeit der latenten Reizung ihrer Nerven die Erklärung hierzu geben.

Schon Valentin<sup>1)</sup> hat nach Art der Scheibenversuche für

1) Archiv für physiol. Heilkunde Bd. XI.

das Auge auch Beobachtungen über die Dauer der Tastempfindungen gemacht. Er liess zu diesem Zwecke ein Zahnrad mit 160 Vorsprüngen von durchschnittlich 0,7 mm. Breite, durch ein Uhrwerk treiben; je nachdem er dasselbe auf eine der fünf Achsen des Werkes brachte, erhielt er verschiedene Umlaufgeschwindigkeiten und suchte nun diejenige Geschwindigkeit herauszufinden, bei welcher der tastende Finger die Unterbrechungen des Rades nicht mehr fühlte, letzteres vielmehr vollkommen glatt erschien. Valentin hat selbst auf die mannigfachen Schwierigkeiten dieser Untersuchungsmethode aufmerksam gemacht, die theils darin bestehen, dass man kaum im Stande ist, die zu prüfende Tastfläche so genau zu umgränzen und für den Versuch einzustellen, dass man wirklich sicher ist, dass auch stets dieselbe Hautstelle, nicht verschiedene hintereinander getroffen werden; theils aber auch darin, dass die Stärke des Drucks sich während des Versuchs kaum gleich bleiben kann, der Erfolg dieses aber sehr wesentlich von der Intensität des Drucks beeinflusst wird, zunächst weil der Beobachter selbst unwillkürlich die Finger ungleich stark andrückt, dann aber auch, weil mit steigender Geschwindigkeit sich die Centrifugalkraft mehr und mehr geltend macht, die einzelnen Zahnvorsprünge energischer als bei geringerer die Tastfläche abschleudere und den Beobachter inducire, stärker gegenzudrücken, um dieses Schleudern des Fingers zu verhindern. Eigene Versuche, die ich nach dem Muster Valentins anstellte, haben mich aber noch andere Gründe kennen gelehrt, die es mir wahrscheinlich machen, dass man auf diese Weise wohl constatiren kann, dass die Dauer der Nachempfindung sehr gering ist, nicht aber innerhalb welcher Gränzen sie sich hält.

Da mir ein Uhrwerk, wie es Valentin benutzte, nicht zu Gebote stand, so bediente ich mich einer Drehbank, die man bei einiger Uebung recht gut in einen vorherbestimmten Takt bringen kann, diesen auch je nach dem zu befolgenden Zwecke beschleunigen oder verzögern kann. Die Schnur des Schwungrades setzte ein sehr massives eisernes Zahnrad in Bewegung, dessen einzelne glatt polirte Zähne (64 in der Peripherie) etwa 5 mm. von einander abstanden und eben so breit waren. Das Verhältniss des Schwungrades zum Zahnrade war der Art, dass auf eine Umdrehung jenes vier des letztern kamen: Wurde nun beiden eine Geschwindigkeit ertheilt, bei welcher etwa 300 Einzeleindrücke möglichst genau dieselbe Hautstelle

meiner Fingerspitze in einer Secunde trafen, so hatte ich immer noch deutlich die Empfindung sich schnell folgender kleiner Unterbrechungen, d. h. die Peripherie fühlte sich rauh an, steigerte ich aber die Geschwindigkeit noch weiter, so stellte sich sehr bald ein so empfindliches Brennen in der berührten Haut ein, dass ich unwillkürlich den Finger abzog; ich gab daher die Versuche in dieser Weise auf, und kehrte zu einer der Valentinschen ähnlichen Methode zurück, der ich mich schon früher bediente. Eine messingene Scheibe, die auf vertical stehender Axe rotirte, wurde durch eine andere grosse Schwungscheibe mit Schnur in Bewegung gesetzt. Das Verhältniss beider zu einander war der Art, dass auf eine Umdrehung der grossen zwölf der kleineren kamen. Auf der untern Fläche der ersteren war ein metallener Vorsprung, der bei jeder Umdrehung einmal stets an derselben Stelle in ein Zahnrad mit klappendem Geräusch schlug, und so die Vollendung eines Umganges anzeigte. Nach einem nahestehenden Metronom wurde nun die Geschwindigkeit der mit der Hand ausgeführten Bewegung der Schwungscheibe so regulirt, dass jenes Klappen mit dem Tick-Tack dieses zusammenfiel. Man kommt nach einigen Anfangsumdrehungen sehr bald in den richtigen Takt und bestimmt so die Geschwindigkeit nach der Einstellung des Metronoms. Auf die kleine Scheibe wurde nun eine zweite von recht starker Holzpappe (I) gesetzt und beide durch Schrauben aneinander befestigt, um letztere möglichst horizontal in einer Ebene zu erhalten.

Die Scheibe hatte einen Radius von 11 Centimetern und trug 5 Centimeter vom Mittelpunkte im Kreise 72 sehr flache Erhabenheiten, die ich dadurch erhielt, dass ich von der untern Seite her in gleichen Abständen kleine Stifte in die Pappe trieb, die aber zu kurz waren um letztere ganz zu durchbohren, dadurch erhielt die obere Fläche der Scheibe ebensoviele ziemlich gleiche nur wenig vorragende Erhabenheiten und wurde mit recht starkem sogenannten Visitenkartenpapier bezogen, die Stifte von der Rückseite her alsdann wieder entfernt. Die Unebenheiten waren ungemein schwach fühlbar, traten aber sehr viel deutlicher und vollkommen deutlich in ihrer Discontinuität hervor, sobald man die Scheibe in langsame Bewegung setzte während man den Finger leicht auflegte. Der Vorderarm wurde während des Versuchs so gestützt, dass die lose herabhängende Hand sich über der Stelle der Scheibe befand und mit der Spitze des Mittelfingers sie leise berührte, an welcher jener



Kreis flacher Vorsprünge zu fühlen war. Die Bewegung wurde wie bei den Gesichtsversuchen nach dem Schlage eines Metronoms regulirt, und die Geschwindigkeit nach und nach herausprobirt, bei welcher jene Erhebungen wie ein continuirlicher vollkommen glatter Streifen erscheint. In andern Fällen wurde durch Herrn Dr. Grünhagen die Schwungscheibe in Bewegung gesetzt und ich suchte bei geschlossenen Augen durch oberflächliches Betasten mit der Spitze meines Mittelfingers den Kreis herauszufühlen, es wurde dann nach dem Metronom die Geschwindigkeit bestimmt, bei welcher jener Kreis nicht mehr herauszufühlen war.

In noch andern Versuchen bezog ich eine Pappscheibe (II) mit möglichst glattem Papier und dieses mit feinmaschigem Tüll. Die Zahl der Maschen in zwei Kreisen bestimmte ich annähernd aus der Zahl der auf die Radien derselben kommenden. Der Halbmesser des kleineren Kreises zählte 22, der grössere 30 Maschen, demnach kommen auf die Peripherie des erstern ungefähr 133, des letztern 183 Unterbrechung; beide Kreise waren auf dem Papier unter dem Tüll schwarz ausgezogen, um während des Umganges der Scheibe genau die zu betastende Stelle zu sehen. Auch hier wurde die Geschwindigkeit allmählich herausprobirt, bei welcher man die Scheibe an eine der beiden Stellen in vollkommener Glätte fühlte.

Am geeignetsten zu den Versuchen ist jene erstere Scheibe, bei ihr ist die Reibung möglichst gering, während sie bei der Tüllscheibe bei nur einigermaassen bedeutender Geschwindigkeit so gross wird, dass sie ein unangenehm brennendes Gefühls in der tastenden Fläche erzeugt.

Endlich fertigte ich mir noch eine Scheibe (III) von glattem aber recht steifem Cartonpapier, in welchem in einem Abstände von 85 Millim. vom Mittelpunkt 64 kreisrunde Oeffnungen durch ein scharfes Locheisen geschlagen waren, die Ränder dieser Löcher waren vollkommen glatt ohne Rauigkeiten und hatten einen Radius von ca. 3 mm.

Die Resultate, welche ich mit diesen verschiedenen Scheiben erhielt, geben durchweg sehr viel kleinere Werthe, wie sie Valentin fand für die Dauer der Nachempfindung.

So verschwanden Herrn Dr. Grünhagen, der mir bei diesen Versuchen assistirte, die Einzeleindrücke der ersten Scheibe mit 72 flachen Erhabenheiten erst bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit,

welche der tastenden Fingerspitze 1915,2 Stösse in der Secunde ertheilte, mir selbst bei 1728 Stössen in derselben Zeit. Jene mit Tüll überzogene Scheibe erschien mir vollkommen glatt erst bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit, welche 3840 Maschen in einer Sekunde bei meinem Finger vorüberführte. Die 3. Scheibe endlich mit 64 kreisrunden Ausschnitten wurde von mir völlig glatt gefühlt wenn 1075 von Herrn Dr. Grünhagen, wenn 1126,4 Stösse in der Secunde die Fingerspitze trafen.

Ich glaube nun keineswegs, dass diese Versuche schlussfähig, dass meine sehr hohen Zahlen wirklich bereits verwerthbar sind, denn einmal wird jeder, der sie nachmacht, sich leicht davon überzeugen, wie sich bei steigender Geschwindigkeit mit der Stärke des Drucks auch die Art der Empfindung ändert, wie die anfängliche Tastempfindung durch die sehr heftige Friction der Haut in ein Gefühl gesteigerter Wärme, schliesslich in einen Schmerz übergeht und selbst nach Beendigung des Versuchs eine gewisse Taubhaut in der angewendeten Tastfläche ziemlich lange verbleibt. Es ist ferner nicht zu übersehen, dass es fast zu den Unmöglichkeiten gehört, den tastenden Finger zu der sehr schnell rotirenden Scheibe so zu fixiren, dass man vollkommen sicher bleibt, stets dieselbe Stelle der Haut zu treffen. Eins aber geben diese Versuche doch schon unzweifelhaft, dass Preyers Angaben nicht richtig sein können, denn selbst bei Geschwindigkeiten, bei denen alle jene möglichen Fehler kaum zur Geltung kommen, fühlt man die Discontinuität der Empfindung bei einer Folge der Einzeleindrücke noch vollkommen sicher, welche aber jene von Preyer gefundenen um ein Bedeutendes übertreffen. Wurden beispielsweise die Scheiben I, II und III so gedreht, dass ihr Umlauf eine Secunde betrug, so erhielt der tastende Finger 72 resp. 133, 183, 64 einzelne Stösse in dieser Zeit, dabei traten weder jene Alienationen der Empfindung ein, wie bei grösserer Geschwindigkeit, der Finger wurde so gut wie gar nicht geschleudert, liess sich daher leicht durch passende Lagerung fixiren, fühlte aber unzweifelhaft die Discontinuität der Eindrücke.

Wollte es mir hiernach nicht gelingen, in dieser Weise die Grenze der Nachempfindungen für die Hautnerven zu bestimmen, so glaube ich auf anderem Wege doch einen Schritt weiter gekommen zu sein. Es ist eine leicht zu machende Beobachtung, wie deutlich man die Vibrationen tönender Körper durch die Haut empfindet, berichten uns doch Taubstummen-Erzieher, dass es ihnen

gelungen sei, einzelnen intelligenten Zöglingen einen nicht geringen Grad von Unterscheidungsfähigkeit der Tastflächen für das schnellere oder langsamere Vibriren hoher oder tiefer Töne anzuerziehen<sup>1)</sup>. Ich besitze von Herrn G. Appunn in Hanau eine Zungenpfeife (B—<sup>1</sup> 117,33 Schn.) die an Hörbarkeit ihrer Obertöne wahrhaft Ueber-raschendes leistet, sehen wir aber von dieser ab, da es doch zweifelhaft bleibt, ob auch ihre Schwingungen sich der Holzbekleidung mittheilen, jedenfalls aber fühlt die festaufgelegte Hand beim Anblasen der Zunge ein mächtiges Zittern, dessen Einzelstöße, entsprechend dem Grundton, sich 117,3mal in der Secunde folgen. Ich übersehe jedoch dabei nicht, dass grade die gewaltige Klangmasse solcher Pfeifen den Vorgang der Art complicirt, dass es doch schwer zu entscheiden sein dürfte, wem jene fühlbaren Vibrationen ihre Entstehung verdanken. Weiter kommt man schon mit Stimmgabeln. Legt man die Hand fest auf den Resonanzkasten einer solchen, sobald sie angeschlagen ist, so fühlt man selbst bei verstopften Ohren ihr allmähliches Verklinken vollkommen deutlich. Nicht anders wenn man eine in einen Holzklotz geschraubte Gabel anschlägt, während man jenen fest mit der Hand umfasst; auch so fühlt man sie oft noch tönen, während man sie weit ab vom Ohre bei vorgestrecktem Arm kaum noch hört. Die Gabeln, welche ich benutzte (von Herrn Dr. R. König Paris) Ut 3 geben nach französischer Zählung 512 Schwingungen, da aber jeder Hin- und Hergang der schwingenden Gabel sich der Holzmasse mittheilt, so sind es 512 Erschütterungen in der Secunde, die meine Hand als ein deutliches Erzittern wahrnimmt, deren Einzeleindrücke sich noch nicht zu einer continuirlichen Empfindung aneinanderreihen.

Ich stellte mir nun die Frage, bis zu welcher Grenze vermag man die Schwingung einer angeblasenen Zunge oder einer tönenden Seite noch mit dem tastenden Finger wahrzunehmen. Um jenes zu prüfen, benutzte ich eine metallene Zungenpfeife, deren Tonhöhe ich durch eine leicht zu bewirkende Verschiebung ihrer Fixation innerhalb gewisser Grenzen ganz allmählich verändern konnte. Das freie schwingende Ende der Zunge trug einen feinen sie wenig belastenden metallenen Stift. Zu beiden Seiten derselben würden

---

1) Houdin (Paris) Heilung von Taubstummen. Froriep, Nat. 1856 I. 302.

Dr. Kitto: Taubstumme. ebend. 1846 und Westminster Review. 1846.

auf die Röhre der Pfeife, in deren Ausschnitt die Zunge schwingt, zwei Korkstücke von einer allmählich herausprobierten Dicke aufgekittet, die es erlaubte, den Finger darüber zu legen ohne den vertikalen Stift der Zunge während deren Ruhelage zu berühren. Wurde nun bei verstopften Ohren die Zunge angeblasen, während der Finger die vorbemerkte Stellung zur Zunge erhielt, so fühlte dieser, so lange noch eine Discontinuität merklich war, einen sich immer steigenden Kitzel, sobald sie verschwand, einen deutlichen continuirlichen Druck. Der Versuch gestattet nach seiner ganzen Einrichtung vollkommen genau stets dieselbe Stelle zu erregen, weil die seitlichen Schwankungen der Zunge kaum merklich sein dürften; er gestattet ferner durch gleichmässiges Anblasen auch einen möglichst gleichmässigen intensiven Druck auf die Tastfläche zu üben; er hat aber den Uebelstand, dass während bei den tieferen Tönen (geringerer Schwingungszahl) der darüber liegende Finger die Excursionen der Zunge wenig oder gar nicht behindert, dieses doch bei den höheren Tönen eintritt, so dass Längen der Zunge, die ohne den Finger noch vollkommen leicht angeben, diess während des Versuchs nicht thun. Wurde die Tonhöhe, bei welcher ich noch vollkommen sicher die Schwingung der Zunge fühlte, bestimmt, so ergaben sich allerdings nicht durchweg constante Werthe, annähernd aber entsprach sie dem  $a''=880$  Schwingungen.

Die Versuche über die Fühlbarkeit schwingender Seiten wurden mit einem Monochord angestellt, dessen ganze Länge mit der Königschen Stimmgabel Ut 3 (512) in Einklang gebracht wurde. Während die Saite möglichst gleichmässig angestrichen wurde, ruhte mein Finger auf dem sie an einem Ende stützenden Steg, ich fühlte die dem letztern mitgetheilten Vibrationen noch vollkommen deutlich selbst, als ich die Saite durch Verschiebung des Stegs um die Hälfte verkürzt hatte, sie also 1024 Schwingungen machte, und selbst dann noch, wenn ich den Finger leicht ein wenig über den Steg hinaus auf der Seite selbst ruhen und die letztere nach kräftigem Anstrich allmählich verklingen liess. Und selbst hier war die Grenze noch nicht erreicht, mein College Aug. Müller und Herr Dr. Grünhagen gaben an, das Schwingen noch zu fühlen bei einer Saitenlänge, welcher 1552,9 Schwingungen entsprachen, ich fühlte sie sicher nicht mehr bei 1506. Herr Dr. Müller, der in meinem Laboratorium beschäftigt war, bei 1466,6 Schwingungen in der Secunde.

Da nun aber hier wie bei den Versuchen mit der Zunge das Fühlen der Vibrationen nichts anders bedeutet, als dass die Einzeleindrücke, welche die Erschütterung der Saite oder Zunge bewirkt, noch nicht durch zwischen geschaltete Nachempfindung von der Dauer eines Intervalls zweier Reize zu einer continuirlichen Empfindung verschmelzen, so geht wohl unzweifelhaft aus ihnen hervor dass die Dauer einer Nachempfindung in der Haut verschwindend kurz kaum  $\frac{1}{1000}$  Secunde beträgt. Es geht aber weiter aus ihnen hervor, dass die Annahme, dass die Dauer der Nachempfindungen unabhängig von den Zuständen in der Peripherie lediglich bedingt sei von dem Widerstand, welchen die centralen Ganglien einer schnelleren Folge von Einzelerregungen entgegensetzen, wenigstens in der Allgemeinheit keine Geltung findet, wie sie ihr Preyer zu geben sich bemühte. Ja, es liesse sich umgekehrt wohl fragen, ob die längere Dauer der Nachempfindung im Auge und Ohr nicht grade darin ihren Grund findet, dass deren Endapparate den sie treffenden adäquaten Reizen einen sehr viel grössern Widerstand bieten, als die in der Haut gelegenen, dass jene einmal in Bewegung gebracht, später nach Fortfall des Erregers nicht gleich wieder zur Ruhe kommen, bis das aber geschehen, die Nervenfasern in Erregung erhalten wird.

Noch von anderer Seite her lässt sich ein Bedenken gegen die Zulässigkeit der Auffassung Preyers geltend machen. Die Dauer der Nachempfindung scheint wenigstens durchaus nicht in allen Theilen eines und desselben Sinnesapparates gleichwerthig zu sein, und wenn sich auch herausstellt, dass diese Verschiedenheit wirklich nur eine scheinbare ist, so setzt sich doch unsere Gesammtempfindung in ihren zeitlichen wie räumlichen Verhältnissen, die aus ihr geschöpften Vorstellungen aus jenen Einzelempfindungen so wie sie uns nach der eigenthümlichen Anordnung der peripheren Nervenausbreitungen geboten werden, zusammen. Ein und dieselbe Bewegung erscheint uns langsamer, wenn wir sie mit den seitlichen Theilen unserer Retina, statt mit den centralen verfolgen. Derselbe Gegenstand, der Abstand zweier Lichtpunkte, kleiner in der Visio indirecta als in der directa, und es hilft uns dabei wenig, dass wir wissen, dass beide Unterschiede nur scheinbare sind, unserem Urtheile liegen wir doch stets die mit jenen Theilen gewonnenen Wahrnehmungen zu Grunde. Auf meine Veranlassung hat Herr Dr.

Rupp<sup>1)</sup> die scheinbar längere Dauer der Nachempfindung in den seitlichen Theilen der Retina gegenüber der macula lutea in seiner Inaugural-Dissertation besprochen. und ist dabei zu dem Resultate gekommen, dass diese bedingt sein könne in der geringeren Unterscheidungsfähigkeit jener Theile für Helligkeits-Differenzen, oder in den grösseren peripheren Verbreitungsbezirken, welche muthmaasslich eine Nervenprimitivröhre in den seitlichen Theilen der Netzhaut findet. Wäre letztere Annahme richtig, so würde also ein in kreisförmiger Bewegung sich befindendes Lichtobjekt bei gleichbleibender Geschwindigkeit längere Zeit auf dem Empfindungsbezirke einer excentrisch endenden Faser verweilen, als im Centrum, demgemäss auch für jene eine geringere Geschwindigkeit erfordert werden, um eine continuirliche Empfindung zu erzeugen, als bei dieser. Man findet nun bei Tastversuchen ein ganz ähnliches Verhältniss, auch in ihnen zeigt sich, dass für jene Tastflächen, die wir am meisten zu brauchen pflegen, welchen der feinste Raumsinn zukommt, die Discontinuität zeitlich sich folgender Eindrücke sehr viel später verschwindet, als anderen weniger bevorzugten; in den Fingerspitzen später als an dem Ballen des Daumens; ich brauche für letzteren z. B. kaum halb die Geschwindigkeit bei Benutzung rotirender Scheiben als für jene.

Auch hier liegen jene beiden Möglichkeiten der Deutung vor. Nicht nur spricht die verschiedene Feinheit des Ortssinnes an verschiedenen Körpertheilen dafür, dass auch die Verbreitungsbezirke einer Nervenröhre (Webers Empfindungskreise) sehr verschiedene Ausdehnung haben, ein über dieselben fortgleitender Druck je nach den verschiedenen Körpertheilen also auch verschieden lange Zeit auf den Endausbreitungen derselben Nervenfasern ruht, daher eine bald langsamere bald schnellere Wiederkehr des Drucks erfordert, um eine continuirliche Empfindung zu vermitteln; sondern wir wissen auch aus den Angaben Webers<sup>2)</sup>, dass die Fähigkeit Druckdifferenzen zu unterscheiden an den verschiedenen Theilen unserer Hautoberfläche durchaus nicht gleichwerthig ist, dass sie feiner in

---

1) J. Rupp: Ueber die Dauer der Nachempfindung auf den seitlichen Theilen der Netzhaut. Inaugural-Dissertation. Königsberg 1869.

2) E. H. Weber: Tastsinn und Gemeingefühl. Rud. Wagners Handwörterbuch, Bd. III pag. 548.

Fechner, Psychophysik Bd. I pag. 266.

den Fingerspitzen ist, als in der Volarfläche der Hand, am Ballen des Daumens u. a. O. Nun wird aber die Empfindung, die zeitlich sich folgenden Drucke auf die Haut ausüben so lange eine discontinuirliche sein, als die Druckdifferenzen noch wahrgenommen werden, welche dadurch zu Stande kommen, dass zwischen je zwei einander folgende Drucke ein Moment der Entlastung zu liegen kommt, welches natürlich um so vollkommener eintritt, je längere Zeit die Hautstelle fand um aus dem Zustande der Zusammenpressung in den der Ausdehnung überzugehen, die dagegen um so geringer ausfallen müssen, je näher die beiden Erregungen aneinanderrücken, so dass die Wirkung des ersten noch nicht völlig abgelaufen ist, wenn die zweite dieselbe Hautstelle trifft.

Ich will die Zulässigkeit der letztern Erklärung nicht in Abrede stellen, gleichwohl aber spricht doch die Thatsache gegen sie, dass es bei schwingenden Saiten ziemlich gleichgiltig zu sein scheint, ob man dieselbe mit der einen oder der andern Tastfläche berührt; auch mit dem Ballen meines Daumens fühle ich noch deutlich die dem Steg mitgetheilten Vibrationen bei halber Länge des Monochords. Es wird hieraus aber auch weiter klar, dass bei den Scheibenversuchen die Dauer der Nachempfindung nur scheinbar in den weniger gebräuchlichen Tastflächen länger ist als in den Fingerspitzen. Dasselbe gilt auch wohl für die seitlichen Theile der Retina. Aubert hat die Dauer der Nachbilder in letzteren direkt dadurch bestimmt, dass er mit der Uhr die Zeit feststellte, innerhalb welcher ein in ihnen bewirktes Nachbild verschwand. Nach seinen Angaben fällt dieselbe sogar kürzer aus, als für die Visio directa, allein dabei ist, wie er selbst hervorhebt, wohl zu bedenken, dass auf den excentrischen Netzhauttheilen die Beleuchtung oder die von einem Punkte auf die Retina gelangende Lichtmenge geringer sein muss, als im Centrum, weil die Pupille als Diaphragma wirkt, die Basis des zur Netzhaut convergirenden Strahlenkegels eine grössere ist für Strahlen, welche das Centrum jener, als die die Peripherie treffen <sup>1)</sup>, dass aber ferner die Dauer des Nachbildes von der Intensität des primären Eindrucks abhängt.

Allein mag es sich nun mit der wirklichen Dauer der Nachempfindung in unsern Tast- und Sehnervenfasern so oder so ver-

---

1) Aubert: Beitrag zur Kenntniss des indis. Sehens in J. Moleschott Unters. z. Naturl. etc. Bd. IV, pag. 222.

halten, dieselbe in verschiedenen Theilen ihrer Ausbreitung gleich oder innerhalb enger Grenzen verschieden sein, das leuchtet aus unserer Betrachtung unzweifelhaft ein, dass die scheinbare Dauer wesentlich bedingt ist von der peripheren Anordnung, da aber diese nicht jene bestimmend für die Continuität unserer Empfindungen und der mit diesen verknüpften Vorstellungen ist, so dürfte wenigstens für diese beiden Sinnesnerven Preyers Voraussetzung dass diese nur bedingt sei durch die Trägheit der centralen Ganglien, dass die Vorgänge in den peripheren Apparaten keinerlei direkte Beziehungen für dieselbe habe, nicht stichhaltig sein.

Auch Preyers Versuch, die untere Grenze unserer Tonempfindung zur Stütze seiner Ansicht über die Bedeutung der centralen Ganglien zu benutzen, ist eine wenig glückliche zu nennen. Nach Helmholtz's Theorie der Tonempfindung bedeutet jene untere Grenze im Wesentlichen doch nichts anderes, als dass wir für periodische Erschütterungen die langsamer als 30 mal in der Secunde erfolgen, keinen Cortischen Bogen besitzen, dass also jene trotz aller ihrer Periodicität nicht im Stande sind, einen jener Theile in Mitschwingung zu versetzen, welche die Tonempfindung vermitteln, dass aber das Ohr gleichwohl noch schneller folgende Erregungen als zeitlich von einander gesonderte zu percipiren im Stande ist, geht aus so manchen Beobachtungen hervor. Helmholtz sagt darüber (Physiologie der Tonempfindung pag. 261): »das Ohr zeigt den übrigen Nervenapparaten gegenüber eine grosse Ueberlegenheit in dieser Beziehung, es ist in eminentem Grade das Organ für kleine Zeitunterschiede, und wurde als solches von den Astronomen längst benutzt. Es ist bekannt, dass, wenn zwei Pendel nebeneinander schlagen, durch das Ohr unterschieden werden kann bis auf ungefähr  $\frac{1}{100}$  Secunde, ob ihre Schläge zusammentreffen oder nicht. Das Auge würde schon bei  $\frac{1}{24}$  Secunde, oder selbst noch bei viel grösseren Bruchtheilen einer Secunde scheitern, wenn es unterscheiden sollte, ob zwei Lichtblitze zusammentreffen oder nicht.« Bei Besprechung der Grenzen, bis zu welcher wir noch im Stande sind Schwebungen zu vernehmen, sagt er (pag. 257): »so kann man stufenweise von 4 zu 132 Schwebungen in der Secunde übergehen, und sich überzeugen, dass zwar die Fähigkeit sie zu zählen aufhört, aber nicht ihr Charakter als einer Reihe von Tonstössen, welche eine intermittirende Empfindung hervorbringen, verloren geht.«

Was heisst es aber anders als, dass die Dauer unserer Ge-



hörs-Nachempfindung kleiner ist als  $\frac{1}{132}$  Secunde, wenn wir 132 sich in einer Secunde folgende Stösse noch discontinuirlich percipiren? Preyer begegnet zwar diesem Einwande bereits in seiner Abhandlung, allein, wie ich glaube mit Unrecht, denn dass wir neben den Schwebungen noch einen Ton wahrnehmen, jene nur eine intermittirende Verstärkung desselben bewirken, ändert an der Thatsache nichts, dass wir dieses abwechselnde An- und Abschwellen des Tons noch discontinuirlich empfinden, selbst wenn sie sich 132 mal in der Secunde folgen. Ich möchte die vorliegende Thatsache mit einer Erscheinung vergleichen, die man leicht bei Scheibenversuchen mit dem Auge wahrnehmen kann. Bringt man auf einer weissen Scheibe einen farbigen Sector an und lässt jene rotiren, so wird man schliesslich eine Geschwindigkeit herausfinden, bei welcher wir statt jenes einen lichterem farbigen aber durchaus gleichmässigen Kreis sehen, bevor wir aber hinzukommen, sieht man einen wohl farbig sich von der Grundfläche abhebenden aber deutlich flackernden Kreis, in dem gesättigtere und weniger gesättigte Abschnitte mit einander wechseln; auch hier haben wir einen wohl continuirlichen Farbeindruck, in ihm aber noch die discontinuirliche Empfindung verschiedener Grade der Intensität und erst dann ist die Grenze unserer Nachempfindung erreicht, wenn auch diese Discontinuität schwindet.

Nach allem glaube ich, dass Preyer den centralen Vorgängen bei der zeitlichen Begrenzung unseres Empfindens eine viel zu ausschliessliche Bedeutung zuschrieb, wenn er diese von der Widerstandsfähigkeit jener allein abhängig machte, dass unzweifelhaft der ganze die Empfindung vermittelnde Apparat in allen seinen einzelnen Theilen, in seinen peripheren und centralen Endapparaten, wie in seinen Nervenbahnen bestimmend auf den zeitlichen Verlauf, auf die schnellere oder trägere Folge der einzelnen Empfindungen mitwirkt, dass die Dauer der Nachwirkung eines die Peripherie treffenden Reize, ihren Grund in der mannigfachen, je nach den physikalischen Eigenschaften jedes einzelnen verschiedenen Widerständen der einzelnen Abschnitte des ganzen Apparates findet.

Noch erübrigt es einem Einwande zu begegnen, welchen Vierordt gegen die Zulässigkeit von Valentin's Versuchen über die Nachempfindung in der Haut, also auch wohl gegen die von mir hier mitgetheilten, macht. In seiner Abhandlung über den Zeitsinn sagt er pg. 168: die Annahme, dass 132 Schwebungen der Töne, 400

bis 600 Ungleichheiten von Tasteindrücken in der Secunde wirklich in unser Bewusstsein fallen, dürfte schon von psychologischer Seite auf erhebliche Zweifel stossen; ihre Unwahrscheinlichkeit lässt sich aber mit unzweideutigeren physiologischen Gründen darthun. Der Weg von der Fingerspitze bis zum Gehirn ist auf mindestens 1 Meter anzuschlagen: dieser Weg würde zurückgelegt in weniger als  $\frac{1}{1000}$  Secunde, was eine Secundengeschwindigkeit der Nervenleitung von mehr als 600 Metern ergeben würde. Diese Zahl ist aber gänzlich unvereinbar mit den direkten Messungen über die Geschwindigkeit der Nervenleitung in Warmblütern — welche durchschnittlich 30

$\frac{\text{Meter}}{\text{Secunden}}$  beträgt — weshalb sich die Annahme nicht aufrecht er-

halten lässt, dass unser bewusster Empfindungszustand mit den so schnell wechselnden objectiven Reizen wirklich gleichen Schritt halten könne. Beim Valentin'schen Versuche kommen also von den vielen Tasteindrücken, die wir empfangen, bei weitem nicht alle zur Perception; oder wohl richtiger, es verbinden sich je eine Anzahl von Empfindungen der Berührung und der Pause zu einer Gesamtempfindung; deshalb kann die Dauer der Einzeleindrücke nicht benützt werden zur Bestimmung der Dauer der kürzesten Empfindung.«

Für die Tastempfindung lässt sich gegen diesen Einwand zunächst geltend machen, dass es bei allen mit ihnen angestellten Versuchen kaum anzunehmen ist, dass die einzelnen einander folgenden Vibrationen stets ein und denselben Endapparat, ein und dieselbe Nervenfaser trifft, dass bald die eine bald die andere intensiver erregt wird, dass es aber bei der Bestimmung der Dauer der Nachempfindung gewiss gar nicht einmal darauf ankommt stets ein und dieselbe Nervenröhre zu treffen, da ja auch wenn zwei zeitlich sich folgende Erregungen zwei benachbarte Nervenbahnen einschlagen, die Vorstellung der Discontinuität nur dann Platz greifen wird, wenn der Erregungszustand der zuerst gereizten bereits vollständig abgelaufen ist, bevor der der zweiten beginnt. Liegen die Endausbreitungen beider Nerven weit von einander ab, so erhalten wir wohl unter Umständen, wenn jene letzte Bedingung nicht erfüllt wird, die Erregung des einen die des andern Rohres gewissermassen überholt: die Empfindung räumlicher aber nicht zeitlicher Discontinuität — um letztere aber handelt es sich in allen unsern hier angeführten Versuchen. Nur in den mit einer vibrirenden Zunge angestellten wäre es noch denkbar, dass die Er-

regung auf ein und dieselbe Nervenbahn begrenzt bliebe, obwohl auch hier die doch nie ganz zu vermeidenden seitlichen Schwankungen des Stiffes auf der Zunge verschiedene sehr nahe benachbarte Empfindungsbezirke treffen können. Allein eine viel wichtigere Zurückweisung erfährt Vierordt's Einwand durch die Erfahrungen, die wir am Muskelnerven machen können.

Dieselbe Berechnung, die Vierordt für den Empfindungsnerven, lässt sich nämlich auch für den Frosch-Muskelnerven anstellen.

Ist die Fortleitungsgeschwindigkeit in ihm im Mittel =  $30 \frac{\text{Meter}}{\text{Sec.}}$

und tetanisiren wir ihn etwa in einem Abstände von 30 Millimeter vor seinem Eintritt in den Muskel durch discontinuirlich wirkende Ströme, so braucht jeder Reiz bis zu seiner Ankunft in letzterem circa  $\frac{1}{1000}$  Sec.; wir können aber, wie bereits aus Helmholtz Mittheilungen ersichtlich, den Froschmuskel vom Nerven aus tetanisiren — d. h. in dauernde Zusammenziehung bringen — wenn 1200 Unterbrechungen des Stromes in 1 Secunde einander folgen. Auch hier wird der erste Reiz sein Endziel noch nicht erreicht haben, wenn ihm der zweite bereits folgt u. s. w., es würde also zu einer Summation der einander folgenden Reize kommen müssen, und doch spricht der darauf eintretende Tetanus für eine Discontinuität in der Wirkung; käme es wirklich zu einer Summation, so müsste sich eine Stromstärke und eine Geschwindigkeit der Unterbrechung herausfinden lassen, bei welcher der discontinuirliche Strom wie ein continuirlicher constanter nur eine Schliessungs-event. Oeffnungszuckung bewirkt.

Herr Dr. Grünhagen hat im hiesigen Laboratorium mit einer Vorrichtung eine Reihe hier einschlagender Versuche angestellt, welche es gestatteten, eine sehr viel grössere Zahl von Stromunterbrechungen in Anwendung zu bringen, nie aber wollte es ihm hierbei gelingen andre als tetanisirende Wirkungen zu beobachten. Ich habe selbst ein paar hierher gehörige Versuche mit derselben Vorrichtung angestellt. Sie besteht im Wesentlichen (ihre genauere Beschreibung giebt wohl Herr Dr. Grünhagen selbst), aus einer messingenen Scheibe, die um eine horizontale Axe drehbar, auf ihrem Rande 48 feine nadelförmige Vorsprünge hat, und durch Schnur und Schwungrad gedreht wird. Unter jenen Vorsprüngen befindet sich ein von allem übrigen Metallwerk des Apparats isolirtes Quecksilbernäpfchen, dessen Inhalt mit einer Klemmschraube in lei-

tender Verbindung steht. Bei den Versuchen wird der eine Draht der reizenden Kette (ein Meidingersches Elementenpaar) mit der metallenen Axe der Scheibe durch eine Klemme verbunden, während der andre zu dem Quecksilbernäpf führt, der Strom also jedesmal geschlossen und geöffnet, sobald einer jener Vorsprünge durch den darunter befindlichen Quecksilbertropfen geht. Das Verhältniss des etwa 5 Fuss Durchmesser führenden Schwungrades zur Stromschliessenden Scheibe ist der Art, dass 60 Umdrehungen dieser auf eine jener kommen. Bei dem Versuche wurde der frisch auspräparirte *N. cruralis* eines grossen Frosches in einem Abstände von circa 30 Mm. vor seinem Eintritt in die Kniekehle auf die unpolarisirbaren Elektroden der Kette gelegt, in den Kreis der letzteren noch ein Rheochord als Nebenschliessung und ein Du Bois'scher Schlüssel eingeschaltet; jener um die Stromstärke passend zu reguliren, dieser um den Strom erst wirken zu lassen, sobald das Schwungrad die gewünschte Geschwindigkeit erreichte. Vorweg wurde genau geprüft, ob auch jeder der Scheibenvorsprünge seine Dienste that, und zwar bei einer Stromstärke (anfangs) die Schliessungs- und Oeffnungszuckung gab. War alles soweit vorbereitet, so wurde bei offenem Schlüssel das Schwungrad von einem Gehülfen in Bewegung gesetzt, und sobald es eine ausreichend erscheinende Geschwindigkeit erlangt hatte, der Strom geschlossen. Ich bin in diesen Versuchen nicht weiter gegangen als bis zu 6 Umdrehungen des Rades in 5 Sekunden, d. h. 360 Umdrehungen der Scheibe, da letztere aber bei jedem Umgang den Strom 48mal schliesst und öffnet, so wird der Nerv innerhalb einer Secunde nahezu 7000 (6912) mal erregt, der Unterschenkel verfiel hiebei in den heftigsten Tetanus, und trotz der colossalen Schnelligkeit, mit der sich die einzelnen Erregungen folgten, kam es doch nie zu einer wirklichen Summation.

Dem Einwande, dass dieser Tetanus dem bei Anwendung sehr starker constanter, electrolytisch wirkender Ströme gleich zu achten, also doch als eine Folge der Reiz-Summation zu deuten sei, glaube ich durch folgende Versuche, wie sie gleichfalls bereits von Herrn Dr. Grünhagen mit derselben Vorrichtung und den gleichen Resultaten angestellt wurden, begegnen zu können.

Nimmt man von vornherein durch Einschaltung grosser Widerstände in den Stromkreis, oder durch Anwendung schwach wirkender Electromotore den Reiz so gering, dass Schliessung und Oeffnung des Stromes ohne allen Erfolg bleiben, oder doch nur eine

eben merkbare Schliessungszuckung erfolgt, so sollte man, wenn es wirklich zur Summation der einzelnen schwachen Reize käme, bei sehr schneller Folge derselben auch eine energischere Wirkung erwarten, statt dessen aber bleiben die Muskeln bei Schliessung und Oeffnung des Kreises in absoluter Ruhe, um so gleich in Tetanus überzugehen, sobald man die Umdrehung der Scheibe verzögert.

Man kommt bei diesen Versuchen zu der Annahme, dass die materielle Veränderung, welche die Nervenfasern an der Stelle des einbrechenden Reizes erfährt, von verschwindend kurzer Dauer bereits abgelaufen sein muss, wenn der nächstfolgende eintritt, dass jeder einzelne einer Welle vergleichbar seinem Vorgänger folgt ohne ihn zu überholen, dass dem Anprall jeder dieser Wellen an der Substanz des Muskels, wenn derselbe intensiv genug ist, eine Thätigkeitsäusserung des letzteren folgt, der Gesamtausdruck aller dieser Einzelzuckungen, wenn sie schnell genug folgend dem Muskel keine Zeit lassen in seine Gleichgewichtslage zurückzukehren — der Tetanus ist. Was aber für den Muskelnerven gilt, das können wir auch auf die Vorgänge im Empfindungsnerven verwenden, und brauchen somit nicht einmal jene vorhin gemachte Annahme einer ungleichzeitigen Einwirkung der Reize auf verschiedene Nervenbahnen zu machen. Auch wenn ein und dieselbe zeitlich nach einander erregt wird, können die einander folgenden sich aber nicht überholenden Erregungswellen gar wohl noch gesonderte Erregungszustände in den centralen Ganglien und somit eine Discontinuität der Empfindung veranlassen, deren Einzelimpulsen wir wohl nicht mehr mit unserem Bewusstsein folgen, sie zählen können, von deren Vorhandensein wir aber eine vollkommen sichere Vorstellung zu gewinnen vermögen. Erst dann schwindet nach meiner Voraussetzung diese Discontinuität, wenn die zwischen je zwei Impulsen gelegene Zeit so klein wird, dass die Masse der peripheren Endapparate ihnen nicht mehr folgen kann, d. h. die der Empfindung vorausgehende materielle Veränderung in diesen noch nicht abgelaufen, letztere noch nicht in ihre Gleichgewichtslage zurückkehrten, wenn der zweite Reiz dem ersten folgt. Der Vorgang erscheint hier vollkommen analog dem im Muskel. Auch die dauernde Verkürzung dieses im Tetanus trotz der Discontinuität des Reizes ist bedingt durch seine physicalischen Eigenschaften; zu seiner Ausdehnung nach vorausgegangener Zusammenziehung gebraucht er eine bestimmte Zeit und erst dann erfolgt eine dauernde Zusammenziehung, wenn die Einzel-

reize einander so schnell folgen, dass jeder spätere dem Muskel in seiner Verkürzungsperiode — in dem aufsteigenden Theile seiner Zuckungscurve — trifft.

Die Zeit aber, welche die verschiedenen Endapparate brauchen um zur Ruhe kommen, scheint eine sehr verschiedene, für die Tastvorrichtungen verschwindend kleine zu sein. Wollte man andrerseits die Continuität zeitlich sich folgender Empfindungen, wie Preyer es will, als einen Tetanus der centralen Ganglienzellen auffassen, so müsste man wenigstens annehmen, dass den Zellen der verschiedenen Sinnesapparate sehr verschiedene Widerstandsfähigkeit zukäme, der Tetanus der einen nach einer sehr viel geringeren Zahl von Einzelerregungen einträte, als bei einer andern. Für eine solche Annahme fehlt vorläufig, wie ich glaube jede Analogie, während jener Darstellung die Vorgänge beim Muskeltetanus ein durchaus zulässiges Analogon bieten.

---