

## Die Schnelligkeit psychischer Processe.

Von

F. C. DONDERS.

---

### Erster Artikel.

---

#### Einleitung.

Während die Philosophie sich im Abstracten mit der Betrachtung der psychischen Erscheinungen beschäftigt, hat die Physiologie, über die Resultate der Philosophie verfügend, den Zusammenhang zwischen diesen Erscheinungen und der Gehirnthatigkeit zu untersuchen. Auf morphologischem Gebiet springt dieser Zusammenhang sogleich in's Auge. Gegenüber den bekannten Thatsachen der vergleichenden Anatomie und Anthropologie ist jeder Zweifel über das Bestehen eines solchen Zusammenhangs unhaltbar. Aber die Physiologie kann sich mit diesem allgemeinen Resultat nicht zufrieden stellen. Im Verband mit den Störungen, die bei krankhaften Veränderungen beobachtet werden, sucht sie durch das Experiment die verschiedenen psychischen Fähigkeiten soviel wie möglich zu localisiren und vor Allem der Art der Thatigkeit, welche die psychischen Erscheinungen begleitet, auf die Spur zu kommen. Mit der Untersuchung des feineren Baues des Gehirns verbindet sie deshalb die der chemischen Zusammensetzung und der Umsetzung seiner Bestandtheile. Sie constatirt, dass bei Blutverlust oder unterdrückter Herzthatigkeit das Bewusstsein verloren geht, sie lernt daraus, dass regelmässige Zufuhr von Blut

eine Bedingung für psychische Prozesse ist, — und sie schliesst, dass dem Leben des Gehirns Stoffwechsel zu Grunde liegt. Sie überzeugt sich nun weiter, dass, ebenso wie in anderen Organen, das Blut bei Ernährung des Gehirns eine Veränderung erleidet, und findet bei Vergleichung des ein- und austretenden Blutes, dass Sauerstoff verbraucht, Kohlensäure gebildet und Wärme entwickelt wird. Sie weiss, dass Wärme aus anderen Formen von Arbeitsvermögen entstanden sein kann, z. B. aus elektromotorischer Thätigkeit, welche sie in dem Gehirn annehmen darf, nachdem sie in den morphologisch und chemisch damit übereinstimmenden Nerven ihre Anwesenheit erwiesen hat. Sie setzt sich weiter zum Ziel, durch fortgesetzte Untersuchung alle Phasen des chemischen Processes im lebenden Gehirn aufzuspüren, und der Reihe von Umwandlungen, die mit chemischem Arbeitsvermögen beginnt und mit Wärme endigt, Schritt für Schritt zu folgen. Und überzeugt, dass die Erscheinungen nur durch Messen und Wägen auf Gesetze zurückgebracht werden können, wird sie nicht ruhen, ehe sie, mit der Art, die Quantität der Umsetzung und der umgesetzten Stoffe bestimmt und darin das Aequivalent für die verschiedenen Formen von Arbeitsvermögen gefunden haben wird.

Aber wird jemals die psychische Thätigkeit in die Kette der sich transformirenden Kräfte aufgenommen werden können? Soviel wir sehen, besteht dazu nicht die geringste Aussicht. Das Wesen aller Formen von Arbeit und Arbeitsvermögen, die wir kennen und messen, ist Bewegung oder Bedingung von Bewegung, und niemand kann sich eine Vorstellung machen, wie aus Bewegungen, auf welche Weise sie auch combinirt seien, Bewusstsein oder irgend eine psychische Thätigkeit entstehen könne. Psychische Thätigkeit ist, so wie wir sie an erster Stelle in uns selbst wahrnehmen, in Form und Wesen vollkommen eigenthümlich. Nirgends zeigt sie einen Uebergang oder Verwandtschaft zu anderen Naturerscheinungen, und das Gesetz von der Erhaltung der Kraft, welches, für alle bekannten Naturkräfte gültig, bei jeder Untersuchung als leitendes Princip angenommen wird, ist vollkommen ausser Macht, die psychischen Erscheinungen unter seine Herrschaft zu bringen. Denn,

abgesehen von ihrer specifischen Natur, die ihr Entstehen aus chemischer Spannkraft ebenso undenkbar macht, als ihre Umwandlung in Wärme oder elektrische Bewegung, lassen sie sich ja weder messen noch wägen, und wir kennen für Gefühl, Verstand oder Wille keine Einheit, womit sie sich in Zahlen ausdrücken lassen.

Die Frage, welche die Physiologie sich vorzulegen hat, ist dann einfach diese: Was geschieht in dem Gehirn, während wir fühlen, denken und wollen? — Man sieht sogleich ein, dass diese Fassung nichts präjudicirt, wie sie auch nichts präjudiciren darf. Aber wir müssen auch erkennen, dass die vollständige Beantwortung, d. i. eine innerhalb unseres jetzigen Gesichtskreises vollkommene Kenntniss der Gehirnthätigkeit, womit jeder psychische Process verbunden ist, uns dem Verständniss der Art dieses Zusammenhangs keinen Schritt näher bringen würde. Eine Erklärung der psychischen Erscheinungen, in dem Sinn, worin wir Erscheinungen erklärt nennen, wäre nur erreichbar, wenn sie auf ein allgemeines Gesetz, wie das von der Erhaltung der Kraft, zurückgeführt werden könnten, und hierzu scheint, wie wir sahen, a priori die Aussicht abgeschnitten.

Aber ist denn bei psychischen Processen jede quantitative Behandlung ausgeschlossen? Keineswegs! Ein wichtiger Factor schien der Messung zugänglich: ich meine die Zeit, die für einfache psychische Prozesse gebraucht wird. Für die Entscheidung der Frage, ob wir Recht haben, den im Allgemeinen bewiesenen Zusammenhang auf besondere Fälle anzuwenden, mit anderen Worten, ob wir annehmen dürfen, dass mit der Verschiedenheit jedes besonderen Gefühls, jeder besonderen Vorstellung, jeder Willensäußerung eine absolut entsprechende Verschiedenheit der Gehirnthätigkeit verbunden sei, scheint die Bestimmung dieser Zeit nicht ohne Gewicht. Seit langer Zeit nahm ich mir vor, meine Bemühungen darauf zu richten. In der Sitzung der Koninklijke Academie van Wetenschappen zu Amsterdam vom 24. Juni 1865 gab ich eine Uebersicht der ersten hierauf bezüglichen und unter Mitwirkung von Herrn de Jaager und von einigen anderen Zöglingen der Universität Utrecht erlang-

ten Resultate, die hierauf ausführlicher in der Dissertation von Herrn de Jaager: over den physiologischen tijd der psychische processen mitgetheilt wurden. Die Idee zu diesen Versuchen war, wie auch die Vorrede meldet, von mir ausgegangen, die befolgten Methoden waren von mir an die Hand gegeben, und die Versuche wurden im physiologischen Laboratorium angestellt und von mir geleitet. Um dieselbe Zeit gab ich, unter Erwähnung der Methoden, eine Uebersicht der erhaltenen Resultate in einigen zu Utrecht und anderwärts gehaltenen populären Vorträgen. Endlich zeigte und beschrieb ich in der Sectionssitzung für Natur- und Heilkunde der Provinciaal Utrechtsch genootschap von 1866 zwei bei meinen Versuchen gebrauchte Apparate, den Noëmatachograph und den Noëmatachometer. — Im weiteren Lauf der Untersuchung häufte sich indessen das Versuchsmaterial in dem Maasse auf, dass mir zur gehörigen Sichtung und Bearbeitung die Zeit fehlte, und da auch jetzt die Aussicht dazu nicht günstig ist, habe ich mich entschlossen, vor der Hand die Hauptsachen in gedrängter Form mitzutheilen. Um die Uebersicht zu erleichtern, soll verschiedenes die Methoden, die speciellen Ergebnisse, die Berechnungen u. s. w. Betreffende in besonderen Anmerkungen beigefügt werden.

---

Vor kaum 25 Jahren wurde die Zeit, innerhalb welcher gereizte Nerven ihre Thätigkeit nach dem Gehirn und das Gehirn seine Befehle nach den Muskeln bringt, für „unendlich klein“ gehalten. Johannes Müller, dem unter den Physiologen seiner Zeit der erste Platz zukommt, nannte die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den Nerven nicht allein unbekannt, sondern ging so weit, zu prophezeien, dass die Mittel für die Bestimmung dieser Schnelligkeit uns wohl immer versagt bleiben würden. Und siehe, kurze Zeit danach, im Jahre 1845, skizzirte du Bois-Reymond in allgemeinen Zügen den Plan für eine solche Bestimmung, und 1850 schon brachte sie Helmholtz zur Ausführung.

Die Methode war einfach. Helmholtz reizte die Muskel-

nerven nach einander an zwei Stellen, deren eine an der Eintrittsstelle in den Muskel, deren andere in grösserer Entfernung davon gelegen war, und bestimmte für beide Fälle die Zeit, die verlief, bevor sich der Muskel contrahirte. Der Unterschied der Dauer zeigte die Zeit an für die Fortleitung in dem zwischen den beiden gereizten Stellen gelegenen Nervenstück, und hiermit war die Fortpflanzungsgeschwindigkeit bekannt, welche, wie sich zeigte, nicht mehr als 100 Fuss in der Secunde betrug. Das ist eine Schnelligkeit, die Vögel in ihrem Flug übertreffen, der Rennpferde sich nähern, und die unsere Hand bei den schnellsten Bewegungen des Arms erreichen kann.

Dies Resultat war bei Fröschen gewonnen. Bei warmblütigen Thieren, insbesondere beim Menschen, war die befolgte Methode nicht anwendbar. Hier schlug Helmholtz einen anderen Weg ein. Er reizte die Haut nach einander auf zwei Punkten, von denen der eine in kleinerer, der andere in grösserer Entfernung vom Gehirn gelegen war, und reagierte auf den erhaltenen Reiz, in beiden Fällen, so schnell als möglich mit einem bestimmten Signal, z. B. einer Bewegung der Hand. War hiermit die zwischen Reiz und Signal verlaufende Zeit für beide Fälle bekannt, dann wurde der Zeitunterschied als Leitungsdauer für den Längenunterschied der Gefühlsnerven in Rechnung gebracht: denn abgesehen von diesem Unterschied schienen beide Versuche vollkommen gleich zu sein. Auf diese Weise wurde nun beim Menschen eine Leitungsgeschwindigkeit von ungefähr 200 Fuss in der Secunde berechnet, d. i. etwa das Doppelte von der für Froschnerven gefundenen.

Man sieht leicht ein, dass die hier befolgte Untersuchungsweise nicht vorwurfsfrei ist. Erstens ist es schwer, den Reiz auf verschiedene Stellen der Haut mit gleicher Stärke einwirken zu lassen, und bei verschiedener Reizstärke ist die physiologische Zeit, wie sich herausgestellt hat, nicht ganz dieselbe. Aber ausserdem setzt die Methode voraus, dass die Dauer des Processes im Gehirn ganz unabhängig von dem Ort der Reizung sei. A priori schon ist dies nicht wahrscheinlich. Tritt man nach einander von zwei Seiten in ein Zimmer, um darin Verschiedenes zu verrichten, dann wird man in beiden Fällen

wohl nicht genau innerhalb derselben Zeit durch eine dritte Thür nach aussen kommen. Und offenbar wird der Unterschied im Aufenthalt ganz auf Rechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit gebracht. Es kann also nicht befremden, dass bei Wiederholung dieser Versuche, im Wesentlichen nach derselben Methode, sehr auseinander gehende Resultate erhalten wurden. Ueber diese brauchen wir indessen nicht zu berichten, denn vor Kurzem glückte es, beim Menschen auf ebenso einfache und entscheidende Weise als beim Frosch, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in einem Bewegungsnerven zu bestimmen, also mit vollkommener Ausschliessung des psychischen Processes im Gehirn. Es ist wiederum Helmholtz<sup>1)</sup>, der hier den Weg bahnte. Auf seine Veranlassung reizte Baxt die Nerven der Muskeln des Daumenballens nach einander am Handgelenk und oberhalb der Ellenbogenfalte, während, im übrigen, Ellenbogen, Vorderarm und Hand unbeweglich in einen Gipsverband geschlossen waren: in beiden Fällen zuckten nun die genannten Muskeln und konnten die Momente der Zuckung mittels eines Hebels auf dem Myographion registriert werden. Das so erhaltene Resultat ist sehr befriedigend. Mit sehr geringen Abweichungen wurde nämlich eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit gefunden von 33 Metern in der Secunde, — das ist nur wenig mehr als bei Froschnerven.

Durch diese directe Bestimmung sind nun alle Versuche an Gefühlsnerven, bei welchen die Hirnthätigkeit mit eingeschlossen war, in's Gebiet der Geschichte verwiesen, — und man weiss, was dies sagen will. von Wittich<sup>2)</sup> würde gern noch seiner etwas grösser gefundenen Schnelligkeit für die Gefühlsnerven einige Geltung lassen. Aber es geht nicht; die Uebereinstimmung von Gefühls- und Bewegungsnerven ist in allen Hinsichten zu vollkommen, um zu erlauben, dass gegenüber den sicheren Bestimmungen bei diesen die nach unsicheren Methoden gefundene Leitungsgeschwindigkeit für jene aufrecht erhalten werde. In wie weit aus solchen Versuchen, die

1) Königl. Acad. der Wissensch. zu Berlin, 29. April 1867.

2) Zeitschr. f. ration. Medizin 1868. XXXI. S. 112 u. f.

ich an verschiedenen Personen in grosser Zahl anstellte, in Zusammenhang mit dem Unterschied der gereizten Stelle, ein zeitlicher Unterschied für die Leitung im Gehirn abzuleiten sei, werde ich vielleicht näher untersuchen.

So ist denn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den Nerven bekannt, und die Prophezeiung von Johannes Müller auf glänzende Weise Lügen gestraft. Bemerkenswerth ist es, dass die Theorie den Muth gab, sich an die Auflösung des unauflösbar genannten Problems zu wagen. Aus der theoretischen Vorstellung: dass die Fortpflanzung nicht zu betrachten sei als die einer fortschreitenden Kraft oder Bewegung, sondern vielmehr als ein auf jedem Punkt sich erneuerender chemischer und damit verknüpfter elektromotorischer Process, — kam man nämlich auf die Vermuthung, dass die Nervenleitung nicht so besonders schnell, und dass die Kürze der Nerven kein absolutes Hinderniss für ihre empirische Bestimmung sein würde.

## I.

Sollte nun auch der Gedanke nicht die unendliche Schnelligkeit haben, die man ihm zuzuschreiben pflegt, und sollte es möglich sein, die Zeit zu bestimmen, die zur Bildung einer Vorstellung oder einer Willensbestimmung gefordert wird?

Diese Frage beschäftigte mich seit längerer Zeit. Oben beschrieben wir die bei der Untersuchung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den Gefühlsnerven angewandte Methode. In der Zeit, die bei diesen Versuchen zwischen Reiz und Signal verläuft, ist auch ein bestimmter psychischer Process aufgenommen. Dasselbe gilt für die Versuche, in denen der Reiz auf eins der andern Sinneswerkzeuge einwirkte. Hierüber wurde die erste vergleichende Untersuchung durch Hirsch, den bekannten Astronomen von Neuchatel, angestellt. Die zwischen Reiz und Signal verlaufende Zeit nannte er die physiologische Zeit, und bei gleichem Signal, z. B. einer Bewegung der Hand, fand er diese Zeit am kürzesten nach einem Reiz auf der Haut (natürlich in der Nähe des Gehirns), länger nach einem Reiz auf's Gehör, länger noch nach einem Reiz auf's Gesicht. Im Allgemeinen wurde durch spätere Untersucher dieses Ergebniss

befestigt. Aus sämtlichen Versuchen, worunter auch die von mir und meinen Schülern genommenen, berechnete ich für die drei genannten Sinneswerkzeuge: Gefühl, Gehör und Gesicht, die physiologische Zeit resp. auf ungefähr  $\frac{1}{7}$ ,  $\frac{1}{6}$  und  $\frac{1}{5}$  Secunde.

Aber wie viel hiervon gehört zu dem eigentlichen psychischen Process? Darüber sind wir ganz im Unsicheren. In dieser kurzen Zeit muss viel geschehen. Folgen wir dem Process von dem Moment des Reizes an bis zu dem des Signals, so haben wir zu unterscheiden:

1. die Einwirkung auf die percipirenden Elemente der Sinneswerkzeuge;
2. die Mittheilung an die peripherischen Ganglienzellen, und das bis zur Entladung geförderte Anwachsen (die „Schwelle“ von Fechner);
3. die Leitung in den Gefühlsnerven bis zu den Ganglienzellen der Medulla;
4. die steigende Thätigkeit in diesen Ganglienzellen;
5. die Leitung nach den Ganglienzellen des Organs der Vorstellung;
6. die steigende Thätigkeit in diesen Ganglienzellen;
7. die steigende Thätigkeit der Ganglienzellen des Organs des Willens;
8. die Leitung nach den Nervenzellen für Bewegung;
9. die steigende Thätigkeit in diesen Zellen;
10. die Leitung in den Bewegungsnerven bis an den Muskel;
11. die latente Thätigkeit im Muskel;
12. die steigende Thätigkeit bis zur Ueberwindung des Widerstandes vom Signal.

Der ganze Process kann in  $\frac{1}{7}$  Secunde ablaufen; als Minimum wurde selbst  $\frac{1}{9}$  gefunden. Die Zeiten nun, welche für die einzelnen Abschnitte des Processes gebraucht werden, sind nicht zu bestimmen. Allein die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den Nerven können wir ungefähr in Rechnung bringen, und dies führt dann zu dem Resultat, dass der psychische Process der Vorstellung und Entschliessung kürzer dauert als  $\frac{1}{10}$  Secunde, aber erlaubt nicht einmal zu behaupten, dass er länger

als 0 dauere. Die Wahrheit ist, dass diese Versuche uns nur die Grenze nach der Seite des Maximums lehren, und über die des Minimums durchaus keinen Aufschluss geben.

Ich kam nun auf die Idee, in den Process der physiologischen Zeit neue Termen von psychischer Thätigkeit einzuschieben. Untersuchte ich, wie viel die physiologische Zeit hierdurch verlängert wurde, dann würde, so urtheile ich, die Dauer des eingeschobenen Acts damit bekannt sein.

In der oben citirten Mittheilung an die Koninklijke Academie van Wetenschappen wurden die ersten hierauf bezüglichen Bestimmungen mitgetheilt (siehe Anmerkung 1).

Bei der ersten Reihe von Versuchen wurden gleiche Elektroden auf beide Füße gesetzt. Die Einrichtung war so getroffen, dass man nach Belieben (durch Umlegen einer Pohl'schen Wippe) dem rechten oder linken Fuss einen elektrischen Schlag beibringen konnte. — Nun wurden die Versuche auf zwei Weisen genommen: a. während man wusste, auf welchen Fuss der Reiz wirken würde, wobei man das Signal mit der Hand derselben Seite gab; b. während man nicht wusste, welcher Fuss den Reiz empfangen würde und man auch das Signal mit der Hand der gereizten Seite geben sollte. Im letzten Fall wurde mehr Zeit gebraucht als im ersten, und dieser Unterschied stellte die Zeit dar, welche man nöthig hatte, um sich vorzustellen, welche Seite gereizt wurde, und um in Verband mit dieser Vorstellung die Wirkung des Willens rechts oder links zu bestimmen. Im Uebrigen war der ganze Process in beiden Fällen gleich. Es zeigte sich, dass die so eingeschobene psychische Thätigkeit, aus den Mitteln berechnet,  $\frac{1}{15}$  Secunde verlangte<sup>1)</sup>. Vorher war gefunden, dass das Geben eines Signals mit der linken Hand 0,009 Secunden länger dauerte als mit der rechten, welcher Unterschied in Rechnung gebracht wurde.

Dies war die erste Bestimmung der Dauer eines wohl umschriebenen psychischen Processes, der in Wundt's Versuchen

---

1) Siehe de Jaager a. a. O. S. 21—32: Die Methode war noch nicht genau genug, um dem Unterschied der Minima zu vertrauen (vergl. Anmerk. 2).

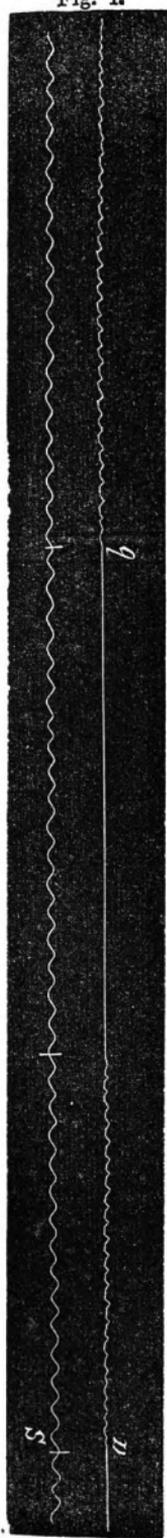
mir zu fehlen scheint. Es galt die Entscheidung eines Dilemmas und eine dieser Entscheidung entsprechende Willensthätigkeit.

Dieselbe Untersuchung wurde mit Reizung des Sehwerkzeugs angestellt. Hier wurde die physiologische Zeit bestimmt bei einfacher Reaction auf Licht und bei differentieller Reaction auf rothes und auf weisses Licht. Bei den letzten Versuchen musste für rothes Licht das Signal mit der rechten Hand, für weisses mit der linken gegeben werden. Die Entscheidung eines Dilemmas und die für ein entsprechendes Signal verlangte hier mehr Zeit als bei den vorigen Versuchen: im Mittel für fünf Personen betrug sie 0,154 Secunden. Der kleinste Mittelwerth war 0,122 Secunden bei Herrn Place; des grössten, 0,184 Secunden, machte ich mich schuldig, der die doppelte Lebzeit der übrigen Beobachter hatte. Auf die Ursache des Unterschieds bei Reizung der Haut und bei Reizung des Auges kommen wir später zurück.

Bei diesen Versuchen wurde das Signal mit einem der Hände gegeben. Später stellte ich noch eine Reihe von Versuchen an, wobei als Reiz gewisse Buchstabenzeichen, entweder entblösst oder plötzlich durch einen Inductionsfunken erleuchtet wurden, und das Signal im Aussprechen des Klangs bestand: hier verlangt der eingeschobene psychische Process, aus den Mitteln berechnet, 0,166 Sec. ( $\frac{1}{6}$  Sec.), aus den Minimis 0,124 ( $\frac{1}{8}$  Sec.). — Diese Methode eignete sich nun weiter für Versuche, wobei nicht von zwei, sondern von 5 Vocalzeichen, eins erkannt und als Klang ausgesprochen werden musste. Auf diese Weise habe ich nicht weniger als fünf Reihen von Beobachtungen an verschiedenen Tagen ausgeführt, und es zeigte sich, dass bei der grösseren Auswahl aus fünf wirklich etwas mehr Zeit verlangt wird als bei der Wahl aus zwei, nämlich 0,170 Sec. bei Berechnung aus den Mitteln, 0,163 Sec. bei Berechnung aus den Minimis (Anmerk. 2).

Endlich wurden dieselben Versuche mit Reizung des Ohrs angestellt. Hier bestand der Reiz im Klang eines Vocals, und Signal war die Wiederholung desselben Vocals. — Zwei Personen A und B sitzen hierbei vor der Oeffnung des Phonographen. Während man den Cylinder dreht, stösst A einen

Fig. 1.



Vocal aus, und B hat diesen so schnell wie möglich zu wiederholen. Für beide ist der Anfang der Schwingungen auf der unteren Linie Fig. 1 in a und b zu sehen, und die Länge der Zeit zwischen beiden ist aus den gleichzeitig registrierten Stimmgabelschwingungen abzuleiten. Diese Versuche wurden nun auf zweierlei Weise angestellt: a. während man wusste, welchen Vocalklang man zu hören bekommen würde, und einfach mit demselben Klang so schnell als möglich reagieren musste; b. während man nicht wusste, welchen Vocal man hören würde, und sich also von dem Vocalklang Rechenschaft geben musste, um denselben als Signal zu wiederholen. In meinen ersten Versuchen mit de Jaager antwortete ich bei bekanntem Klang ki, im Mittel in 0,180 Sec., bei unbekanntem in 0,268 Sec., was einen Unterschied von 0,088 Sec. giebt; de Jaager erhielt, bei namentlich anfangs grösseren Zahlen, einen gleichen Unterschied von 0,088 Sec. — Später fand ich in 7 Reihen, wobei ich das Signal zu beantworten hatte, für bekannten Klang im Mittel 0,201 Sec. ( $\frac{1}{5}$  Sec.), für unbekanntes Klang 0,284: also ein Unterschied von 0,083 Sec. (ungefähr  $\frac{1}{12}$  Sec.), und aus den Minimis berechnet, wurde dieser Unterschied auf 0,067 Sec. (ungefähr  $\frac{1}{15}$  Sec.) reducirt. In vier anderen Reihen, wobei ich entweder den voraus bekannten oder einen von nur zwei unbekanntes Klängen zu wiederholen hatte, verlangte die Wiederholung des bekannten Klanges noch etwas weniger (0,184 Sec.) und betrug die Verlängerung für den unbekanntes, bei Berechnung aus den Mitteln, nur  $\frac{1}{18}$  (0,056 Sec.), bei Berechnung aus den Minimis  $\frac{1}{16}$  (0,0615 Sec.).

Bei drei anderen Personen von verschiedenem, im Allgemeinen jugendlichem Lebensalter, wurde, bei Versuchen mit fünf Vocalklängen, bei unbekanntem Klang, eine Verlängerung von resp. 0,088 Sec.,

von 0,087 Sec. und von 0,069 Sec gefunden. In der That eine merkwürdige Uebereinstimmung.

Recapituliren wir jetzt die erhaltenen Resultate, so zeigt sich, dass für Entscheidung und conformes Signal gefordert wird:

	Secunden
1. bei Reiz auf die Haut, — Dilemma, aus den Mitteln berechnet . . . . .	0,066
2. bei Reiz auf's Sehorgan:	
a. zwei Farben, Dilemma, bei fünf Personen, aus den Mitteln berechnet . . . . .	0,184
	0,122
	0,159
	0,134
	0,172
b. zwei Vocalzeichen, Dilemma, aus den Mitteln berechnet . . . . .	0,166
aus den Minimis berechnet . . . . .	0,124
c. fünf Vocalzeichen, aus den Mitteln berechnet . . . . .	0,170
aus den Minimis berechnet . . . . .	0,163
3. bei Reiz auf's Gehör:	
a. zwei Vocalklänge, aus den Mitteln berechnet . . . . .	0,056
aus den Minimis berechnet . . . . .	0,0615
b. fünf Vocalklänge, bei mir selbst, früher, aus den Mitteln berechnet . . . . .	0,088
später, aus den Mitteln berechnet . . . . .	0,083
aus den Minimis berechnet . . . . .	0,067
Idem bei vier anderen Personen,	
aus den Mitteln berechnet . . . . .	0,088
" " " " . . . . .	0,069
" " " " . . . . .	0,087
" " " " . . . . .	0,088

Einige dieser Unterschiede lenken dabei sogleich die Aufmerksamkeit auf sich. Zuerst: warum fordert das gestellte Dilemma weniger Zeit bei Unterschied von Klang (0,056) als bei

Unterschied von Farbe (0,124)? — Die Antwort ist: dass das auf den Klang zu gebende Signal, die einfache Nachahmung, durch Uebung natürlich geworden ist, natürlicher als das bloss conventionelle Signal, mit rechter oder linker Hand, bei Unterschied von Farbe. Für dies letztere lässt sich denn auch durch fortgesetzte Uebung grössere Schnelligkeit erreichen. Für die Nachahmung von Vocalklängen dagegen war das Maximum von Schnelligkeit, wie sich herausstellte, schon nahezu erreicht — und so lehren uns die hierbei erhaltenen Werthe unmittelbar das Minimum der Zeit kennen, die für Entscheidung eines einfachen Dilemmas mit correspondirendem Entschluss nöthig ist: —  $\frac{1}{18}$  Secunde. — Bei Hautreizung inzwischen, wobei das zu gebende Signal gleichfalls conventionell war (Bewegung auch von rechter oder linker Hand), forderte derselbe eingeschobene Process nur  $\frac{1}{15}$  Sec. oder 0,066 Sec., also wenig mehr als bei dem geübten Signal der Vocalklänge. Auch dies Ergebniss kann uns nicht befremden. Wir liessen die Reizung der rechten Seite mit der rechten Hand, die der linken Seite mit der linken beantworten. Dazu ist sicher die Neigung bereits gegeben, als Resultat von Gewohnheit oder Uebung: denn verlangte man Bewegung der rechten Hand bei Reizung der linken Seite, oder umgekehrt, dann war die Zeit länger und Verwechslung nicht selten. — Noch eine letzte Bemerkung. Zum Erkennen von und Reagiren auf Vocalzeichen wird ungefähr das Doppelte der Zeit gebraucht, die zum Erkennen von Vocalklängen mit conformer Reaction nöthig ist, und sicher doch haben wir ebensoviel Uebung im Sehen und Aussprechen von Vocalzeichen als im Hören und Wiederholen. Dieses Resultat hat mich sehr befremdet. Der Grund kann in verschiedenen Theilen des zusammengesetzten Processes gelegen sein. Ich glaube ihn indessen in den rein psychischen suchen zu müssen. Die Reaction auf Licht fordert, wie ich aus den sämtlichen Beobachtungen verschiedener Personen berechnete, in der Regel etwas mehr Zeit als die auf Klang. Vereinige ich die bei mir selbst erhaltenen Resultate von 8 Versuchsreihen mit Reaction auf Licht und von 12 mit Reaction auf Klang, so finde ich gleichwohl beide gleich:

für die erste nämlich . . . 0,1953 Sec.

für die zweite . . . . 0,1952 „

Eine so vollkommene Uebereinstimmung ist natürlich zufällig, um so mehr, als in einigen Versuchen die einfachen Vocale, in anderen die Vocale mit Explosiven als Signale dienten und die physiologischen Zeiten je nachdem ein wenig verschieden sind (Anmerk. 3). Aber es folgt doch daraus, dass für Klang und Licht die physiologischen Zeiten bei mir nicht merkbar von einander abweichen. Auch glaube ich annehmen zu dürfen, dass die Unterscheidung von zwei Farben ebenso schnell geschieht, als die von zwei Klängen, und dass die Reaction auf Unterscheidung der ersteren durch genügende Uebung auf dieselbe Zeit zurückgebracht werden könnte als die Reaction auf Unterscheidung der letzteren. Den Grund meine ich deshalb in der Form des Zeichens suchen zu müssen, welche die Seele nicht so schnell erkennt als den Klang. Um von diesem Unterschied Rechenschaft zu geben, müssen wir den Eindruck des Klanges und der Form des Zeichens etwas näher zergliedern. Auf der Netzhaut ist dieser Eindruck sehr zusammengesetzt. Eine Anzahl von percipirenden Elementen, von denen jedes den empfangenen Reiz, mit seinem eignen Localzeichen, nach dem Gehirn überbringt, wird plötzlich getroffen und daraus construiert sich die Form in unserer Vorstellung. Die getroffenen Elemente sind ganz andere, wenn das Zeichen gross, als wenn es klein ist, und ein *a* bleibt doch ein **a**, ein *i* ein **i**. Auch eine kleine Abweichung der Gesichtslinie lässt das ganze Bild des Letterzeichens auf andere Elemente der Netzhaut fallen. Der Process für die Vorstellung der Form ist also nothwendig sehr zusammengesetzt, und es kann uns nicht befremden, dass er mehr Zeit verlangt, als die Vorstellung eines Lichteindrucks im Allgemeinen oder selbst einer Farbe, die auf bestimmte percipirende Elemente einwirkt oder nur eine besondere Energie gegenwärtigt. Für einen solchen Process, vermehrt noch mit der Zeit für die differentielle Willensbestimmung (Entschluss), ist 0,16 Sec. verhältnissmässig nicht viel. — Und wie geschieht nun die Vorstellung eines Klanges? Für viele Klänge kann der Process wohl ebenso zusammengesetzt sein, wie für momentan

erleuchtete kleine Formen. Denn gewöhnliche Klänge bestehen ja aus einer Zahl von Partialschwingungen, die gleichfalls verschiedene Nervenfasern in Thätigkeit bringen, und für jede Tonhöhe ist es wieder ein ganz anderes System von Nervenfasern, welches den Eindruck empfängt: das Einzige, was den Process einfacher erscheinen lässt, ist der Zusammenhang zwischen den Partialtönen, welche bei jeder Tonhöhe grösstentheils wieder die sogenannten harmonischen sind. Ist aber auch für Klänge im Allgemeinen der Process so zusammengesetzt, so gilt dies doch nicht von Vocalen. Bei jedem Vocal ist, wie ich vor 10 Jahren schon zeigte, die Mundhöhle auf einen absoluten Ton gestimmt, welches auch die Tonhöhe der Stimme sei, mit der er hervorgebracht wird, und in Verband hiermit hat jeder Vocal seine absoluten, schier unveränderlichen Obertöne. Bei demselben Vocalklang werden also auf jeder Tonhöhe zum Theil dieselben Töne hervorgebracht, also jedesmal zum Theil dieselben Nervenfasern gereizt, die, wenn man einen Vocalklang zu erwarten hat, diesen sogleich charakterisiren, — und dies ist die Ursache davon, dass die Vorstellung des Vocaltimbres nicht einen so zusammengesetzten Process voraussetzt, wie er für die Vorstellung aus dem Vocalzeichen nöthig erscheint.

Nachdem die vereinigte Zeit gemessen war, in welcher sowohl Unterscheidung aus zwei oder mehr Eindrücken als entsprechende Willensbestimmung möglich ist, eröffnete sich die Frage, ob für beide Theile des Processes die geforderte Zeit nicht besonders zu bestimmen wäre.

Es schien mir, dass man der Lösung dieser Frage näher kommen würde, wenn man die Bedingung stellte: dass nur auf einen Reiz das Signal folgen sollte, mit Vernachlässigung aller übrigen.

So wurden Vocalklänge ohne nähere Anweisung als Zeichen bestimmt, aber nur auf einen, z. B. auf i, sollte man mit i antworten, auf die übrigen schweigen. Man spannt sich nun für das Erkennen von i an und hält die Stellung der Mundtheile und den Mechanismus dafür vollkommen bereit, so dass man beim Erkennen von i nur den Athem auszustossen hat, um den correspondirenden Klang vorzubringen — ganz wie beim Rea-

giren mit i, während man wusste, dass i gehört werden würde. Est ist also bei dieser Versuchsweise keine Wahl für das Signal mehr nöthig: — allein das Unterscheiden, das Erkennen von i wird in den gewöhnlichen Process eingeschoben. Und wirklich zeigte sich's, dass hierzu weniger Zeit nöthig war, als zum Beantworten jedes Vocalklangs mit gleichem Klang. Von den vielen auf diese Weise von mir angestellten Versuchen will ich nur die Resultate von drei Reihen beifügen, die an einem und demselben Abend in solcher Reihenfolge genommen wurden, dass, soweit Ermüdung dabei in's Spiel kam, dieselbe gleichmässig über die drei Versuchsarten vertheilt ward:

- a. bei Reaction auf bekannten Klang;
- b. " " " unbekannte Klänge;
- c. " " " einen der unbekanntenen Klänge.

Bei jeder dieser Arten wurde die mittlere Dauer und das Minimum aufgenommen:

	Tausendstel einer Secunde	
für a. betrug die mittl. Dauer	201, das Minimum	170,5
b. " " " "	284, " "	237,5
c. " " " "	237, " "	212,6

Man findet nun:

	aus den Mitteln.	aus den Minimis.	im Mittel.
b—a =	83	67	75
c—a =	36	42	39

In diesen Versuchen wurde also für die Vorstellung eines bestimmten Klanges (längere Dauer bei Methode c als bei Methode a) nur reichlich halb so viel Zeit gebraucht, als für dieselbe Vorstellung in Verbindung mit entsprechender Willensbestimmung. Die Entwicklung der Vorstellung dauert bei mir 0,039, d. i. beinahe  $\frac{1}{25}$  Secunde; etwas weniger, reichlich  $\frac{1}{28}$  Secunde, verlangt die Willensbestimmung. Oben theilten wir Versuche mit von anderen Personen, die zu dem combinirten Process weniger Zeit gebrauchten. Wahrscheinlich wird auch bei diesen für die beiden Termen die Zeit ungefähr in gleiche Theile getheilt werden müssen. Doch ist dies aus den von ihnen nach der c-Methode gethanen Bestimmungen nicht genügend abzuleiten. Es zeigte sich, dass für viele die c-Methode

eine gewisse Schwierigkeit liefert. Sie geben das Signal, wo sie hätten schweigen müssen. Und geschieht das auch nur ein Mal, so ist die ganze Reihe zu verwerfen: denn was bürgt uns dann dafür, dass da, wo sie das Signal geben mussten und auch wirklich gaben, gehörig gewartet war, bis sie sicher unterschieden hatten? Da man ausserdem nur dann und wann einmal gerade den Vocalklang zu hören giebt, auf den die Antwort verlangt wird, haftet an dieser Methode immer der Nachtheil, dass die meisten Umgänge des Cylinders unbenutzt bleiben. Ich lege darum viel Werth auf die oben erwähnten, an mir selbst erhaltenen Resultate von drei Versuchsreihen, mit Anwendung der drei Methoden für jede Reihe, wobei die Versuche tadellos ausfielen (Anmerk. 4).

Inzwischen könnte man noch zweifeln, ob auf die befolgte Weise wirklich die zu einer bestimmten Vorstellung erforderliche Zeit gemessen wird. Findet man nicht vielmehr die Zeit, um welche das Bestimmen der Art eines Vocalklangs länger dauert als das blosses Hören? Wir antworten hierauf verneinend. Wer die Versuche gemacht hat, weiss, dass das Signal da, wo es nur um Reaction im Allgemeinen zu thun ist, bei Allem was geschieht, losbricht. Wartet man mit Spannung auf eine Lichterscheinung, — man reagirt unwillkürlich auch auf einen Klang und umgekehrt, und ebenso auf einen Stoss, einen elektrischen Schlag, kurz auf jeden kräftigen Eindruck. Man wartet nicht bis man hört, sondern nur bis man gewahr wird, und man findet also nach der befolgten Methode die Zeit, welche verläuft zwischen dem ersten Moment eines Gewahrwerdens und der vollkommenen Vorstellung von der Art des Gehörten, das ist die für die Entwicklung einer bestimmten Vorstellung erforderliche Zeit.

Dieselben Versuche nach der c-Methode habe ich angestellt, während das Sehen von Vocalzeichen der Reiz war. Die zum Erkennen erforderte Zeit war dabei verhältnissmässig kurz, kaum länger als bei Vocalklängen. Dies Ergebniss ist sehr bemerkenswerth, wenn man bedenkt, dass das Unterscheiden von Vocalzeichen, wie sich uns in den Versuchen nach der a- und b-Methode gezeigt hat, viel mehr Zeit fordert, als das

Unterscheiden von Vocalklängen. Doch glaube ich, dass sich davon Rechenschaft geben lässt. Bei den Versuchen nach der b-Methode konnte man sich im Voraus keine Vorstellung machen, welchen Eindruck man empfangen würde: man musste sich dessen enthalten, um auf jedes Vocalzeichen, das etwa zum Vorschein kommen mochte, mit gleicher Schnelligkeit reagieren zu können. Zur Unterscheidung ward dabei nun verhältnissmässig viel Zeit gebraucht. In den nach der c-Methode angeordneten Versuchen dagegen, von denen hier die Rede ist, konnten zwar auch alle Vocalzeichen erscheinen, aber man hatte nur auf eins davon zu reagieren, auf die übrigen zu schweigen, und man konnte also und musste selbst das eine in der Vorstellung haben, um nach constatirter Gleichheit von Eindruck und Vorstellung unmittelbar das in seinem Mechanismus präparirte Signal zu geben. In anderweitig mitgetheilten Versuchen<sup>1)</sup> über das stereoskopische Sehen hat sich mir der grosse Einfluss einer vorausgehenden Vorstellung auf das Erkennen von Formen auf's Deutlichste gezeigt.

Auch mit anderen Reizen, z. B. elektrischen Schlägen auf die Haut, sind Versuche nach der c-Methode anzustellen, aber auch hier allein mit Rücksicht auf ein gestelltes Dilemma. Auch ist man nicht beschränkt auf die Wahl eines Klanges als Signal. Man kann nämlich beim Hören von allen Klängen oder nur beim Hören von einem vorausbestimmten Vocalklang eine Bewegung mit der Hand machen und der Unterschied giebt dann wieder die für eine bestimmte Vorstellung erforderte Zeit an; aber dabei ist dann die Vergleichung mit differentieller Reaction auf jeden der Klänge ausgeschlossen, und die Versuche würden dem Zweck nicht entsprochen haben, wenn ich nicht auf den Gedanken gekommen wäre, als Signal die Klänge zu registriren.

Alle vorstehenden Ergebnisse sind mit einem unter dem Namen Noëmatotachograph<sup>2)</sup> beschriebenen Apparat erhalten. Das Streben nach näherer Analyse der Dauer der psychischen Pro-

1) Archief voor natuur- en geneeskunde. D. II. S. 332 u. f.

2) Archief voor natuur- en geneeskunde. D. III. S. 105.

cesse hat mich weiter geführt auf eine Methode, die auf einem ganz andern Princip beruht als die oben mitgetheilte, und wobei das als Noëmatotachometer beschriebene Instrument gebraucht wird. Ich beabsichtige, die damit erhaltenen Resultate näher mitzutheilen.

---

### Anmerkungen.

Anmerkung I. Bei unseren Messungen wendeten wir die graphische Methode an. Sie ist einfach, sicher, leicht anwendbar und für unsern Zweck genau genug. Gälte es die Messung von absoluten, unveränderlichen Werthen, dann würde man nach der grössten Genauigkeit streben müssen. Beim Messen der etwas inconstanten Dauer von psychischen Processen ist eine Bestimmung in Tausendstel Secunden ausreichend, und wir dürfen nun die Einfachheit und Sicherheit nicht einer grösseren aber zwecklosen Genauigkeit opfern.

Bei unsern Versuchen kommt es auf drei Dinge an:

1. Wir brauchen eine genau bekannte chronoskopische Einheit. Diese finden wir in den registrirten Schwingungen einer Stimmgabel. Die Schwingungszahlen der benutzten Stimmgabeln haben wir direct bestimmt durch gleichzeitiges Registriren ihrer Schwingungen und der Secunden einer Uhr, und der geringe Einfluss der Temperatur wurde gefunden aus der Aenderung der Anzahl Schwebungen mit einer andern, auf unveränderter Temperatur gehaltenen Stimmgabel.

2. Der Moment der Reizung musste unter oder auf der Stimmgabellinie genau registriert werden.

Für verschiedene Versuche geschieht dies auf verschiedene Weise.

Lassen wir einen Inductionsfunken von dem schreibenden metallenen Federchen der Stimmgabel durch das Papier auf den Cylinder überspringen, dann ist der Moment scharf markirt auf der chronoskopischen Linie. Leicht ist die Einrichtung zu treffen, dass nach Gutdünken der Funke entweder nur gesehen, oder nur gehört, oder, indem man einen kleinen Theil der Entladung durch den Körper leitet, nur gefühlt wird. So kann man abwechselnd bei Reaction auf jedes der drei Sinneswerkzeuge die physiologische Zeit bestimmen. Um beim Oeffnen des constanten Stromes, das bei und durch Drehung des Cylinders geschieht, nur einen Funken zu erhalten, muss man in die Inductionskette ein Funkenmikrometer bringen, mit Kugeln, die beinahe bis zum Maximum der Schlagweite von einander gerückt sind. Ein solcher Funke kann zugleich dienen, um das Dilemma von Farbenunterschied (ob oder ob nicht durch gefärbtes Glas gesehen), das

Unterscheiden von (durch den Funken erleuchteten) Buchstabenzeichen u. s. w. zur Entscheidung zu bringen: immer wird in demselben Moment, worin der Funke zwischen den Kugeln des Mikrometers überspringt, das Zeichen auch auf die chronoskopische Linie gesetzt. — Bei unseren früheren Versuchen war die Methode noch nicht so genau.

Ein Vocalklang, der das Ohr trifft, kann auch das Federchen des Phonautographen von Scott-König, oder eines von König für mich verfertigten einfachen Instruments in Schwingungen bringen, — bei gleichem Abstand in demselben Moment als das Trommelfell. Unter die chronoskopische Curve schreibt das Federchen eine gerade Linie, bis es durch den Vocalklang in Schwingung kommt: so ist der Reizmoment scharf aufgezeichnet.

3. Das Signal, womit reagirt wird, muss gleichfalls mit Präcision auf oder unter der chronoskopischen Linie notirt werden. Die hierfür gebräuchlichen Elektromagnete mit durch die Stromstärke veränderlichem Retard, sind in unsern späteren Versuchen ganz bei Seite gestellt. Die Bewegung, worin das Signal besteht, wird ohne Zwischenkunft von irgend welchem Mechanismus registriert. Ein verticales leichtes Holzstäbchen, beinah ohne Reibung um seine Längsaxe drehbar, trägt an seinem obern Ende ein horizontales, auf den Cylinder schreibendes Federchen und nahe seinem Unterende ein horizontales Stück, das, zwischen zwei Fingern gehalten, weggeschlagen werden kann und in demselben Augenblick das schreibende Federchen abweichen macht: auf diese Weise kann, in Verband mit einem aufzulösenden Dilemma, auch über links oder rechts Wegschlagen Verabredung getroffen werden.

Das Signal auf Vocalklänge ist die Wiederholung des Vocalklangs, welche der Phonautograph auf derselben Linie registriert, als den Reiz (vgl. Fig. 1). Auf Vocalzeichen wird das Signal, auch als Vocalklang gegeben. Durch Reaction auf irgend einen Reiz, abwechselnd mit Bewegung der Hand und mit Vocalklang, wird der auf dem Unterschied des Signals beruhende Zeitunterschied gefunden (vergl. Anmerk. III).

Der grosse Vortheil des Gebrauchs von Stimmgabelschwingungen als chronoskopische Einheit besteht darin, dass man den Cylinder frei aus der Hand umdrehen kann: man findet die Dauer des Processes in der zwischen Reiz und Signal liegenden Anzahl Schwingungen, unabhängig von deren Länge, und auf gleichmässige Umdrehungsgeschwindigkeit kommt es deshalb nicht besonders an. Die Umdrehung geschieht ungefähr in einer Secunde, und bei jeder Umdrehung macht man einen Versuch, nach welchem der Handgriff wieder auf dem Fleck ruht, von dem man ausgegangen war. Der von mir gebrauchte Cylinder hatte einen Durchmesser von 19 Ctm., war 25 Ctm. lang und konnte nach Belieben mit Spiral- oder Circularbewegung

gebraucht werden. Der Versuch fiel immer nahezu in die Zeit der grössten Umdrehungsgeschwindigkeit, und hier waren, bei 261 Schwingungen in 1", Fünftel und selbst Zehntel einer Schwingung noch sehr gut abzulesen. Am Ende des Versuchs wird das Papier auf einer Linie, die ungefähr dem Anfang und Ende aller Umgänge entspricht, durchgeschnitten, so dass jeder durchlaufenden Stimmgabelcurve auf dem langen Blatt ein Versuch entspricht. Die Versuche werden nun numerirt und zu jedem Versuch die nöthigen Bemerkungen gesetzt, bevor die Schwärze durch firnisshaltigen Alkohol fixirt wird.

Anfangs brauchten wir durchgehends eine Stimmgabel von 261 Schwingungen in 1", die sicher befestigt, einige Secunden vor jedem Versuch durch Hervorziehen eines sacht zwischen ihre Arme geklemmten Klötzchens in Schwingung versetzt wurde. Hiermit war man gewarnt, dass der Reiz gleich folgen würde. Später standen uns die durch Elektromagnetismus in Schwingung erhaltenen Stimmgabeln zu Dienste, die König nach dem von Helmholtz für die Synthese von Vocalklängen befolgten Princip verfertigt.

Anmerkung II. Bei der Bestimmung der Dauer der psychischen Prozesse habe ich besonderen Werth gelegt auf die gefundenen Minima.

Die Unterschiede, die wir finden, hängen sicher grossentheils ab von wirklichen Unterschieden in der Dauer der psychischen Prozesse. Der Moment des Reizes wird genau registriert, ebenso der des Signals, und welcher wahrscheinliche Fehler an den verschiedenen, nicht psychischen Termen des Processes kleben möge, können wir nicht genügend zur Klarheit bringen, aber er ist sicher nicht gross. Wir müssen also die Werthe einfach so nehmen, wie wir sie finden, und uns mit der Kenntniss der Maxima, der Minima und der Mittel zufrieden stellen. Den Grund der Unterschiede wünschen wir hier noch nicht näher zu untersuchen. Das allein bemerken wir, dass das Maass der Spannung und der Abstraction von allen andern Gedanken einen grossen Einfluss hat. Eine Zerstreuung beim Einfallen des Reizes wird immer mit Verlängerung des Processes gestraft. Aber in Verband hiermit ist es klar, dass die gefundenen Minima die reinsten Werthe sind: sie vergegenwärtigen den am meisten regelmässigen ungestörten Lauf des Processes. Durch Substraction des Minimum von allen gefundenen Zeiten erhält man dann in den Unterschieden eine gute Uebersicht der Abweichungen von der idealen Regelmässigkeit, und hieraus wird sich wohl Einiges über den Grund dieser Abweichungen ableiten lassen. — Die Bedeutung, die wir den Minimis beilegen, veranlasste uns, für zwei Reihen von Versuchen, die durch Einschieben eines psychischen Terms von einander verschieden sind, ausser dem Unterschied der Mittel auch immer den der Minima zu bestimmen. Gefährlich würde es sicher sein, allein nach den Minimis

zu gehen. Die Möglichkeit besteht, dass bei schlecht beherrschter Spannung das Signal losbricht, bevor der Reiz eingewirkt hat, und dann findet man ein zu kleines Minimum: bei ungeschickten Experimentatoren kam das Signal ein einzelnes Mal schon vor dem Reiz. Will man diesem Uebelstand dadurch begegnen, dass man die Versuche mit relativ grossen Zwischenpausen, z. B. von einer Minute, und ohne Warnung, dass der Reiz kommt, auf einander folgen lässt, dann findet uns der Reiz oft weniger wachsam, und die äusserste minimale Grenze wird dann schwer erreicht. Selbst bei Warnung kurz vor dem Versuch, so dass die Aufmerksamkeit nicht lange zu dauern braucht, ist eine grosse Reihe von Experimenten nöthig, um sich dem erreichbaren Minimum zu nähern, und darum müssen die zwei Reihen, deren Minima uns die gesuchte Differenz liefern, sehr gross oder doch gleich gross sein. — Niemals haben wir es versäumt, auch den Unterschied der Mittel zu bestimmen. Sie schützen uns vor dem groben Irrthum, wozu ein unvorsichtiger Gebrauch der Minima führen könnte. Und offenbar stellt ihr Unterschied in zwei Reihen doch auch die Dauer des in einer der Reihen eingeschobenen psychischen Terms dar. Es war indessen voraus zu sehen, dass für denselben Term die Unterschiede der Mittel etwas grösser ausfallen würden als die der Minima: denn die Störung, welche die längere Dauer des Processes verursacht, drückt auch auf die psychischen Termen um so mehr, je complicirter sie sind, folglich am meisten in der Reihe, in welcher ein psychischer Term eingeschoben ward. Für diesen Term haben wir also allein in den Minimis des ganzen Processes das Minimum zu erwarten: dieser Erwartung entsprach im Allgemeinen das Ergebniss.

Anmerkung III. Es kann nicht unwichtig sein, zu untersuchen, wie viel Zeit bei gleichem Reiz das eine Signal mehr kostet als das andere. Für verschiedene Klänge und für die Bewegung der Hand kann ich dazu einen Beitrag liefern, gestützt auf 91 neue Beobachtungen, die an verschiedenen Beobachtungstagen alle durch mich selbst angestellt wurden. Das Signal wurde theils auf Licht-, theils auf Klangeindrücke gegeben. Die Klänge waren die Vocale, mit oder ohne vorausgehende Consonanten, p, t oder k. Verglichen wurden z. B. pi, ti, ki und i, — oder eigentlich nicht i, sondern i mit vorausgehendem Hamze der Araber, das ist, eingesetzt bei geschlossener Stimmritze: das Hamze der Araber ist eigentlich auch ein Verschluss-Consonant, wird aber in den meisten Sprachen vernachlässigt, — nur von guten Gesanglehrern nicht, die beim starken Einsetzen von Vocalen gegen den Stoss des Hamze sehr zu kämpfen haben. Ohne Hamze eingesetzt, entsteht der Klang nicht plötzlich genug, um den Anfang scharf zu registriren. Die Bewegung der Hand bestand im Hervorziehen eines zwischen die Enden der Arme der

Stimmgabel sacht eingeklemmten Klötzchens mit Handhabe, worauf die Schwingungen, ebenso wie die der Vocalklänge, sogleich durch den Phonautograph aufgeschrieben wurden. — Wir beschränken uns auf die Mittheilung der Endergebnisse in Schwingungen von 261 auf 1".

## Signal.

Reiz.	Vocal		Vocal mit p		Vocal mit t		Vocal mit k	
	Mittel.	Minim.	Mittel.	Minim.	Mittel.	Minim.	Mittel.	Minim.
Licht. . .	43,3	41,5	45,1	40,5	53	48	219,3	216,5
id. . . .	50,8	48	52	52	58,7	56	50,8	217,5
Klang . .	50	43,6	58,3	53	53,2	48	61,3	60,7
Licht . .	56	53,2	56,5	54,5	59,3	53,7	61,2	58,9
Mittel aus allen Reih.	50,22	46,57	52,97	50	56,05	51,42	55,65	53,27

Hieraus folgt, dass ohne Ausnahme der Verschluss-Consonant vor dem Vocal mehr Zeit verlangt, als der einfache Vocal mit Hamze, und dass p weniger Verzögerung giebt als t und k, wie auch schon aus dem Mechanismus zu vermuthen sein würde. Die Verzögerung beträgt, berechnet aus den Mitteln und aus den in Parenthese gesetzten Minimis,

$$\begin{array}{ccc} \text{für p} & \text{für t} & \text{für k} \\ 2,75 - (3,43) & 5,83 - (4,85) & 5,43 - (6,7). \end{array}$$

In drei Beobachtungsreihen konnten wir das Signal von Klängen mit dem der genannten Handbewegung vergleichen, und fanden für die Handbewegung jedesmal mehr Zeit nöthig: in der ersten Reihe der Tabelle nämlich im Mittel 52,7 und Minim. 51, das ist 9,4 und (9,5) Schwingungen mehr als für den Vocal; in zwei andern Reihen, wobei der Vocal nicht bestimmt wurde, 3,95 und (6,63) und 4,85 und (6,93) mehr als für pi.

Anmerkung IV. Von den 51 Versuchsreihen, die gemacht, ausgezählt und berechnet sind, theile ich hier eine ausführlich mit und ausserdem die Resultate von zwei andern Reihen. In diesen Reihen kommen auf derselben Rolle abwechselnd die nach der a-, b- und c-Methode angestellten Versuche vor, d. i. bei Reaction auf bekannte, auf unbekannte und auf einen der unbekannt Klänge. Bei der c-Methode bleibt immer ein Theil der Klänge unbeantwortet: auf Rolle XVI B, wovon wir die Resultate hier in ihrem ganzen Umfange mittheilen, kommen auf 22 Curven nur 15 Bestimmungen vor, weil bei der a-Methode das Signal einmal wegen Zerstreuung ausblieb, und bei der c-Methode, wie sich gehörte, sechsmal nicht gegeben wurde.

21. August, Abends 7 Uhr; die Herren Hamer und Donders vor dem Phonautograph. H. ruft, D. antwortet. Stimmgabel = 261 Schwingungen.

Methode a. Ki zu beantworten mit Ki.

Nummer.	Reiz.	Signal.	Anzahl Schwingungen.	
1	Ki	Ki	45	} im Mittel = 51,5 Minimum = 45.
2	Ki	ausgeblieben		
3	Ki	Ki	54	
20	Ki	Ki	53	
21	Ki	Ki	60	
22	Ki	Ki	45,5	

Methode b. Unbekannter Klang, zu beantworten mit gleichem.

Nummer.	Reiz.	Signal.	Anzahl Schwingungen.	
4	Ko	Ko	77,5	} im Mittel = 74,33 Minimum = 72.
5	Ke	Ke	72	
6	Ki	Ki	72	
17	Ki	Ki	76	
18	Ku	Ku	74,5	
19	Ke	Ke	74	

Methode c. Von den Klängen allein Ki zu beantworten.

Nummer.	Reiz.	Signal.	Anzahl Schwingungen.	
7	Ku	—		} im Mittel = 63,34 Minimum = 59.
8	Ki	Ki	71,5	
9	Ki	Ki	61,	
10	Ka	—		
11	Ku	—		
12	Ki	Ki	62	
13	Ke	—		
14	Ki	Ki	59	

Auf der folgenden Tabelle sind die Resultate der einzelnen Beobachtungen von dieser Rolle mit den von zwei ähnlichen Rollen, zusammen 38, an demselben Abend gemachte Bestimmungen vereinigt.

Metho- den.	Anzahl Schwingungen.				
	XV	XVI A	XVI B	Mittel aus den Beobachtun- gen.	Minimum aus 38 Bestim- mungen.
a.	56,66	49,66	51,5	52,41	44,5
b.	74,83	73,08	74,33	74,08	62
c.	60,83	60,5	63,37	61,89	55,5

Man findet nun

	Aus den Mitteln			Aus den Mitteln von allen Beobachtungen.	Minimum aus 38 Bestimmungen.
	XV	XVI A	XVI B		
b—a	18,17	23,42	22,83	21,67	17,5
c—a	4,17	10,84	11,87	9,48	11

Also für die drei Rollen zusammen :

	Aus den Mitteln		Aus den Miminis		Im Mittel	
	Schwingungen.	Tausendstel Sec.	Schwingungen.	Tausendstel Sec.	Schwingungen.	Tausendstel Sec.
b—a	21,67	83	17,5	67,05	19,585	75,03
c—a	9,48	36,32	11	42,15	10,24	39,24