

## Kettenreaktionen.

Die im folgenden darzustellenden psychometrischen Untersuchungen sind zum Teil nach derselben Methode gearbeitet, nach der meine früheren zeitmessenden Versuche ausgeführt wurden. G. E. Müller hat gegen diese Methode einen Einwand geltend gemacht, welcher, falls er sich als berechtigt erweisen sollte, meine Versuchsergebnisse völlig entwerten und das Vertrauen in die Exaktheit meiner Experimente arg erschüttern müsste. Da nun gerade in diesem Punkt die Irrtümlichkeit der Müllerschen Ansicht für den Fernerstehenden nicht so leicht zu durchschauen ist wie bei den übrigen Argumenten seiner „Kritik“<sup>1)</sup>, so bin ich gegen mein Prinzip, persönlich gefärbte Kritik unbeachtet zu lassen, ausnahmsweise in diesem Falle genötigt, den Müllerschen Ausführungen, soweit es die folgende Arbeit unbedingt fordert, in Kürze näher zu treten.

Müllers Vorwurf ist der folgende. Ich benutzte durchweg das Hippsche Chronoskop und kontrollierte es mit dem Langeschen Fallhammer. Nun zeigt das Chronoskop diejenige Zeit an, während welcher ein elektrischer Strom das Uhrwerk durchfließt; der Langesche Hammer lässt lediglich Zeiten, die kleiner als 160  $\sigma$  (= 0,16 Sek.) sind, kontrollieren, während die von mir untersuchten Zeiten meist grösser als 500  $\sigma$  (= 0,5 Sek.) gewesen sind. „Man begreift daher nicht, wie

---

<sup>1)</sup> Göttingische gelehrte Anzeigen, Juni 1891.

Verfasser sich mittels des Kontrollhammers von der Richtigkeit der erhaltenen Zeitwerte überzeugt haben will. Schon die rein theoretische Ueberlegung lässt ohne weiteres erkennen, dass eine Stromstärke, welche für etwa 150  $\sigma$  richtige Zeitwerte gewinnen lässt, zu hohe Werte ergibt, wenn die zu messenden Zeiten beträchtlich länger sind, und zwar der Fehler um so grösser ist, je länger die Zeiten sind. Denn je länger die Zeit ist, während welcher der elektrische Strom das Uhrwerk durchfliesst, desto mehr überdauert die Festhaltung des Ankers den elektrischen Strom.“ Müller gelangt infolgedessen zu dem kritischen Ergebnis, dass die absoluten Zeitwerte, welche ich erhalten habe, „mit Fehlern behaftet“ und dass „alle auf sie bezüglichen Betrachtungen nur als Zeitverlust anzusehen sind.“

Ich habe darauf folgendes zu erwidern. Die angeführten physikalischen Bemerkungen sind an und für sich selbstverständlich richtig, dagegen sind sie hier völlig bedeutungslos, da die Voraussetzungen, die Müller macht, durchaus falsch sind. Bei der von mir ausnahmslos benutzten Versuchsanordnung zeigt die Uhr nämlich nicht, wie Müller es sich vorstellt, die Zeit an, während welcher der Strom die Uhr durchfliesst, sondern umgekehrt stets diejenige Zeit, während welcher der Uhrstrom unterbrochen ist. Jeder sieht aber ein, dass es sehr gleichgültig ist, ob durch die Uhr nur 150  $\sigma$  oder selbst 1000  $\sigma$  kein Strom hindurchfliesst.

An meiner Darstellung lag die Schuld für Müllers kritischen Missgriff hier so wenig wie an anderen Stellen. Ausdrücklich habe ich bei der Beschreibung meiner Versuchstechnik auf eine bestimmte Stelle der Wundtschen Psychologie verwiesen, wo Wundt sagt: „die Einrichtung ist so getroffen, dass der Strom die Zeiger feststellt und seine Unterbrechung sie in Bewegung setzt.“ In der That habe ich in den drei Jahren, die ich bei Wundt studiert, niemals eine andere Versuchsanordnung gesehen, und bis zum heutigen Tag auch in meinem

Laboratorium diese Anordnung ausnahmslos verwendet; Müller kann nicht beanspruchen, dass ich dieses Verfahren plötzlich ändere, nur um endlich einmal einen seiner Angriffe zu einem berechtigten zu machen.

Und nun zur Sache!

Die hier mitzuteilenden Ergebnisse beziehen sich im wesentlichen auf Unterscheidungs- und Wahlzeiten. Den grösseren Teil der Untersuchungen führte ich im Wintersemester 1890—91 aus, zusammen mit den Herren Dr. Alexander, Dr. Hoops, Dr. Hume, Dr. Mackay, Siebert, Dr. Delabarre, Lewy, Dr. von Jankovich, Frh. Dr. von Schirnhofen; den kleineren, auf Farbenunterscheidung bezüglichen Teil im Sommersemester 1891 mit den vier letztgenannten, während an die Stelle der anderen die Herren Caldwell, Gill, Hahner, Slatopolski, Schwend und Zermelo traten, so dass an jedem Versuch zehn Personen beteiligt waren.

Der Zweck der Arbeit war in erster Linie ein methodologischer. Nicht darauf kam es mir an, die Unterscheidungszeiten auf einem bestimmten Einzelgebiet festzustellen, sondern die Aufgabe war, eine für Unterscheidungsversuche bisher nicht benutzte Methode auf den verschiedensten Gebieten soweit zu verwerten, dass ein Urteil über den Nutzen der Methode ermöglicht würde. Dass die methodologische Fortbildung der zeitmessenden Unterscheidungsversuche wünschenswert ist, scheint mir zweifellos. Dürfte die Psychometrie doch am ehesten einmal im stande sein, uns von den schablonenhaften psychophysischen Methoden zu befreien, deren Unfruchtbarkeit immer deutlicher zu Tage tritt. Es scheint nämlich unter bestimmten Umständen der Satz zu gelten, dass, wenn der Unterschied je zweier Reize gleich gross geschätzt wird, die für die Unterscheidung beider Reize erforderte Zeit unter sonst gleichen Bedingungen dieselbe ist.

Damit ist aber auch ein weiteres gegeben. Die bisherige Entwicklung der Psychophysik hat es mit sich gebracht, dass

den Intensitätsverhältnissen eine bevorzugte Sonderstellung unter den der Beurteilung sich anbietenden Empfindungsbeziehungen eingeräumt wurde. Prinzipiell liegt dazu kein Grund vor. Die qualitative Distanz, die Verschmelzung, die Aehnlichkeit, kurz alle übrigen Empfindungsverhältnisse haben psychologisch dieselbe Bedeutung; nur auf psychometrischem Wege kann eine einheitliche, gleichmässig exakte Behandlung aller dieser Probleme gewonnen werden. Wir können die Distanzbeurteilung untersuchen, indem wir die Zeit messen, welche nötig ist, um zwei qualitativ oder zwei quantitativ verschiedene Reize zu unterscheiden; wir können den Verschmelzungsgrad zweier Empfindungen studieren, wenn wir die Zeit messen, in der wir unterscheiden, ob ein oder zwei Reize vorhanden sind u. s. w. Im folgenden beschäftigen sich vornehmlich die Farbenversuche mit qualitativen Differenzen, die Temperatur- und Augenmassversuche mit quantitativen Unterschieden, die Zirkeltastversuche mit Unterschieden der Verschmelzung. Bei allen diesen Versuchen musste natürlich innerhalb der vergleichbaren Reihen der Reaktionsmodus derselbe bleiben. Nicht minder wichtig werden aber solche Versuche sein, bei denen den wechselnden Reizen auch wechselnde Reaktionsbewegungen entsprechen und somit nicht nur die Unterscheidungszeit, sondern auch die Wahlzeit sich verändert. In diese Gruppe gehören hier die Versuche mit passiven Bewegungen, mit Druckempfindungen u. a.

Die verwerthete Methode geht von einem bekannten Versuch aus, den Galton u. a. benutzten, um ohne feinere Hilfsmittel zu demonstrieren, dass unsere Reaktionsbewegungen auf äusseren Reiz eine nicht unbedeutende Zeit in Anspruch nehmen. Wenn zwanzig, dreissig Personen einen Kreis bilden, sich die Hände reichen, der erste mit der rechten Hand die Linke seines Nachbars drückt, dieser sobald er die Druckempfindung wahrnimmt, so schnell als möglich die Hand des dritten drückt und so fort, so kann der erste schon an einer

Taschenuhr ablesen, dass mehrere Sekunden vergehen, bis der Händedruck durch den ganzen Kreis fortgepflanzt, zu ihm zurückkehrt. Selbst der Einfluss, den centrale Veränderungen auf die Reaktionszeit ausüben, lässt sich mit dieser primitiven psychometrischen Methode demonstrieren; die Zeit wird kürzer, wenn die Aufmerksamkeit durch Signale maximal gespannt ist, und wird erheblich länger, wenn die Teilnehmer durch vorhergehende Arbeit geistig ermüdet sind.

Zunächst können wir nun die ungefähre Zeitbestimmung in eine exakte überführen. Ein elektrischer Schlüssel, der mit dem Hippschen Chronoskop in Verbindung steht, wird so auf dem Fussboden befestigt, dass die Fussspitze der ersten Person den Knopf berührt. Die Hacke des Stiefels ruht fest auf dem Boden und die geringste Aufwärtsbewegung der Fussspitze öffnet, die geringste Abwärtsbewegung derselben schliesst den Kontakt. Die erste Person der Teilnehmerkette schliesst so mit dem Fuss den Strom möglichst synchron mit dem ersten Händedruck und öffnet den Strom, sobald sie den durch den ganzen Kreis fortgepflanzten Händedruck empfangen hat. Nach einiger Uebung ist die Differenzzeit zwischen Hand- und Fussbewegung so minimal, dass sie gegenüber der Gesamtzeit nicht in Frage kommt; die Verlängerung der motorischen Leitungsbahn ist überdies bedeutungslos, da sie bei Schliessung und Oeffnung des Stroms dieselbe ist.

Wir bildeten beispielsweise eine Kette von zehn Personen; jeder umfasste mit der rechten Hand den linken Zeigefinger seines Nachbars. Als erste Versuchsperson, welche mit der Fussspitze den elektrischen Kontakt schloss und öffnete, fungierte ich selber bei sämtlichen Versuchen. Etwa zwei Sekunden vor Beginn des Versuches wurde ein Signal gegeben, um die Aufmerksamkeit maximal zu spannen. Eine Serie von zehn Versuchen ergab im Durchschnitt 1,765 Sek. (M.-V. 0,077), wenn sämtliche Teilnehmer unermüdet waren, dagegen 2,571 (M.-V. 0,137), wenn alle zehn Personen durch zwei-stündiges Experimentieren ermüdet waren. Diese einfache

Anordnung lässt sich nun als Ausgangspunkt für beliebige Unterscheidungs- und Wahlakte denken. Es sei beispielsweise nach gleicher Methode zuerst gesucht, wie lange die Druckübertragung für die Kette von zehn Personen bei schwachem Druck, dann bei starkem Druck dauert, und schliesslich, wie lange sie dauert, wenn zwischen schwachem und starkem Druck gewählt werden soll. Wenn wir zehn Versuche mit schwachem und zehn Versuche mit starkem Druck machen und aus diesen zwanzig Versuchen den Durchschnitt berechnen, und dann zwanzig Versuche anstellen, bei denen zehn starke und zehn schwache Druckreize unregelmässig wechseln und wieder den Durchschnitt der zwanzig Versuche nehmen, so wird die Differenz ein Mass der hinzugetretenen Unterscheidungs- und Wahlzeit für die zehn Versuchspersonen sein. Wollten wir daraus die entsprechende Durchschnittszeit für den einzelnen berechnen, indem wir durch 10 dividieren, so würde bei dieser Anordnung freilich ein kleiner Fehler unvermeidlich sein. Die vollständige Unterscheidung und Wahl läuft nur bei neun Personen ab, bei der zweiten bis zehnten; die erste Person dagegen hat nichts zu wählen, da ihre den Versuch einleitende Wahl zwischen schwachem und starkem Druck dem Kontaktschluss vorangeht, und andererseits ist ihre den Versuch beendende Unterscheidung wesentlich erleichtert, da ja derselbe Reiz, den sie ausgesendet, zu ihr zurückkehren muss, so dass die Leistung der ersten Versuchsperson wenig länger als eine einfache Reaktionszeit dauern wird. Dieser Fehler fällt nun aber vollkommen weg, wenn die gewonnene Ziffer nicht dividiert wird und somit die unter den verschiedenen Versuchsbedingungen erhaltenen Gesamtzahlen direkt verglichen werden, um aus ihnen Schlüsse auf den Einfluss jener Bedingungen zu ziehen. Sollte ein Durchschnittswert für die Einzelperson bevorzugt werden, so müsste bei einer Kette von zehn Personen die für den betreffenden Reiz gültige Reaktionszeit von der Gesamtzahl abgezogen werden und der Rest durch 9 dividiert werden. In den folgenden Ausführungen ist statt dessen

regelmässig die gesamte Zeitdauer angegeben, da ja bei allen psychometrischen Untersuchungen die absolute Zeit unwichtig, die Veränderung der Zeit unter verschiedenen Bedingungen allein von Wichtigkeit ist und diese Veränderung bei der unreduzierten Zeit fehlerfreier und deutlicher hervortritt.

Die Vorteile dieser Methode liegen klar zu Tage. Sie liegen zunächst in der Vermeidung derjenigen Fehler, die aus der Ungenauigkeit der Uhr herkommen; die Fehler beim Anziehen und Loslassen des Ankers können von störendem Einfluss sein, sobald sie zu der Reaktionszeit einer einzelnen Person hinzukommen; sie sind aber von verschwindender Bedeutung, sobald sie zu der Gesamtzeit aller zehn Reaktionen treten. Würde die Reaktionszeit für den einzelnen berechnet, so würde der Uhrfehler durch 10 dividiert werden. Ein weiterer Vorteil liegt in der engen inneren Beziehung zwischen Reiz und Reaktionsbewegung, und in der Möglichkeit, nicht nur die Reize, sondern auch die Bewegungen unerschöpflich zu variieren. Weitaus am wichtigsten aber ist die durch die Methode nothwendig gebotene Ausschaltung aller individuellen Zufälligkeiten. Gewiss ist die Untersuchung individueller Unterschiede höchst wichtig, die unten folgenden Arbeiten haben sich gerade mit diesen vielfach zu beschäftigen; für eine grosse Reihe von Fragen aber wird die prinzipielle Lösung erst dort einsetzen können, wo alle zufälligen individuellen Schwankungen ausgeschieden sind. Stumpf hat schon gelegentlich akustischer Experimente darauf hingewiesen, wie für manche Fragen es nötig ist, die Versuchsergebnisse zahlreicher Versuchspersonen direkt zusammenzurechnen, um aus den „Massenversuchen“ ein von individuellen Zufälligkeiten befreites Bild zu gewinnen. Die Methode der Reaktion bei einer ganzen Kette von Personen gewinnt das Massenergebnis direkt und die Zahl von zehn Teilnehmern dürfte genügen, um eine Ausgleichung der zufälligen persönlichen Schwankungen wahrscheinlich zu machen.

Wenn ich zur Darstellung der verschiedenen Proben

übergehe, die wir mit der Methode der Kettenreaktion vorgenommen, so möchte ich am ausführlichsten unsere Versuche über die Lokalisation der Druck- und Tastempfindung wiedergeben, weil gerade auf diesem Gebiete, mit Ausnahme der sorgfältig untersuchten Tastschwelle, die Verhältnisse noch so wenig geprüft sind. Die Methode der Raumäquivalenzbestimmung war die einzige, welche uns ausser der Schwellenermittlung zur Verfügung stand; die wichtigeren Fragen nach dem Aehnlichkeitsgrad und der Verschmelzung der an verschiedenen Stellen ausgelösten Tastempfindungen blieben völlig unbeantwortet. Die psychometrische Methode kann hier alle Lücken füllen und kann es um so exakter, je systematischer sie das Prinzip der Kettenreaktion verwendet. Die folgenden Mitteilungen sollen lediglich Beispiele geben; eine ausführliche Untersuchung dieser Spezialfrage für die verschiedenen Tastgebiete hoffe ich später bieten zu können.

Zwei Hauptfragen lassen sich trennen. Wir können erstens untersuchen, wie lange es dauert, zu unterscheiden, welcher von zwei oder mehr vorher bestimmten Tastraumpunkten berührt worden ist; je ähnlicher die in Betracht kommenden Empfindungen sind, desto länger wird die Unterscheidung dauern. Wir können zweitens untersuchen, wie lange es zu unterscheiden dauert, ob von den vorher bestimmten Tastraumpunkten nur einer oder ob gleichzeitig beide berührt worden sind; je mehr die entsprechenden Empfindungen verschmelzen, desto länger wird die Unterscheidung dauern. So können wir auf dem einen Weg eine Aehnlichkeitsreihe, auf dem anderen eine Verschmelzungsreihe gewinnen. Beide können bekanntlich sehr divergieren; auf dem Tongebiet, das allein bisher ausreichend untersucht ist, nimmt die Aehnlichkeit direkt mit der Distanz ab, während die Verschmelzung von den musikalischen Intervallen abhängig und ohne Beziehung zur Aehnlichkeit ist.

Die Aehnlichkeitsfrage untersuchten wir eingehend an

den Fingerspitzen. Wie lange dauert es, zu erkennen, welcher von zwei oder mehr Fingern einer Hand an der Spitze gedrückt wird? Die Anordnung war folgende: Die zehn Teilnehmer sassen im Kreise. Jeder hält seine linke Hand in Brusthöhe so, dass die Finger vertikal nach oben stehen; diejenigen Finger, zwischen denen gewählt wird, sind gestreckt, die anderen gebeugt; die Spitzen der gestreckten Finger werden möglichst gleich weit voneinander entfernt gehalten. Nach einiger Uebung gelingt es leicht, jedes beliebige Fingerpaar isoliert zu strecken und die Spitzen übereinstimmend etwa 4—5 cm voneinander entfernt zu halten. Kopf und Augen sind nach rechts auf die linke Hand des rechten Nachbarn gewandt, so dass niemand während des Versuches seine eigene linke Hand sieht. Die rechte Hand wird, die Fingerspitzen nach unten, zugespitzt dicht über der linken Hand des rechten Nachbarn gehalten, so dass sie mit einer Rechts- oder Linksbewegung von etwa 2 cm das Endglied von einem der gestreckten Finger des Nachbarn wie mit einer Zange fassen und drücken kann. Die Bewegung der rechten Hand bleibt also stets genau dieselbe, gleichviel zwischen welchen beiden Fingern die Wahl zu treffen ist. Ohne Schwierigkeit können auch drei, vier und fünf Finger so gestreckt werden, dass die Fingerspitzen ungefähr gleichseitige Dreiecke, Vierecke und Fünfecke bilden, über deren Mittelpunkt dann die zugespitzte Hand des Nachbarn von jedem Finger gleich weit entfernt ist. Die erste Person ergreift also einen der zu wählenden Finger der zweiten Person; diese unterscheidet lediglich durch den Tastsinn, welcher Finger gedrückt wird, und ergreift daraufhin den entsprechenden Finger der dritten Person. Gemessen wird die Zeit für die Fortpflanzung des Reizes durch die ganze Kette.

Die Zeit, welche die Bewegung des Ergreifens dabei in Anspruch nimmt, ist sehr gering. Wird nämlich nicht zwischen mehreren Fingern gewählt, sondern vorher bestimmt, welcher Finger ergriffen werden soll, so dass Unterscheidungs-

und Wahlzeit wegfällt, so ergab sich eine Zeit von 2,065 Sek. als Durchschnitt von 20 Versuchen; wird dagegen die Fingerspitze schon vorher gefasst und beim Versuch nur gepresst, so dauert es 1,879. Die Bewegung dauert also für alle zehn Personen noch nicht 0,2, für den einzelnen etwa 0,02 Sek.: diese Zeit ist in sämtlichen Versuchen gleichmässig enthalten. Finger I ist Daumen, II Zeigefinger u. s. w.

Jede Zahl gibt den Durchschnitt aus 15 bis 20 fehlerlosen Versuchen; wurde ein Fehler durch Greifen eines falschen Fingers gemacht, so wurde der Versuch nicht berücksichtigt. Den gesamten verwerteten Versuchen gingen einige Übungsreihen voran; auch jeder neue Arbeitstag begann mit Übungsversuchen. Andererseits bemühten wir uns, die Versuche so zu verteilen, dass Übung und Ermüdung auf alle gleichmässigen Einfluss hatte. Zwischen den einzelnen Fingern wechselte ich so unregelmässig, dass von einem Vorhererwarten seitens der Versuchspersonen nicht die Rede sein kann.

War die Wahl zwischen zwei Fingern, so ergibt sich I—II: 3,335 Sek.; I—III: 3,268; I—IV: 3,875; I—V: 3,184; II—III: 3,469; II—IV: 3,559; II—V: 3,277; III—IV: 4,086; III—V: 3,390; IV—V: 4,008. Die mittlere Variation schwankt zwischen 0,05 und 0,2; sie übersteigt nirgends den zwanzigsten Teil der ganzen Zeit. Wollten wir hieraus allein schon eine Aehnlichkeitsreihe konstruieren, so würde sie sich folgendermassen gestalten: III—IV, IV—V, I—IV, II—III, III—V, I—II, II—V, I—III, I—V. Wenn wir aus sämtlichen Versuchen dieser zehn Gruppen den Durchschnitt derjenigen Zeiten berechnen, welche sich für den einzelnen Finger ergaben — jeder Finger ist etwa 40mal, je 10mal mit jedem der vier anderen Finger, vorgekommen —, so erhalten wir: I: 3,294; II: 3,324; III: 3,733; IV: 3,965; V: 3,390. Der vierte Finger wird also weitaus am schlechtesten von den anderen Fingern unterschieden; am deutlichsten hebt sich die Tastempfindung am ersten, dann am zweiten, schliesslich am fünften Finger ab.

Wurde zwischen drei Fingern gewählt, so ergab sich bei der gleichen Versuchszahl durchschnittlich: I—II—III: 4,119; II—III—IV: 4,487; III—IV—V: 4,564; I—II—V: 4,326; I—III—V: 4,087; II—IV—V: 4,436; II—III—V: 4,338. Bei vier Fingern: I—II—III—IV: 4,812; II—III—IV—V: 4,891. Erfolgt die Wahl zwischen allen fünf Fingern, so beansprucht die Kettenreaktion 5,073. Wird bei dieser letzteren Wahl das Ergebnis für jeden Finger gesondert berechnet, so ergibt sich I: 4,568; II: 4,377; III: 5,242; IV: 6,158; V: 4,952. Dieselbe Reihenfolge also wie oben bei den Zweifingerversuchen, nur dass dort der erste Finger ein wenig rascher erkannt wurde als der zweite, während hier der zweite an der Spitze steht und der erste folgt. Es ist hier nicht der Ort, von neuem zu erörtern, weshalb mit zunehmender Zahl der zu unterscheidenden Empfindungen und der zu wählenden Bewegungen die Reaktionszeit so erheblich anwächst. Den vierten Finger unter zwei Fingern zu erkennen und zu ergreifen, dauerte 3,965, unter fünf Fingern 6,158 Sek. Da diese Arbeit den methodologischen Gesichtspunkt festhalten will, habe ich nur darauf hinzuweisen, mit welcher Feinheit aus diesen Kettenreaktionen sich die geringsten Unterschiede erkennen lassen. Auch darauf sei hingewiesen, dass vermöge der durch die Methode gebotenen Versuchsanordnung ein sonst nicht zu erreichender Grad vorbereitender Aufmerksamkeit gewonnen wird; dadurch, dass die Augen auf die Finger des Nachbarn gerichtet sind und die auszuführenden Bewegungen in engster Beziehung zu den Reizen stehen, sind wir in sehr viel höherem Mass im stande, die Erinnerungsbilder der entsprechenden Tastempfindungen über der Schwelle des Bewusstseins schon vorher festzuhalten. Die Versuche lassen sich auch so ausführen, dass jeder ein Tischchen mit fünf Tasten vor sich hat und durch Druck auf die Tasten elektrische Ströme schliesst, die durch fünf Ringe an der Hand des Nachbarn führen. Je nach der elektrischen Fingerreizung wird dann die entsprechende Taste gedrückt.

Auf die anatomisch-physiologischen Bedingungen der gefundenen Aehnlichkeitsreihe können wir hier nicht eingehen. Die v. Kriessche Vermutung, dass die zur Unterscheidung zweier, an verschiedenen Hautstellen applizierten Reize notwendige Zeit sich mit der Lage der beiden Hautstellen nicht verändere, hat sich jedenfalls als falsch erwiesen.

Mit derselben Fragestellung versuchten wir auch die Unterscheidungszeit für verschiedene Körperteile, wie Rücken, Schulter, Oberarm, Unterarm, Hand, zu prüfen. Soll auch hier der Tastreiz direkt durch die stossende geballte Hand hervorgerufen werden, so muss dieselbe ziemlich beträchtliche Bewegungen, etwa von der Schulter des Nachbars bis zu seinem Unterarm, ausführen. Die Versuche, die stehend gemacht wurden, bekamen dadurch etwas Rohes; für speziellere Untersuchung ist es natürlich leicht, mit geeigneten Apparaten auch hier elegantere und dadurch exaktere Bedingungen herzustellen. Wenn ich die Versuche dennoch kurz erwähne, so geschieht es, weil sie in deutlicher Weise die Unterschiede der Aehnlichkeitsgrade aufweisen und zugleich durch die Kleinheit der mittleren Variationen beweisen, dass die Methode der Kettenreaktionen feine Unterschiede selbst bei den einfachsten Hilfsmitteln erkennen lässt. Die Hand stand vor dem Versuch möglichst in der Mitte zwischen den zu wählenden Körperteilen. Die Versuche wurden in gleicher Weise wie bei den Fingerversuchen geübt, geordnet und berechnet.

Wir begannen mit der Wahl zwischen zwei Reizen, nachdem die Bewegung zu einer Stelle hin ohne Wahl ausgiebig geübt war. Ohne Wahl von der Mittellinie des Rückens aus den Rücken rechts oder links treffen, etwa in der Gegend des Schulterblattes, dauerte für die zehn Personen 1,729; war zwischen rechtem und linkem Schulterblatt die Wahl zu treffen, so gebrauchten wir 2,627. Wurde zwischen Ober- und Unterarm gewählt, wobei die Hand in der Gegend des Ellbogens ruhte, so dauerte es 3,494, die Wahl zwischen Rücken und Schulter derselben Seite 3,987. Die mittlere

Variation schwankte dabei zwischen 0,1 und 0,2 Sek. Die Unterscheidung zwischen rechts und links mit Wahl der entsprechenden Bewegung geht also wesentlich schneller als Unterscheidung von Unter- und Oberarm und diese wieder schneller als die zwischen Schulter und Rücken. Bezog sich die Wahl auf drei Reize, so ergaben: Oberarm, Unterarm, Hand 3,776; Oberarm, Unterarm, Schulter 3,929; Oberarm, Schulter, Rücken 4,184. Bei vier Reizen: Schulter, Oberarm, Unterarm, Hand 4,176; Rücken, Schulter, Oberarm, Unterarm 4,545; bei fünf Reizen: Rücken, Schulter, Oberarm, Unterarm, Hand 4,692. Auch hier ist eine ganz konstante Reihe der Aehnlichkeitsbeziehungen nicht zu verkennen. Welche nahe Beziehung zwischen der Tastempfindung und dem Bewegungsimpuls besteht, zeigte sich in einigen Versuchsreihen, bei denen wir die natürliche Zuordnung umkehrten; jeder musste den Reiz gekreuzt weitergeben, also die linke Schulter des Nachbars berühren, wenn er den Reiz an der rechten empfing. Bei der Wahl zwischen rechtem und linkem Schulterblatt stieg bei diesen gekreuzten Versuchen die vorher gewonnene Zeit von 2,627 auf 3,093, und bei gekreuzter Uebertragung von Oberarm und Unterarm wuchs die Zeit von 3,494 auf 3,907. Noch beträchtlicher wuchs dabei die mittlere Variation, die fast 0,3 erreichte.

Bezog sich bisher die Frage auf die Aehnlichkeit der Empfindungen, so beschäftigen sich die folgenden Versuche mit der Verschmelzung. Wie lange dauert es, zu unterscheiden, ob ein Punkt oder gleichzeitig zwei Punkte berührt werden, wobei selbstverständlich die Distanz der beiden Punkte grösser als ein Durchmesser eines Empfindungskreises sein muss, so dass falsche Urteile bei hinreichender Aufmerksamkeit ausgeschlossen sind? Wir untersuchten die Frage zunächst auf der Mittellinie der inneren Hand von der Spitze des Mittelfingers bis zur Handwurzel. Denken wir uns in dieser Mittellinie auf der inneren Handfläche ein Stück abgegrenzt, welches die Länge des Mittelfingers hat, so haben wir von Handwurzel bis Fingerkuppe eine gerade Linie, welche die doppelte Länge

des Mittelfingers besitzt; denken wir uns die Handlinie in drei gleich grosse Teile geteilt, während die Fingerlinie durch die Gelenke zerlegt wird, so gewinnen wir sechs benachbarte Stücke; wir wollen sie mit A, B, C, I, II, III bezeichnen, wobei dann A an der Handwurzel liegt, III das äusserste Glied des Mittelfingers bezeichnet. Wir untersuchten nun die Verschmelzung, wenn die beiden Berührungspunkte entweder nahe an den Enden von je einem der sechs Teile oder wenn sie in der Mitte von zwei benachbarten Teilen, oder schliesslich in zwei nicht benachbarten Teilen lagen. Als Reiz verwendeten wir einen verschieden weit zu öffnenden Drahtbügel, an dessen Enden Erbsen als runde Knöpfchen aufgespiesst waren; es galt also, mit einem oder gleichzeitig mit beiden Bügelenden die Mittellinie zu berühren. Die linke Hand war nach oben offen dem linken Nachbar hingehalten, die Augen auf die rechte Hand des rechten Nachbars gewandt, über welcher die eigene rechte Hand den kleinen Tastzirkel hielt, um mit geringster Bewegung eine oder beide Spitzen je nach dem empfangenen Eindruck aufzusetzen. Für jede Reihe wurden zwanzig fehlerfreie Versuche angestellt, bei denen in unregelmässiger Folge zehnmal eine, zehnmal beide Spitzen aufgesetzt wurden. Selbstverständlich gibt die Durchschnittszeit für die Fälle, in denen nur eine Spitze aufgesetzt wird, einen anderen, und ausnahmslos einen grösseren Wert, als die der Fälle mit zwei Spitzen; es ist leichter zu erkennen, dass zwei Empfindungen in den Eindruck eingehen, als dass eine zweite Empfindung nicht vorhanden ist. Für die Verschmelzungsfrage kommen nur die Zweispitzenfälle in Betracht; wir wollen im folgenden daher nur diese berücksichtigen. Um sie zu gewinnen, ist die Durchmischung mit Einspitzenfällen unerlässlich, da, wie gesagt, die zwei Spitzen weit genug voneinander entfernt sind, um ausnahmslos richtig als zwei erkannt zu werden. Die Resultate beweisen, dass trotzdem in der Zeitdauer dieses Erkennens erhebliche Unterschiede des Verschmelzungsgrades bemerkt werden können.

Die gefundenen Werte sind folgende. Wenn beide Spitzen innerhalb eines der sechs Teile die Mittellinie berührten, und zwar mit einer Distanz von etwa 20 mm, so ergab die Kettenreaktion für III (also das letzte Glied des Mittelfingers): 4,385, für II: 4,723, für I: 5,001, für C: 4,436, für B: 4,323, für A (Handwurzel): 4,721. Die mittlere Variation beträgt 0,14 bis 0,25. Werden die beiden Spitzen auf die beiden Mitten zweier benachbarter Teile aufgesetzt, so ergibt sich für III—II: 4,279, für II—I: 4,476, für I—C: 4,800, für C—B: 4,325, für B—A: 4,692. Werden die Mittelpunkte von zwei nicht benachbarten Teilen berührt, und zwar zunächst von solchen, die durch einen zwischenliegenden Teil getrennt sind, so fanden wir für III—I: 4,184, für II—C: 3,710, für I—B: 4,253, für C—A: 4,172. Liegen zwei Teile dazwischen, so ergibt sich für III—C: 3,356, für I—A: 3,472. Es ist klar, dass in allen diesen Fällen die auszuführende Reaktionsbewegung genau dieselbe war, und wenn wir dennoch, obgleich die mittleren Variationen nirgends den zwanzigsten Teil übersteigen, so grosse Differenzen wie 3,356 für III—C und 4,800 für I—C finden, so haben wir darin den reinen Ausdruck des verschiedenen Verschmelzungsgrades der betreffenden Tastempfindungen zu suchen. Dass derselbe eine Funktion der Distanz ist, tritt deutlich hervor, da der Gesamtdurchschnitt für Nachbartheile 4,512, für zwei Teile, die durch einen dritten getrennt sind, 4,079, für solche, die durch zwei andere getrennt sind, 3,424 beträgt. Noch klarer aber lässt sich erkennen, dass die Distanz nicht allein massgebend, wichtiger vielmehr die Lage der Hautstellen und ihre Beziehung zur Beweglichkeit der betreffenden Teile ist. Es bedarf nicht des Hinweises, dass auf diesem Wege zahlreiche Fragen der Tastraumlehre zu beantworten sind, für welche die Methoden der Schwellenbestimmung und der Aequivalenzbestimmung durchaus unzureichend sind. Erst solche psychometrischen Untersuchungen werden auch die Verwandtschaft symmetrisch projizierter Tastempfindungen in ihren Bedingungen verstehen lehren und

zwar nicht nur dann, wenn die Reize symmetrisch zur Mittellinie des ganzen Körpers liegen, sondern auch jene eigentümliche Verwandtschaft derjenigen Tastempfindungen, deren Reize symmetrisch zu der lediglich subjektiv zu bestimmenden Mittellinie der einzelnen Glieder liegen.

An die Tastversuche sei der Bericht über einige Temperaturversuche angereiht; sie sollen lediglich beweisen, dass die Methode der Kettenreaktion auch diesen Fragen sich anpassen lässt. Es galt, als einfachsten Fall zu untersuchen, wie sich die Unterscheidungszeit für kalt und warm verändert, wenn der Wärmereiz verschiedene Intensität besitzt. Selbstverständlich mussten die beiden Bewegungen, zwischen denen der Reagierende zu wählen hat, für sämtliche Versuche konstant bleiben, so dass in dem System der Versuchsbedingungen nichts wechselt ausser dem Temperaturgrad des einen Reizes. Auch hier lassen sich leicht kompliziertere Fragen anschliessen und in ähnlicher Weise prüfen, beispielsweise nach der Unterscheidungszeit für zwei verschieden kalte oder zwei verschieden warme Reize, für mehr als zwei Temperaturreize u. s. w.; vor allem kann auch hier die Verschmelzungsfrage studiert werden: wie lange dauert es, zu unterscheiden, ob zwei Hautstellen von zwei gleichmässig warmen oder von zwei verschieden warmen Reizen getroffen werden. Wir beschränkten uns auf jenen einfachsten Fall. Jede der zehn im Kreise sitzenden Versuchspersonen legt die linke Hand auf das linke Knie; die Augen sind nach rechts auf die linke Hand des rechten Nachbarn gerichtet; in der rechten Hand hält jeder zwei halb mit Wasser gefüllte chemische Reagensgläschen, und zwar durch geeignete Fingerstellung so, dass die Gläschen oben spitzwinklig zusammenliegen, unten aber voneinander abstehen. Beide Gläschen werden nun nahe an der Hand des Nachbarn so gehalten, dass die geringste Wendung der Hand das eine oder das andere der Gläschen in Berührung mit dem äusseren Rande der Hand des Nachbarn bringt. Nun ist das Wasser verschieden temperiert, das kalte

wird stets nach innen, das warme stets nach aussen gehalten, und so kann durch minimale Reaktionsbewegung je nach dem empfangenen Eindruck der Temperaturreiz durch die ganze Kette fortgepflanzt werden. In der Mitte des Kreises standen Wassergefässe, welche durch Eis und Spiritusflamme konstant bei der gewünschten Temperatur gehalten wurden; durch Reagensglasthermometer und Eintauchen in jene Gefässe wurde die Temperatur jedes einzigen Gläschens für den Versuch eingerichtet. Die Zimmertemperatur betrug  $17^{\circ}$  C.; der Kältereiz war bei allen Versuchen konstant  $10^{\circ}$  C., der Wärmereiz bei je zwanzig fehlerfreien Versuchen  $30^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$  und  $70^{\circ}$ . Die gesamte Reaktionszeit betrug bei der Unterscheidung von  $10^{\circ}$  und  $30^{\circ}$ : 5,261 Sek., von  $10^{\circ}$  und  $40^{\circ}$ : 4,949, von  $10^{\circ}$  und  $50^{\circ}$ : 4,903, von  $10^{\circ}$  und  $70^{\circ}$ : 4,827. Die mittlere Variation schwankte um 0,2 Sek.

Von hohem Interesse scheinen mir auch die bisher ganz vernachlässigten psychometrischen Unterscheidungsversuche für passive Bewegungen mit entsprechender Wahl aktiver Bewegungen. Sie werfen Licht sowohl auf die Unterschiede der Bewegungsempfindungen als auch auf die Beziehungen zwischen Bewegungsempfindung und Bewegungsimpuls. Ich beschränke mich auch hier auf die Wiedergabe der Resultate, ohne auf die Entwirrung des Problemgeflechtes eingehen zu wollen; jede theoretische Diskussion der Ergebnisse würde die Aufmerksamkeit von dem ablenken, worauf es mir ankommt, nämlich von der Thatsache, dass die Kettenreaktionsmethode überraschend deutlich die Wirkungen der kleinsten Bedingungsvariationen zum Ausdruck bringt. Die zehn Teilnehmer sassen mit dem Gesicht nach aussen im Kreise; jeder umfasst mit der rechten Hand fest das linke Handgelenk seines rechten Nachbars; der linke Arm wird möglichst locker in gebeugter Stellung gehalten, so dass er leicht passiv der durch den Nachbar erfolgenden Führung im Handgelenk nachgibt. Die Versuche werden mit geschlossenen Augen gemacht. Die bei der passiven Bewegung des linken Arms entstehende Empfin-

dung muss unterschieden werden, damit der rechte Arm so schnell wie möglich dann die entsprechende Bewegung mit dem linken Arm des Nachbars ausführen kann. Jede Bewegung wird, ehe sie in den Komplex der zu wählenden Bewegungen aufgenommen wird, erst ohne Wahl längere Zeit geübt; also zuerst wird eine Aufwärtsbewegung oder eine Rechtsbewegung allein ohne Wahl von Person zu Person übertragen. Auch jedem Wahlversuch gehen einige Uebungsversuche voraus. Die hier angegebenen Zahlen sind aus je zwanzig, bei den mehr als zweigliedrigen Wahlen aus je dreissig bis vierzig fehlerfreien Versuchen gewonnen, die stets an verschiedenen Tagen angestellt sind, so dass sich Uebung und Ermüdung gleichmässig verteilen. Es bedeutet r rechts, l links, o oben, u unten.

Erfolgt die Wahl zwischen r und l, so beansprucht die Gesamtreaktion 2,489; zwischen o und u: 2,540; zwischen o und r: 2,723; zwischen o und l: 2,683; zwischen u und l: 2,745. Die Wahl zwischen antagonistischen Bewegungen erfolgt also wesentlich rascher als zwischen rechtwinkligen. Wurde zwischen drei Bewegungen gewählt, so nahm die Reaktionszeit zu; o, l, u: 2,878; r, u, l: 2,875; bei vier Bewegungen r, o, l, u: 2,954. Die mittlere Variation wächst von 0,1 bis 0,2 Sek. Wir gingen dann zu Versuchen über, bei denen auch schräge Bewegungen, also zwischen l und o noch ol, respektive or, ul und ur vorkamen. Die Unterscheidungszeit nimmt dadurch bedeutend zu. Die Wahl zwischen l, ol und o dauert 4,425, zwischen l, ol, o, or und r: 4,568. War zwischen allen acht Richtungen, also l, ol, o, or, r, ru, u, ul zu wählen: 5,153 mit einer mittleren Variation von 0,28 Sek. Der letztere Versuch mit acht Richtungen wurde dann dadurch kompliziert, dass die Aufgabe gestellt wurde, die empfangene Bewegungsrichtung nicht einfach weiterzugeben, sondern um  $45^{\circ}$  im Sinne des Uhrzeigers zu verschieben, also wer l empfing, gab lo weiter, der nächste o und so fort. Es ergab sich trotz erheblicher Uebung die Reaktionszeit von 7,871 Sek., also ein bedeutender Zu-

wachs, der theoretisch von hohem Interesse ist. Da die mittlere Variation dabei nur 0,29 betrug, so ist nicht zu zweifeln, dass der grosse Zeitzuwachs einem konstanten psychophysischen Zwischenglied zugehört. Dasselbe gilt von der Reaktionsverlängerung, die dann entstand, sobald bei der Wahl zwischen  $r$  und  $l$  die empfangene Bewegung in die entgegengesetzte verwandelt werden sollte bei gleichsinniger Fortpflanzung, wie oben angegeben, 2,489, bei ungleichsinniger 3,272. — Wurden in der Luft mit dem Arm grosse arabische Ziffern beschrieben, so dauerte es bei Wahl zwischen 0 und 1: 4,773; Wahl zwischen 1 und 2: 4,745; Wahl zwischen 2 und 3: 4,865; Wahl zwischen 0, 1, 2: 6,538; Wahl zwischen 0, 1, 2, 3: 7,116. Wurde die Aufgabe gestellt, zu diesen Zahlen bei der Weitergabe 1 zu addieren, also statt 0 eine 1, statt 1 eine 2 und statt 3 wieder eine 0 zu übermitteln, so dauerte es 9,684, also für jede Person fast eine Sekunde und ergab trotzdem nur eine mittlere Variation von 0,37. Auch die Versuche dieser Art lassen sich unerschöpflich variieren und werden für das Studium der Bewegungsempfindungen unerlässlich sein; gerade solche Experimente aber, bei denen nicht nur zwischen verschiedenen Reizen unterschieden werden soll, sondern auch die mannigfachsten Variationen der Bewegungsreaktion notwendig werden, können auf keine Weise so einfach angestellt werden wie mittels Kettenreaktion.

Ganz kurz berühre ich die Versuche, die wir mit verschiedenen langen Stäben anstellten. Zwischen zwei Strecken von 2 und 10 cm zu wählen, dauerte 4,341, zwischen 7 und 10 cm: 5,855; zwischen 8 und 10: 7,449; zwischen 8,5 und 10: 8,839; zwischen 9 und 10: 9,839; zwischen 9,5 und 10: 11,624. Bei der letzteren Wahl kamen schon einige Fehler vor. Die Genauigkeit, mit der auch hier die Zeit anwächst mit der Schwierigkeit der Aufgabe, befürwortet somit, auch das Gebiet des Augenmasses systematisch mit psychometrischen Methoden zu studieren.

Ausführlicher möchte ich unsere Kettenreaktionen mit

Farbenreizen beschreiben, weil für sie kompliziertere Hilfsmittel in Anwendung kamen, wie sie für exaktere Spezialuntersuchungen unerlässlich sind; die Vorrichtungen sind für alle optischen Reize, also Augenmassgrössen, Formen, Figuren, Bilder, Worte u. s. w. in gleicher Weise brauchbar. Ich beschränke mich hier auf die Darstellung unserer Farbenversuche. Die zehn Versuchspersonen sitzen dabei nicht im Kreise, sondern in einer geraden Linie, damit die Beleuchtungsverhältnisse für alle dieselben sind; der Abstand war so gewählt, dass die zehn Personen einen Platz von etwa 8 m Länge beanspruchten. Vor den Versuchspersonen stehen zehn gleiche Apparate. Jeder derselben besteht aus einem schweren eisernen Dreifuss, der in Tischhöhe eine schwarze vertikale Holzplatte von 50 cm Länge und Höhe, 2 cm Dicke trägt. In der Mitte dieser schwarzen Platte ist ein Fensterchen 6 cm im Quadrat; in dieses Fenster treten von der Hinterseite die optischen Reize ein, welche somit in der Mitte eines schwarzen Gesichtsfeldes auftauchen. Auf der Vorderseite jedes Apparates sind rechts in bequemer Höhe fünf Tasten für die fünf Finger der rechten Hand; die fünf Tasten sind in Verbindung mit fünf Fäden, welche hinter der Holzplatte über Rollen geleitet zur Holzplatte des nächsten Apparates hinführen und dort mit fünf Zangen in Verbindung stehen, die hintereinander 10 cm über dem Fensterchen auf der Rückseite der Platte angebracht sind. Wird z. B. die fünfte Taste des ersten Apparates gedrückt, so öffnet sich die fünfte Zange des zweiten Apparates. Jede dieser fünf federnden Zangen hält je einen Stift fest, welcher am oberen Rand einer 8 cm im Quadrat grossen Metallplatte angebracht ist; fünf solche Platten hängen frei hintereinander, und wird einer der fünf Haken geöffnet, so muss die betreffende Platte durch ihr beträchtliches Eigengewicht sehr schnell herabfallen. Jede Platte fällt dabei, durch seitliche Schienen und hinten angreifende Federn geleitet, so, dass sie genau die Fensteröffnung ausfüllt; an der Lage der Metallplatte ist also nicht zu erkennen, ob

es die vorderste oder die hinterste Platte war. Jede dieser kleinen Platten hat oben und unten Rinnen, um ein Kartonblatt mit Farben, Figuren, Bildern, Worten aufzunehmen.

Es sei beispielsweise ein Versuch mit Worten beabsichtigt. Wir besitzen Kartonblätter mit gedruckten Namen berühmter Männer. Es wird vereinbart, die erste Taste soll gedrückt werden, wenn der Name einen Dichter bezeichnet, die zweite bei einem Maler, die dritte bei einem Musiker u. s. w. (Der leichteren Einübung wegen werden die Klassenbegriffe stets alphabetisch geordnet.) Die Assistenten, welche die Hinterseite der Apparate versehen, haben jetzt dafür zu sorgen, dass in jeden der zehn Apparate fünf Plättchen eingehakt werden, von denen stets das erste ein Kartonblatt mit Dichternamen, das zweite mit Malernamen u. s. w. trägt. Drückt jetzt die erste Versuchsperson auf die dritte Taste, so fällt sofort in das Fenster des zweiten Apparates die Platte, welche den Musikernamen enthält; sobald die zweite Person denselben gelesen und als solchen unterschieden hat, drückt sie auf die dritte Taste ihres Apparates, wodurch die entsprechende Platte des dritten Apparates herabfällt und so fort bis zum zehnten. Selbstverständlich werden die fünf Finger schon vorher den Tasten aufgelegt. Die zehnte Person muss ihrerseits nun wieder durch Tastendruck den Reiz für die erste Person auslösen; da dieselben aber 8 m voneinander entfernt, ist die mechanische Uebertragung durch Fäden hier ungeeignet. Am zehnten Apparat sind deshalb die Tasten mit fünf elektrischen Drähten in Verbindung, für deren Rückleitung ein Draht genügt. Dem entsprechend sind die fünf Haken des ersten Apparates mit fünf Elektromagneten versehen, so dass, wenn eine Taste des zehnten Apparates gedrückt wird, der entsprechende Haken des ersten sich öffnet und die betreffende Metallplatte dort in die Fensteröffnung herabfällt. Da die erste Person bei dieser Anordnung nur die rechte Hand gebraucht, so kann sie, wie wir es gethan, die Oeffnung und Schliessung der Uhr statt mit der Fussspitze mit der linken Hand aus-

führen, nachdem sie sich geübt, möglichst synchron mit der rechten Hand eine der fünf Tasten und mit der linken Hand den Uhrschlüssel herabzudrücken. Selbstverständlich werden nicht für jeden Versuch sämtliche fünf Platten des Apparates gebraucht, wodurch die Vorbereitung des Einzelversuches wesentlich bequemer wird. Andererseits kann es nicht schwierig sein, nach Bedürfnis die Apparate mit noch grösserer Plattenzahl und Klaviatur für beide Hände herzustellen. Neuerdings liess ich den Apparat in wesentlich verbesserter Form so herstellen, dass die Fäden fortfallen, sämtliche Auslösungen elektrisch stattfinden, die einzelnen Platten, sobald der Magnet sie auskoppelt, durch starke Federn in das Fenster gerissen werden u. s. w. Die hier beschriebenen Versuche sind aber mit den älteren Apparaten ausgeführt.

Bei den als Beispiel anzuführenden Farbenversuchen waren in sämtliche Metallplatten weisse Kartonblätter eingeschoben, die in der Mitte einen 2 cm langen Doppelschlitz enthielten; in diesen konnten Streifen von farbigem Glanzpapier eingeschoben werden, so dass in dem Fenster jedesmal eine 6 cm im Quadrat grosse weisse Fläche sichtbar wurde, in deren Mitte sich ein 2 cm grosses farbiges Quadrat befand. Die Ordnung und Zahl der Versuche war wie bei den früheren Gruppen. Die Reihenfolge der Farben folgte ebenfalls dem Alphabet.

Wie schnell die gesamte Reaktionszeit mit der Zahl der zu unterscheidenden Eindrücke und zu wählenden Bewegungen zunimmt, ergibt sich aus folgendem. Bei der zweigliedrigen Wahl zwischen Gelb und Schwarz: 4,403, zwischen Gelb und Blau: 4,582; zwischen Gelb und Grün: 4,713; bei dreigliedriger Wahl zwischen Gelb, Grün, Schwarz: 5,727, Blau, Gelb, Grün: 5,847; viergliedrig: Blau, Gelb, Grün, Schwarz: 7,645; Blau, Gelb, Grün, Rot: 7,253; und schliesslich fünfgliedrig: Blau, Gelb, Grün, Rot, Schwarz: 8,275. Theoretisch interessanter sind aber diejenigen Versuche, bei denen die Zahl der Eindrücke und der Bewegungen konstant ist und nur die

Qualität der Reize wechselt. Eröffnet sich doch so ein Weg, auf dem wir, unbeeinflusst durch Farbentheorien und Regenbogenkenntnis, exaktesten Aufschluss über die Aehnlichkeitsverhältnisse der Farbenempfindungen gewinnen müssen.

Schon in den eben berichteten Versuchen zeigt sich, dass es länger dauert, Gelb und Grün zu unterscheiden, als Gelb und Blau, und dieses länger als die Unterscheidung von Gelb und Schwarz. Während Blau, Gelb, Grün nur 5,847 beanspruchten, wurde für Rot, Purpur, Violett 6,853 gebraucht. Dass die Verlängerung der Zeit bei wachsender Zahl von Reizen und Reaktionen nicht lediglich den Bewegungen zur Last fällt, sondern sehr wesentlich auch den zu unterscheidenden Eindrücken, ergibt sich aus folgendem. Wird vereinbart, den ersten Finger zu drücken, sobald Gelb oder Blau, den zweiten Finger, sobald Rot oder Grün sichtbar wird, so dauert die Reaktion 6,328, also zwar nicht ganz so lange, als wenn die vier Farben mit vier Bewegungen verbunden sind (7,253), aber doch viel länger als die Wahl zwischen zwei Farben, ja sogar wesentlich länger als die Wahl zwischen dreien mit drei Bewegungen (Blau, Gelb, Grün: 5,847). Diese letztere Methode erwies sich auch gerade für das Studium der Aehnlichkeitsbeziehungen nützlich. Als Beispiel diene folgendes. Der erste Finger drückt bei Gelb oder Orange, der zweite bei Blau oder Violett; die Reaktionszeit sinkt auf 5,389, also viel kleiner wie bei Gelb-Blau und Rot-Grün. Wird jetzt dagegen die Einstellung vertauscht, so dass der erste Finger nunmehr Gelb oder Blau, der zweite Orange oder Violett entspricht, so wächst die Zeit auf 6,552. Es wird von Interesse sein, künftig ganz besonders die Aehnlichkeit von Mischfarben in dieser Weise psychometrisch zu untersuchen. — Anregenden Einblick in den Mechanismus des Urteilens gewähren auch solche Versuche, bei denen der eine der zu unterscheidenden Eindrücke nur negativ bestimmt ist, also etwa Blau und Nichtblau, wobei die Versuchsperson vorher nicht weiss, ob das Nichtblau nun Rot, Gelb, Grün oder Schwarz sein wird. Die Wahl zwischen Blau

und Grün dauerte 4,835, Blau-Schwarz 4,813, Blau-Rot 4,653 und Blau-Gelb 4,582; aber Blau-Nichtblau dauerte 5,273, obgleich nur jene fünf Farben in Betracht kamen. Diese Beispiele mögen genügen, um zu beweisen, wie die Methode der Kettenreaktionen auch auf optischem Gebiet ein überaus wertvolles Hilfsmittel für die Analyse des psychischen Geschehens darstellt.

Gewissermassen anhangsweise füge ich ebenfalls lediglich unter methodologischem Gesichtspunkt den Bericht über einige Versuchsreihen an, die das Prinzip der Kettenreaktion nach anderer Richtung variieren. Es gibt zahlreiche psychometrische Fragen, bei denen die Uebertragung des Reizes von Person zu Person schwierig oder unmöglich ist, andere, bei denen die dadurch bewirkte Auslöschung des individuellen Unterschiedes überflüssig ist, bei denen viel mehr darauf ankommt, die zufälligen Unterschiede der einzelnen Reize zu nivellieren. Es erweist sich dann als geeignet und gewährt, was Exaktheit der Messung anbetrifft, viele Vorteile der Kettenreaktion, wenn der betreffende psychische Vorgang — es wird sich in erster Linie um Associationen handeln — vielleicht zehnmal wiederholt wird. Bei den Kettenreaktionen erledigten zehn Personen hinter einander einen psychischen Prozess, hier bei den Reihenreaktionen erledigt eine Person hintereinander zehn koordinierte psychische Prozesse. Auch hier kommt natürlich nur das relative Zeitergebnis in Betracht, aber auch hier muss der gesetzmässige Einfluss der Bedingungsvariationen reiner hervortreten, insofern einerseits die Zufälligkeiten der zehn einzelnen Reize sich ausgleichen, andererseits die bei Stromöffnung und Stromschluss entstehenden Fehler zehnmal kleiner werden im Verhältnis zur Gesamtzahl. Diese Methode wird an Stelle der Kettenreaktion dort unerlässlich, wo individuelle Unterschiede der Versuchspersonen aufgesucht werden sollen; in diesem Sinne ist sie denn auch gelegentlich schon von Kräpelin, Berger u. a. verwandt. Ich erwähne unsere Versuche in diesem Zusammenhang nur deshalb, um zu zeigen, wie solche Reihenreaktionen die Kettenreaktionen ergänzen

können und wie verschiedenartige Fragen sich mit ihrer Hilfe exakt beantworten lassen.

Wir begannen mit der Frage, wie lange dauert es, zwei einstellige Zahlen zu multiplizieren. Auf eine Tafel werden in horizontaler Linie zehn Ziffern in beliebiger Kombination (mit Ausnahme von 0 und 1) geschrieben und durch eine Decke für die Versuchsperson verhüllt. Sobald die Decke weggezogen wird, fängt die Uhr zu geben an und die Versuchsperson muss nun so schnell wie möglich die Zahlen Glied für Glied mit einer vorher vereinbarten Zahl multiplizieren und die Produkte aussprechen. Sobald er das letzte Produkt nennt, wird der Uhrstrom geöffnet. Soll z. B. mit 7 multipliziert werden, und die Reihe beginnt 496 . . . , so hat die Versuchsperson nur so schnell wie möglich 28, 63, 42 . . . zu sagen. Nachdem vielleicht dann zehn Versuche mit immer neuen Zahlkombinationen ausgeführt, werden die Produktzahlen, also 28, 63 . . . , selbst auf die Tafel geschrieben und die Zeit gemessen, wie lange das Aussprechen dieser Ziffern bei möglichst schnellem Ablesen dauert. Die durchschnittliche Differenz beider Zeiten gibt dann die Zeit an, die nötig ist, um den eigentlichen Multiplikationsakt auszuführen, und wird sie durch 10 dividiert, so erhalten wir die Multiplikationszeit für zwei einstellige Ziffern. Dass in dem ersten Fall einstellige, im zweiten Fall zweistellige Ziffern zu lesen sind, bedingt keinen Unterschied, da das Aussprechen der Zahlen wesentlich länger dauert als das Erkennen, und beide Prozesse sich so ineinanderschieben, dass die Zahl 63 schon erkannt ist, während 28 noch nicht zu Ende ausgesprochen ist.

Die an fünf Versuchspersonen gewonnenen Resultate sind folgende. Bei Herrn Dr. v. Jankovich z. B. dauerte das Multiplizieren mit 2 für die ganze Reihe durchschnittlich 4,723 Sek., das Ablesen der Produkte 3,441 Sek., der eigentliche Multiplikationsakt also 1,282, für eine Ziffer also durchschnittlich 0,128 Sek. Diese letztere Ziffer darf nun aber wieder keinen absoluten Wert in Anspruch nehmen, da wir nicht wissen, wie

weit sich die verschiedenen Teilprozesse des Erkennens, Assoziierens und Aussprechens zeitlich übereinanderschieben und decken. Ihr Wert liegt also nur in ihrer relativen Bedeutung.

Ich gebe in der folgenden Tabelle stets die gesamte Multiplikationszeit und dann die Zeit für das Ablesen der Produkte (alles auf 2 Decimalstellen abgekürzt). Die vorderste Vertikalreihe gibt die Ziffern, mit denen multipliziert wurde. Zwei Herren sprachen die Zahlen englisch aus.

	J.	M.	Sl.	Si.	D.
2	4,72	3,96	4,60	6,32	4,55
	3,44	3,35	3,71	3,75	3,39
3	5,64	4,11	6,04	7,01	5,54
	3,64	3,32	4,45	4,13	3,62
4	6,01	4,63	7,80	9,59	6,07
	3,95	3,37	5,08	4,45	3,91
5	5,88	3,68	6,48	5,80	5,20
	4,24	3,52	5,13	4,07	3,98
6	9,36	4,76	8,25	10,19	7,06
	5,54	3,60	5,82	4,46	4,07
7	8,30	4,47	8,13	10,09	5,47
	5,28	3,57	5,95	4,65	3,82
8	11,04	5,38	8,45	11,17	7,15
	5,85	3,72	5,47	4,45	4,09
9	10,83	4,69	8,32	11,08	5,53
	5,83	3,76	5,86	4,83	3,74

Mit dem obigen Vorbehalt, dass nur die relativen, nicht die absoluten Werte ins Auge gefasst werden, ergibt sich daraus als Zeit für den einzelnen Multiplikationsakt der einzelnen Ziffer folgende Tabelle, deren Zahlen tausendstel Sekunden ( $\sigma$ ) bedeuten:

	J.	M.	Sl.	Si.	D.
2	128	61	89	257	116
3	200	79	159	288	182
4	206	106	272	514	216
5	164	16	135	173	122

	J.	M.	Sl.	Si.	D.
6	382	116	243	573	299
7	302	90	218	544	165
8	519	166	298	672	306
9	500	93	246	625	179

Die individuellen Unterschiede der absoluten Zahlenwerte sind sehr beträchtlich; bezüglich der auffallend kleinen Werte für M. bemerke ich, dass derselbe lange Zeit Mathematik-lehrer gewesen ist. Es zeigt sich aber auf den ersten Blick, dass die individuellen Unterschiede sich auf die relativen Werte nicht beziehen, vielmehr der Gang der Zahlen für alle Personen auffallend ähnlich ist. Sämtliche 5 Versuchspersonen multiplizieren mit 5 wesentlich schneller als mit 3 und 4, mit 7 schneller als mit 6, mit 9 schneller als mit 8. Die Reihenfolge ist also 2, 5, 3, 4, 7, 6, 9, 8, nur bei zwei Personen geht die 5 noch der 2 voran. Die Multiplikation mit ungraden Ziffern ist also wesentlich leichter als mit graden, natürlich mit Ausnahme der 2. Wie dieses auffallende Resultat zu erklären, sei dahingestellt; die Thatsache, dass es so ausnahmslos übereinstimmend hervortritt, spricht deutlich für die Zweckmässigkeit der angewandten Methode.

Als zweites Beispiel solcher Reihenreaktionen nenne ich die Unterscheidung unregelmässiger Polygone. Es galt, für eine Reihe von zehn Polygonen so schnell wie möglich die Zahl der Ecken anzugeben. Auch hier wurde dann unter gleichen Bedingungen die Zeit für dieselbe Zahlenreihe gemessen, nachdem statt der Vielecke die Zahlen der Ecken selbst auf die Tafel geschrieben waren. Um zehn Polygone als Fünfecke und Sechsecke zu unterscheiden, gebrauchte Sch. 6,604 Sek.; um zehn entsprechende Ziffern abzulesen, gebrauchte er 2,930 Sek., obgleich in beiden Fällen dieselben Silben auszusprechen waren; die Differenz von 3,674 Sek. ist also für das Unterscheiden nötig; für je eine Figur gebraucht Sch. also 0,367 Sek., um zu erkennen, ob es ein unregelmässiges Fünfeck oder ein Sechseck ist.

In dieser Weise ergab, wieder in tausendstel Sekunden ausgedrückt, die Unterscheidung für die einzelne Figur folgende Werte. Die erste Vertikalreihe gibt die Zahlen der Ecken, zwischen denen unterschieden werden musste.

	A.	D.	Sch.	St.
3. 4	123	93	115	79
4. 5	275	164	179	211
5. 6	546	442	375	364
3. 6	63	78	54	58
3. 4. 5	187	154	137	182
4. 5. 6	402	286	259	297
3. 4. 5. 6	312	273	223	265

Die individuellen Unterschiede für das Figurenerkennen sind wesentlich kleiner als für das Multiplizieren, offenbar weil die Uebung für das erstere nicht so ungleich verteilt ist. Der relative Gang der Ziffern ist auch hier ein vollkommen übereinstimmender, und die Feinheit der Massmethode bewährt sich aufs beste.

Als letztes Beispiel endlich seien Reihenreaktionen mit Farbenbenennung gewählt. Zehn 6 cm grosse Quadrate lagen nebeneinander und mussten so schnell wie möglich benannt werden. Von Interesse sind dabei namentlich diejenigen Versuche, bei denen Reihen mit zehn gesättigten Farben abwechselten mit Reihen von zehn ungesättigten Farben. Auch bei letzteren war ein Zweifel an der Färbung nicht möglich; subjektiv erschien die Benennung ebenso schnell zu erfolgen wie bei gesättigten Farben. Das Ergebnis war objektiv:

	Gesättigt	Ungesättigt
D.	5,015	6,263
J.	5,133	6,543
H.	6,070	7,548
M.	6,126	8,104
Si.	6,390	8,112
Sl.	6,059	7,214
St.	6,158	7,416

Jede Zahl gibt den Durchschnitt aus 15 Versuchen.  
 Besondere Aufmerksamkeit widmeten wir schliesslich

solchen Reihenreaktionen, bei denen, an Bilder anknüpfend, eine bestimmte Zahl von Associationen oder eine bestimmte Zahl von Urteilen möglichst schnell produziert werden musste. Die betreffenden Experimente vertieften sich aber zu einer selbständigen Arbeit über den Rhythmus des Associierens und Urteilens, die unter der besonderen Leitung von Frl. Dr. von Schirnhofer durchgeführt wurde und von derselben ausführlich an anderem Ort mitgeteilt werden wird. Die betreffende Untersuchung übersteigt die Grenze einer methodologischen Studie, als welche die vorliegende Arbeit betrachtet sein will; diese hatte lediglich die Aufgabe, an Beispielen aus den verschiedensten Gebieten zu zeigen, wie die mannigfachsten psychometrischen Probleme durch die Methode der Kettenreaktion mit Vorteil untersucht werden können, wie diese Methode in einigen Fällen durch Reihenreaktionen ergänzt werden kann und wie die verschiedensten psychologischen Fragen, z. B. die nach der Aehnlichkeit der Empfindungen, nach der Verschmelzung der Empfindungen, nach dem Unterschied der Empfindungen, nach der Beziehung zwischen Empfindung und Bewegung und viele andere sich mühelos in psychometrische Probleme transformieren lassen.

---