

# Apparategestützte experimentelle Psychologie an Wundts Institut

*H. Maximilian Wontorra*

Im Jahr 2009 feiert die Universität Leipzig ihr sechshundertjähriges Bestehen, und die Leipziger Psychologie schaut, nachdem Wilhelm Wundt (1832-1920) im Jahr 1879 bekanntlich hier das weltweit erste Institut für experimentelle Psychologie gegründet hatte, auf eine immerhin hundertdreißigjährige Tradition zurück – für einen Psychologen also Grund genug, in diesem Jubiläumsjahr einen kleinen Eindruck davon zu vermitteln, wie man zu Ende des 19., Anfang des 20. Jahrhunderts an Wundts Institut experimentierte. Da in einem Sammelband nie unbeschränkt Raum zur Verfügung steht, beschränkt sich diese Darstellung auf die zwei wichtigsten Forschungslinien an Wundts Institut, nämlich die Chronometrie mentaler Operationen und die Quantifizierung von Bewusstseinsphänomenen.

## Chronometrie mentaler Operationen

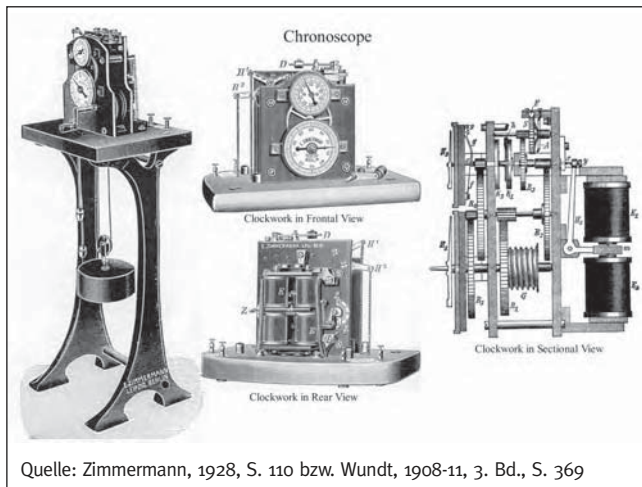
Mit den zeitmessenden Untersuchungen war das erste große kohärente Forschungsprogramm der experimentellen Psychologie konstituiert. Dieses Programm beschäftigte sich mit der Bestimmung des Zeitaufwands elementarer geistiger Prozesse wie beispielsweise der Suche nach einem spezifischen Zielreiz in einer Menge von Reizen oder der Wahl einer reizadäquaten Reaktion, und es besteht bis heute, wenn auch mit modifizierter Zielsetzung, in den Reaktionszeituntersuchungen weiter. Diese chronometrischen Untersuchungen waren zum einen durch Probleme bei astronomischen Zeitmessungen<sup>1</sup>, zum anderen durch die lange Zeit für unmöglich gehaltene Bestimmung der unerwartet niedrigen Leitungsgeschwindigkeit in den Nervenbahnen durch Hermann von Helmholtz (1821-1894) Mitte des 19. Jahrhunderts motiviert<sup>2</sup> (Helmholtz, 1850a, b, 1852). Während in der Folgezeit die Astronomie mit ihrem Bedarf an immer genaueren Messungen alles daran setzte, den Menschen als »Störquelle« so weit wie möglich durch technische Vorrichtungen zu substituieren, richteten die Physiologie und mit nur geringer zeitlicher Verzögerung die entstehende experimentelle Psychologie verstärkt ihr Augenmerk auf das Zeitverhalten mentaler Prozesse.

Eine wesentliche technische Voraussetzung für diese frühen Reaktionszeitmessungen war ein Zeitmesser mit hoher Auflösung möglichst bis auf die Millisekunde. Dieser stand mit Charles Wheatstones (1802-1875) ursprünglich für ballistische Zeitmessungen konzipierten Chronoskop zur Verfügung (s. Abb. 1). Chronoskope waren von einem schweren Gewicht getriebene Zeitmesser, die durch

Stromschluss angestoßen und durch die Öffnung des Stromes wieder angehalten werden konnten. Der schwäbische Erfinder und Uhrmacher Matthias Hipp (1813-1893) verbesserte in den 1860ern dieses Instrument entscheidend dadurch, dass er nicht – wie zuvor Wheatstone – das gesamte Uhrwerk anstieß und wieder anhielt, sondern dass er an das ständig laufende Uhrwerk das Zeigerwerk zum Anfang der zu messenden Zeitstrecke elektromagnetisch an- und zum Ende wieder abkoppelte. Das Chronoskop hatte zwei jeweils in 100 Teile geteilte Zifferblätter (s. Abb. 1, Frontansicht). Der obere Zeiger machte eine volle Umdrehung in einer Zehntelsekun-

- 
- 1 Diese astronomischen Probleme hängen stark mit dem bis heute interessanten Paradigma der geteilten Aufmerksamkeit zusammen und sind zurückverfolgbar bis zum Februar des Jahres 1796, als der 5. Königliche Astronom an der Sternwarte zu Greenwich, Sir Nevil Maskelyne (1732-1811), seinen 24-jährigen Assistenten David Kinnebrook (1772-1802) nach nur knapp zwei Jahren Dienstzeit entlassen hatte, weil Kinnebrook bei der zeitlichen Durchgangsbestimmung von Himmelsobjekten zuletzt mit immer größeren Diskrepanzen bis schließlich 0,8 Sekunden von Maskelynes Werten abgewichen war, was sich Maskelyne, der wie seine Zeitgenossen stillschweigend von einer instantanten Reizverarbeitung ausgegangen war, nur dadurch zu erklären wusste, dass Kinnebrook nicht die nötige Sorgfalt für seine Bestimmungen aufbrachte. Bei diesen Durchgangsbestimmungen nach der sog. Auge-Ohr-Methode hatte der Beobachter simultan auf die Sekundensignale einer Uhr zu achten und das Himmelsobjekt bei seinem Durchgang durch den Meridianfaden des Teleskopokulars im Blick zu behalten, um sowohl die Position des beobachteten Objekts zum letzten Schlag vor dem Durchgang als auch dessen Position zum ersten Schlag nach dem Durchgang zu schätzen und aus diesen Informationen den Durchgangszeitpunkt zu bestimmen. Erst, nachdem der berühmte Mathematiker und Astronom Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) nach vergleichbarer Methode um 1820 an der Königsberger Sternwarte derartige Durchgangsbestimmungen angestellt und Zeitunterschiede zwischen den einzelnen, Kinnebrook an Erfahrung teils weit überlegenen Beobachtern von mehr als einer Sekunde aufgewiesen hatte, war man für das Zeitverhalten des »Systems Mensch« sensibilisiert.
  - 2 Beim Frosch bestimmte Helmholtz die Geschwindigkeit mit ca. 30 m/s derart, dass er einen Muskel mit zugehöriger Efferenz als Lasthebelarm so in eine Schreibvorrichtung einspannte, dass er unter elektrischer Stimulation des Nervis Arbeitskurven des Muskels schreiben konnte. Aus der Weglänge des Signals im Nerven und aus den Latenzen der Muskelkontraktion berechnete er die Leitungsgeschwindigkeit. Beim Menschen ermittelte er Geschwindigkeiten von 60 bis 80 m/s nach vergleichbarer Methode, allerdings durch dermale elektrische Stimulation.

de, während der Zeiger des unteren Blatts mit einer Übersetzung von 1:100 von der Achse des oberen Zeigers mitgenommen wurde und somit eine volle Umdrehung in 10 Sekunden ausführte. Ein Teilstrich der oberen Skala entsprach also einer Millisekunde, und ein Teilstrich der unteren zeigte eine Zehntelsekunde an. Als Hemmung diente eine mit 1000 Hz oszillierende Feder (s. Abb. 1, Schnittansicht, F), was dem Uhrwerk 1000 Schritte pro Sekunde und somit die Resolution von 1 Millisekunde ermöglichte. Die An- bzw. Abkoppelung des Zeigerwerks wurde über eine Hebelvorrichtung (H<sub>3</sub>) bewerkstelligt, die durch Elektromagnete an der Rückseite des Instruments (E<sub>1</sub> und E<sub>2</sub>) in Bewegung gesetzt wurde und über eine Kronradkupplung (K<sub>1</sub> und K<sub>2</sub>) das Zeigerwerk an- bzw. abkoppelte.



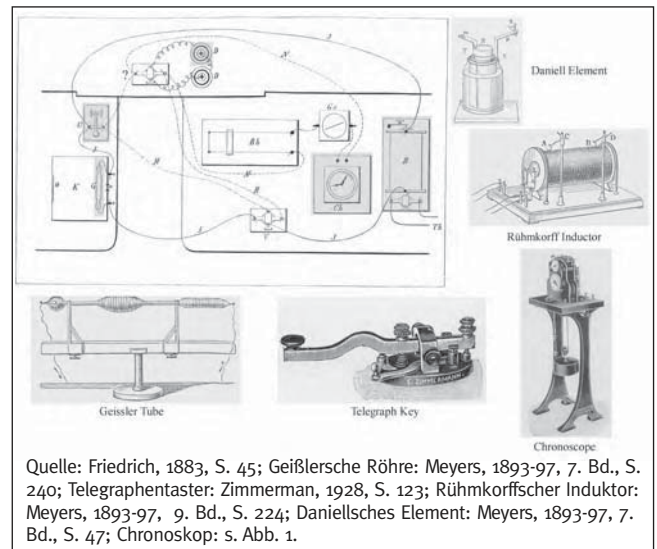
Quelle: Zimmermann, 1928, S. 110 bzw. Wundt, 1908-11, 3. Bd., S. 369

Abb. 1: Das Chronoskop nach Hipp. Für eine nähere Erläuterung s. Text.

Der Astronom Adolph Hirsch (1830-1901) setzte Mitte der 1860er Jahre im schweizerischen Neuchâtel das Chronoskop erstmals für nicht-technische Zeitmessungen ein, indem er mit zwei Instrumenten seines Freundes Hipp die Reaktionszeiten bei auditiver, visueller und taktile Stimulation bestimmte und hierbei Antwortzeiten von ca. 200 Millisekunden ermittelte (Hirsch, 1865). Ungefähr zeitgleich mit Hirsch, der diese rein physiologischen Reaktionszeiten hauptsächlich für die Fehlerbereinigung bei astronomischen Beobachtungen brauchte, experimentierten im holländischen Utrecht der Physiologe Frans Cornelis Donders (1818-1889) und sein Doktorand Johan Jacob de Jaager nach der zeitschreibenden Methode mit dem sog. Noëmatachographen<sup>3</sup>, wörtlich: Gedankengeschwindigkeitsschreiber (de Jaager, 1865; Donders, 1868). Donders' und de Jaagers Untersuchungen sind deshalb erwähnenswert, weil sie erstmals den Zeitanteil einzelner mentaler Operationen an der Gesamtreaktionszeit zu bestimmen versuchten, indem sie zunächst auf einen beliebigen auditiven Reiz so schnell wie möglich reagieren ließen, anschließend nur auf einen Reiz aus einer Menge eine Reaktion verlangten, ansonsten die Reaktion unterdrücken ließen und schließlich auf jeden Reiz (eine der vorgeschprochenen Silben ka, ke, ki, ko, ku) den Probanden mit der Entsprechung reagieren ließen. Mit diesen Versuchen bestätigten Donders und de Jaager

Hirschs Ergebnisse hinsichtlich der rein physiologischen Reaktionszeit, und sie ermittelten zudem für die Zeit der Reizerkennung und der Wahl einer reizadäquaten Reaktion eine Zeit von jeweils ca. 40 Millisekunden, indem sie die mittleren Reaktionszeiten der verschiedenen Versuchsaufgaben verglichen.

Mehr oder minder unmittelbar nach Wundts Institutsgründung begann der junge Mathematiker Max Friedrich (1856-1887) mit dem Chronoskop zur Bestimmung von Reaktionszeiten bei visueller Stimulation zu experimentieren, und seine aus diesen Experimenten hervorgegangene Doktorarbeit gilt allgemein als die erste experimentellpsychologische Dissertation überhaupt, weshalb Friedrichs Aufbau (s. Abb. 2) etwas näher erläutert werden soll



Quelle: Friedrich, 1883, S. 45; Geißlersche Röhre: Meyers, 1893-97, 7. Bd., S. 240; Telegraphentaster: Zimmermann, 1928, S. 123; Rühmkorffscher Induktor: Meyers, 1893-97, 9. Bd., S. 224; Daniellsches Element: Meyers, 1893-97, 7. Bd., S. 47; Chronoskop: s. Abb. 1.

Abb. 2: Max Friedrichs Versuchsaufbau als Grundrissplan; zudem sind einige wichtige Komponenten des Aufbaus in 3D-Ansicht dargestellt. Für eine nähere Erläuterung s. Text.

(Friedrich, 1883). Die visuellen Reize wurden vom Experimentator in einem abgedunkelten Kasten K an der Stelle O plziert, und der Proband hatte mit einem Auge an der Stelle o in diesen (noch dunklen) Kasten zu blicken. Zum Zeitpunkt der Darbietung wurde der Reiz durch eine sog. Geißler-Röhre G (ein Vorläufer unserer heutigen Gasentladungsröhren) beleuchtet. Als Hochspannungsquelle für die Geißler-Röhre diente ein sog. Rühmkorffscher Induktor R, der ähnlich unseren heutigen Transformatoren eine niedrige Eingangsspannung von einer sog. Ther-

<sup>3</sup> Der Noëmatachograph bestand im wesentlichen aus einem grammophonartigen Schalltrichter, der an seinem unteren Ende mit einer Membran bespannt war, auf der eine Schreibnadel die ankommenden fokussierten Schallwellen auf einen Papierstreifen schrieb, der eine rotierende Trommel umspannte. Vor diesem Trichter saßen Versuchsleiter und Versuchsperson. Der Versuchsleiter sprach den Stimulus, und die Versuchsperson antwortete entsprechend der Versuchsaufgabe. Die zwischen Reiz und Reaktion verstrichene Zeit konnte anschließend in Form von Schwingungszyklen einer geeichten Stimmgabel, die ebenfalls auf den Papierstreifen schrieb, vom Datenträger abgelesen werden.

mosäule Th hochspannte. Neben dem Hochspannungs- oder Induktionskreis hatte der Aufbau einen zweiten Niederspannungskreis N, dessen Quelle aus zwei sog. Daniellschen Elementen D – Akkumulatoren, wie wir sie prinzipiell bis heute als Stromquellen beispielsweise in unseren Autos haben – bestand und den Strom für das Chronoskop Ch lieferte. Zudem war ein regelbarer Widerstand, ein damals sog. Rheochord Rh, in den Chronoskop-Kreis eingebaut, über den die Stromstärke dieses Kreises für die Kalibrierung des Chronoskops angepasst werden konnte. Die Stromstärke in diesem Kreis konnte wiederum auf einem sog. Galvanoskop Gs (das wir heute Amperemeter nennen) abgelesen werden.

Ein typischer Versuch lief so ab, dass der Proband vor K entsprechend in Position gebracht war und den Telegraphentaster U niedergedrückt zu halten hatte. Jetzt betätigte der Experimentator den Schalter V und schloss somit den Hochspannungskreis, was die Röhre zündete und über das mit „?“ gekennzeichnete relaisartige Element über die Leitung H den Chronoskopstrom schloss und somit simultan mit der Reizexposition den Zeitmesser anstieß. Als vereinbarte Reaktion hatte die Versuchsperson den Taster U, der mit V in Serie geschaltet war, zu lösen, was sowohl den Hochspannungskreis als auch den Chronoskopkreis unterbrach, so dass die Röhre erlosch und das Chronoskop mit der zwischen Reizexposition und Probandenreaktion verstrichenen Zeit anhielt.

Mit diesem Aufbau bestätigte Friedrich erneut Hirschs physiologische Reaktionszeiten zu ungefähr 200 Millisekunden. Nach der schon beschriebenen Subtraktionsmethode von Donders und de Jaeger ermittelte Friedrich die sowohl intra- als auch interindividuell hoch variierenden Erkennungszeiten für Farbreize aus einer vierelementigen Menge in einem Bereich von 100 bis 300 Millisekunden. Zudem fand er Erkennungszeiten für ein- bis sechsstelligen Zahlen in einem Bereich von 300 Millisekunden für die einstelligen bis zu 1,6 Sekunden für die sechsstelligen Zahlen, wobei auch diese Werte wieder hoch innerhalb der wiederholten Messungen an einem Probanden als auch zwischen den Probanden variierten.

Nachdem mit Friedrichs Dissertation die zeitmessenden Untersuchungen an Wundts Institut angekommen waren, schienen die Einsatzmöglichkeiten der Subtraktionsmethode für die Zeitanteilsbestimmung einzelner mentaler Operationen an der Gesamtreaktionszeit auf absehbare Zeit schier unerschöpflich. Martin Friedrich Gottlob Trautsholdt (1883) untersuchte beispielsweise den Zeitaufwand für Assoziationsprozesse, Ernst Tischer (1883) maß die Unterscheidungszeiten für unabhängig variierte Schallstärken, Emil Kraepelin (1883a, b) wollte wissen, wie psychotrope Substanzen wie zum Beispiel Äthylalkohol sich auf die Reaktionszeit auswirken. Julius Merkel (1885) promovierte bei Wundt ebenfalls mit einer Reaktionszeituntersuchung unter visueller Stimulation, wobei er im wesentlichen Friedrichs Aufbau verwendete. Wieder war die Expositionseinheit ein abgedunkelter Kasten, in dem unter instantaner Beleuchtung der Reiz dargeboten wurde. Mit diesem Aufbau ermittelte Merkel unter ande-

rem die Wahlzeit für eine adäquate Reaktion auf einen Reiz aus einer Reizmenge der Mächtigkeit zwei bis zehn, indem er auf die zwei bis zehn unterschiedlichen Reize mit zwei bis zehn Fingern über das sog. »psychophysische Klavier«, einen multiplen Telegraphentaster, reagieren ließ. Hierbei fand er einen kurvilinear-konvexen Zusammenhang zwischen der Anzahl der zur Disposition stehenden Reize und der Wahlzeit für die entsprechende Reaktion, was insofern bemerkenswert ist, als Merkel hiermit, wenigstens qualitativ, Hicks informationstheoretisches Gesetz<sup>4</sup> um ca. 70 Jahre antizipierte.

So vielversprechend der chronometrische Ansatz mit der Subtraktionsmethode in den ersten Jahren an Wundts Institut auch war, so sehr geriet dieses Paradigma nach einigen Jahren des Experimentierens vornehmlich durch Gustav Oskar Bergers (1886) und James McKeen Cattells (1886a-c, 1886-87, 1888) Untersuchungen dadurch in Verdacht, dass man nun für Unterscheidungsoperationen Werte nahe Null, in einigen Fälle sogar negative (!) Werte bestimmt hatte. Nach diesen beunruhigenden Ergebnissen vollzog sich nach und nach eine theoretische Neuorientierung, und Wundts ursprünglich nachgerade dogmatisch wiederholte Position der strikt seriellen Informationsverarbeitung wurde zugunsten einer Position aufgegeben, die sich einzelne mentale Operationen als zeitlich parallel ablaufend vorstellen konnte (Lange, L., 1888).

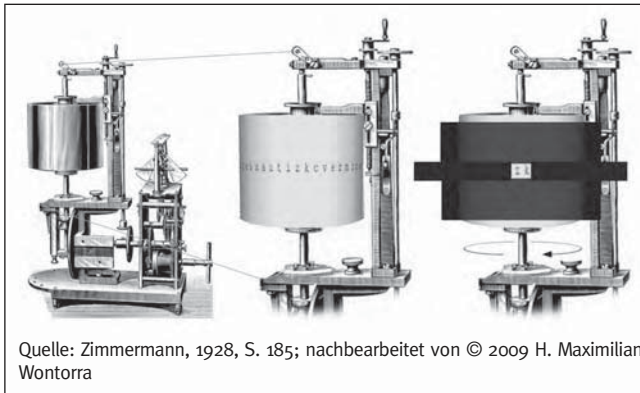
## Quantifizierung von Bewusstseinsphänomenen

Bewusstsein war in Wundts Psychologie der Gesamthalt unserer unmittelbaren Erfahrung. Die einzelnen Bewusstseinsinhalte waren hiernach alle zu einem Zeitpunkt gegenwärtigen Vorstellungen. Dieses Bewusstsein gliederte sich in ein inneres Blickfeld und einen inneren Blickpunkt, wobei der Blickpunkt auch als apperzeptiver Fokus bezeichnet wurde. Unter Apperzeption verstand man den Eintritt eines einzelnen Bewusstseinsinhaltes aus dem inneren Blickfeld in den Blickpunkt. Das, was das 19. Jahrhundert unter Rückgriff auf Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) Apperzeption nannte, kann man heute wohl am ehesten mit Aufmerksamkeit übersetzen, und der apperzeptive Fokus entspricht nach heutigen Begriffen am ehesten der Kapazität des Kurzzeitgedächtnisspeichers.

Eine wichtige quantitative Frage zum Bewusstsein betraf die Anzahl von Vorstellungen, die simultan in diesem apperzeptiven Fokus gehalten werden können. Die naheliegende Methode war hierbei, eine Menge von Einzelreizen hinsichtlich ihrer Mächtigkeit so lange zu vergrößern und kurzzeitig zu exponieren, bis der Proband mit der Reproduktion der Einzelreize überfordert war. Für die visuelle

<sup>4</sup> Nach William Edmund Hicks (1912-1974) Gesetz ist der zeitliche Aufwand für die Suche nach einem Target in einer Reizmenge gleich dem Logarithmus dualis der Mächtigkeit dieser Reizmenge, was eine Interpretation dahingehend nahelegt, dass wir den Suchraum nicht seriell »abscannen«, sondern dass wir – graphentheoretisch gesprochen – einen binären Suchbaum durchlaufen (Hick, 1952).

Modalität benutzte man hierzu das sog. Tachistoskop. Tachistoskope existierten in verschiedensten Ausführungen, aber allen diesen Geräten war letztlich gemeinsam, dass ein einzelner Reiz oder ein Reizkomplex für kurze Zeit in einem Fenster einer vor dem Reizmaterial bewegten Blende sichtbar wurde.

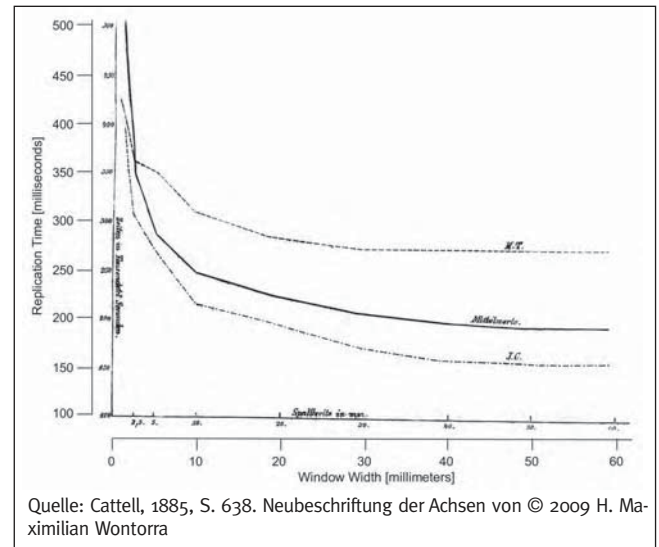


**Abb. 3a:** Cattells (1885) Versuchsaufbau zur Bestimmung der für die Erkennung und Benennung (kurz: die Replikation) von Buchstaben benötigte Zeit. Für eine nähere Erläuterung s. Text.

1885 beschäftigte sich der bereits erwähnte James McKeen Cattell (1860-1944) aus Easton, Pennsylvania, USA, im Rahmen seiner Dissertation an Wundts Institut eigentlich mit Zeitbestimmungen der eben beschriebenen Art, machte dabei aber mit einem an Einfachheit kaum zu überbietenden Aufbau mehr oder minder beiläufig eine wichtige Entdeckung zu den Kapazitätsgrenzen des Kurzzeitgedächtnisses (Cattell, 1885). Hierbei »zweckentfremdete« er ein Kymographion<sup>5</sup> (s. Abb. 3a, linke Teilabbildung), wie es die experimentelle Physiologie ab der Mitte des 19. bis ins 20. Jahrhundert für die Aufzeichnung physiologischer Parameter wie die Kenngrößen der Respiration oder des Blutkreislaufs benutzte. Cattell brachte auf der Kymographion-Trommel einen Papierstreifen mit einer Zufallsserie von Buchstaben auf und positionierte schließlich vor der Trommel eine Blende mit einem Fenster variabler Breite. Anschließend setzte er die Trommel in Rotation und erhöhte bei gegebener Fensterbreite die Rotationsgeschwindigkeit so lange, bis die Versuchsperson mit der Reproduktion der durch ihr Gesichtsfeld ziehenden Buchstabenserie überfordert war. Aus dieser Grenzgeschwindigkeit berechnete Cattell die Reproduktionszeit eines Buchstabens als Funktion der Fensterbreite – die Buchstaben waren so groß und hatten einen derartigen Abstand, dass im Fenster der Breite  $x$  cm genau  $x$  Buchstaben gleichzeitig sichtbar waren.

Diese Plots in Abb. 3b zeigen die Reproduktionszeit eines einzelnen Buchstabens als Funktion der Spaltbreite beispielhaft für zwei der insgesamt acht Probanden (durchbrochene Linien) mit dem entsprechenden Verlauf der Mittelwerte (durchgezogene Linie). Diese (mittlere) Reproduktionszeit nahm trivialerweise mit der Fensterbreite ab. Alles andere als trivial ist aber der Sachverhalt, dass ab einer Fensterbreite von vier oder fünf Zentimetern (also vier oder fünf gleichzeitig sichtbaren

Buchstaben) die Graphen praktisch in eine Parallele zur Abszisse übergingen und somit kein Zeitgewinn mehr zu verzeichnen war, was Cattell dahingehend interpretierte, dass mit vier oder fünf Elementen die Puffergröße des Kurzzeitspeichers erreicht sei. Dies ist insofern ein bemerkenswertes Ergebnis, als Cattell hiermit die



**Abb. 3b:** Graphen der Replikationszeit eines einzelnen Buchstabens als Funktion der Anzahl simultan sichtbarer Buchstaben. Für eine nähere Erläuterung s. Text.

Ergebnisse höchst aktueller kognitionspsychologischer Arbeiten nahezu perfekt vorwegnahm (cf. Cowan, 2001, 2005).

In Wundts Psychologie war die Frage nach der Anzahl momentaner Einzelvorstellungen aber nicht ein reines Alles-oder-nichts-Problem, sondern jede zu einem bestimmten Zeitpunkt präsente Vorstellung hatte auch noch einen Grad der Bewusstheit, so dass man sich Wundts Bewusstsein eher als ein dreidimensionales Bewusstheitsrelief über den Einzelvorstellungen als ein (zweidimensionales) Mengenband vorzustellen hat. Konsequenterweise entwickelte Wilhelm Wirth (1876-1952), seit dem Jahr 1908 der Co-Direktor des Leipziger Instituts, in den ersten Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts einen Apparat namens Spiegeltachistoskop, der eine Kurzzeitmodifikation eines permanenten Reizkomplexes in einzelnen Elementen ermöglichte.

<sup>5</sup> Kymographien waren im wesentlichen von einem Uhrwerk in Rotation versetzte Trommeln. Diese Trommeln umspannte man mit einem Papierstreifen, auf dem man dann mit entsprechenden Schreibspitzen die in Frage stehenden Größen als Zeitreihen aufzeichnete.

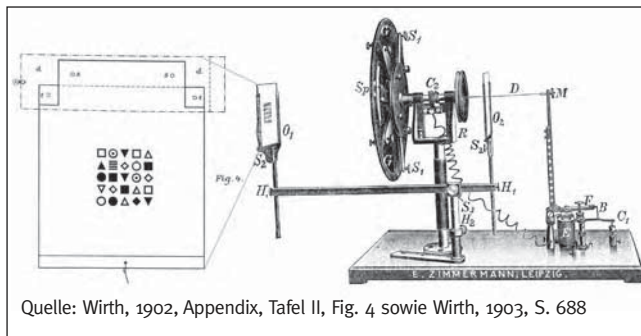


Abb. 4: Wirths Spiegeltachistoskop (rechts) mit einer Vergrößerung des Reizkomplexes  $O_1$  (links). Für eine nähere Erläuterung s. Text.

Abb. 4 zeigt Wirths Spiegeltachistoskop (rechts) mit einer Vergrößerung des permanenten Reizkomplexes  $O_1$  (links). Durch eine mehr oder minder große Modifikation einzelner Elemente des Komplexes wie beispielsweise der Weglassung eines Kreismittelpunktes und der Entdeckung dieser Veränderungen durch den Probanden wollte Wirth auf die Bewusstheit des jeweiligen Elements schließen.

Die Versuchsperson saß an diesem Apparat links vom rotierenden Spiegel  $Sp$  und sah darin permanent das Bild des Urkomplexes  $O_1$ . Der Experimentator auf der rechten Seite konnte über den Seilzug  $D$  kurzzeitig ein Fenster in der rotierenden Spiegelscheibe öffnen, so dass dem Probanden ein kurzer Blick auf die Modifikation  $O_2$  möglich war, die sich natürlich in seiner direkten Visierlinie befinden musste, damit Spiegel- und direktes Bild bis auf die experimentell variierte Veränderung kongruent blieben.

Sowohl die Anzahl augenblicklich präsenter Bewusstseinsinhalte als auch der Grad der Bewusstheit dieser Einzelinhalte ist natürlich immer nur eine Momentaufnahme. Spätestens seit der epochalen Arbeit von Hermann Ebbinghaus (1850-1909) zu den Gedächtnisinhalten und ihren »Zerfallsprozessen« (Ebbinghaus, 1885), musste man sich auch für die zeitliche Verlaufcharakteristik dieser Inhalte interessieren<sup>6</sup>. Um Gedächtnisprozesse methodisch sauber untersuchen zu können, brauchte man für Lern- bzw. Retrieval-Sitzungen Apparate, die eine standardisierte Reizdarbietung erlaubten.

Abb. 5 zeigt einen einfachen Aufbau für die Darbietung von Einzelreizserien bzw. Reizpaarserien in Paarassoziationslernparadigmen. Dieser Aufbau besteht aus einem Stromkreis mit einem Metronom mit Unterbrechungseinrichtung und einem sog. Mnemometer nach Pál Ranschburg (1870-1945), einem Pionier der ungarischen Psychologie. Das schwingende Metronom schloss bei Maximalausschlag immer kurzfristig einen Stromkreis, und dieser Impuls bewirkte den Reizwechsel im Fenster des Mnemometers. Die drei Screenshots gestatten (von links nach rechts) nach der Entfernung des Deckels einen Blick auf die Reizkarte und nach Entfernung dieser Karte auf den Transportmechanismus. Der kurze Stromimpuls löste die Arretierung der unter Federspannung stehenden Achse, was ihr einen Schritt und somit den Reizwechsel im Deckelfenster erlaubte.

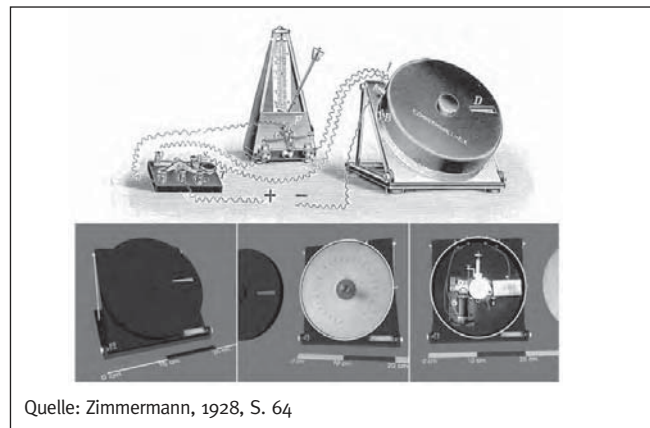


Abb. 5 a, b: Ein einfacher Versuchsaufbau für die standardisierte Präsentation von Reizen in Gedächtnisuntersuchungen (a); drei Screenshots eines virtualisierten Ranschburgschen Mnemometers, wie es häufig in Gedächtnisuntersuchungen benutzt wurde (b). Für eine nähere Erläuterung s. Text.

Nachdem mit Ernst Heinrich Weber (1795-1878) und Gustav Theodor Fechner (1801-1887) in Leipzig schon vor Wundt zwei eminent wichtige Protagonisten einer naturwissenschaftlich orientierten Psychologie gewirkt hatten, war es nur naheliegend, dass man sich an Wundts Institut auch mit den von Fechner (1860) in seiner Psychophysik gestellten Fragen weiterbeschäftigte. Besonders von den Arbeiten Ernst Machs (1838-1916) und Karl von Vierordts (1818-1884) angeregt (cf. Vierordt, 1868), konzentrierte man sich an Wundts Institut vornehmlich auf die Psychophysik der Zeitwahrnehmung, die man in der Begrifflichkeit des späten 19. Jahrhunderts »Zeitsinn« nannte. Hierbei experimentierte man zunächst mit handelsüblichen Metronomen, die ein Standard- und ein Vergleichsintervall tickten, wobei vom Probanden zu einem unabhängig variierten Standard- ein wahrnehmungsmäßig gleich langes Vergleichsintervall zu finden war. Hauptsächlich um nicht auf die mittels Metronom nur als relativ kurz realisierbaren Zeitintervalle beschränkt zu sein, entwickelte man den sog. Zeitsinnapparat, mit dem man nahezu beliebig lange, von Hammerschlägen begrenzte Zeitintervalle realisieren konnte. Das experimentelle Prozedere blieb das gleiche: Zu jedem Standardintervall wurde ein Vergleichsintervall so lange variiert, bis der Proband diese beiden Zeitstrecken als gleich lang empfand. Nach diesen Versuchen trug man auf der Abszisse die Längen des Standardintervalls auf, denen als Ordinatenwerte die jeweiligen Abweichungen der wahrgenommenen von der tatsächlichen Länge, die sog. Schätzungsfehler, zugeordnet wurden, womit man eine psychophysische Funktion der Zeitwahrnehmung hatte (cf. Kollert, 1883; Glass, 1888; Meumann, 1893, 1894). Bei allen Unterschieden der jeweiligen Funktionsgraphen

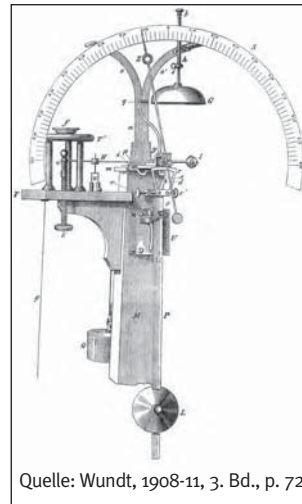
<sup>6</sup> Hier ist zu erwähnen, dass der amerikanische Physiker Francis E. Nipher (1847-1926) schon knapp zehn Jahre vor Ebbinghaus mit Zahlenmaterial zum Gedächtnis experimentiert hatte (Nipher, 1876, 1878), wie Lander (2003) ausführt. Ebbinghaus wusste aber offenbar von Niphers Untersuchungen nichts, was diese beiden Wissenschaftler zu kongenialen Pionieren der Gedächtnisforschung macht.

war allen Zeitsinn-Funktionen gemeinsam, dass kurze Zeitstrecken subjektiv unter- und lange Strecken überschätzt wurden mit einem Indifferenzpunkt bei ca. drei Sekunden, was insofern wiederum einen Aktualbezug hat, als diese drei Sekunden ziemlich genau dem entsprechen, was wir nach relativ jungen Untersuchungen (cf. Pöppel, 2004) als die Dauer des empfundenen Jetzt bezeichnen.

Hauptsächlich durch Untersuchungen des Wiener Ohrenarztes Viktor Urbantschitsch (1847-1921) auf dem Gebiet der auditiven Wahrnehmung angeregt, begann man sich Mitte der 1880er Jahre am Leipziger Institut für ein Phänomen zu interessieren, das bereits von David Hume (1711-1776) in seinem *Treatise of human nature* (1740) erwähnt wurde. Wundt und Kollegen nannten dieses Phänomen Apperzeptionswellen, und es bestand darin, dass ein Reiz (niedriger Intensität), auf den man seine gesamte Aufmerksamkeit richtet, intermittierend in seinem Reizhintergrund untergeht, um dann daraus wieder bis zu maximaler perzeptiver Klarheit aufzutauchen. In Leipzig untersuchte man diese Periodizität für die auditive, visuelle und taktile Sinnesmodalität (Lange, N., 1888; Pace, 1893). Als visuelles Reizmaterial benutzte man u. a. Kippfiguren (wie man sie beispielsweise in Form des Necker-Würfels oder der Rubinschen Vase kennt), oder man stimulierte mit Massons Scheibe<sup>7</sup>. Externe Untersuchungen von beispielsweise Wundts vormaligem Doktoranden und späteren Harvard-Professor Hugo Münsterberg (1863-1916) oder Alfred Lehmann (1858-1921), dem dänischen Pionier auf dem Gebiet der physiologischen Emotionspsychologie, erklärten diese Wahrnehmungsschwankungen ausschließlich peripher mit einer temporären Erschöpfung der adaptiven Teile der Sinnesorgane, während man in Leipzig eine zentral-attentive Erklärung präferierte und für diese Position unter anderem in Edward A. Paces (1861-1938) Untersuchung, der diese Schwankungen unter Stimulation mit Massons Scheibe sogar am atropinisierten Auge aufweisen konnte, hinreichende Evidenz gefunden zu haben glaubte.

Untersuchungen zu den Charakteristiken der Verarbeitung simultaner disparater Reize, der sog. Komplikationen, waren letztlich wie die Reaktionszeituntersuchungen von den eingangs erwähnten astronomischen Problemen inspiriert. Hierfür interessierte sich Wundt (1862) bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt, wie ein kleiner Artikel in dem Familienmagazin *Gartenlaube* belegt. In diesem Artikel schlug er eine Methode für die Bestimmung des »schnellstmöglichen Gedankens« mittels einer nur leicht modifizierten Pendule vor. Hierfür montierte er zwei Klöppel an die Pendelstange, die bei Maximalauschlag nach links oder rechts jeweils eines von zwei Glöckchen anstießen. Durch Vergleich der de-facto-Position des Sekundenzeigers der Uhr zum Zeitpunkt des Glockentons mit der wahrgenommenen Position fand Wundt für sich und nur für sich eine Diskrepanz von 0,8 Sekunden, was er als seinen minimalen Zeitaufwand für den Vollzug einer Aufmerksamkeitsverschiebung vom visuellen Hauptindruck (der Zeigerposition) hin zum distrahierenden auditiven Eindruck (dem Glockenschlag) und zurück interpretierte. Eine Verbesserung dieses ersten

provisorischen Instruments ist in Abb. 6 mit Wundts Komplikationspendel zu sehen. Dem Prinzip nach bestand dieser Apparat wiederum aus einem Zeiger Z, der von einem Pendel P in direkter Übersetzung vor einer halbkreisförmigen Skala bewegt wurde. Durch Verschiebung des Gewichts L entlang der Pendelstange konnte die Periode des Pendels im Bereich von 0,5 bis 1,0 Hertz angepasst werden. Auf jedem Punkt der Zeigerbahn konnte ein auditiver Distraktor durch den Schlag des Klöppels q gegen die Glocke G ausgelöst werden. Durch eine nur kleine Modifikation konnte zudem ein taktile Distraktor in Form eines leichten elektrischen Schlags appliziert werden.



Quelle: Wundt, 1908-11, 3. Bd., p. 72

**Abb. 6: Wundts Komplikationspendel. Für eine nähere Erläuterung s. Text.**

Die erste Person, die am Leipziger Institut mit Wundts Konstruktion experimentierte, war ein Arzt aus St. Petersburg namens Woldemar von Tchisch (1885). Wie Wundt vor mehr als zwanzig Jahren experimentierte Tchisch ausschließlich mit sich selbst als Versuchsperson, wobei er riesige Datensätze dadurch produzierte, dass er unabhängig verschiedene Distraktoren(-Kombinationen) mit verschiedensten Zeigerpositionen, an denen diese Distraktoren ausgelöst wurde, kombinierte und hierfür die Zeitverschiebung der gesehenen Zeigerposition gegenüber der tatsächlichen ermittelte. Eines seiner höchst kontraintuitiven Ergebnisse war, dass sich die Diskrepanz zwischen gesehener und tatsächlicher Zeigerposition und die Pendelgeschwindigkeit (und somit die Zeigergeschwindigkeit) umgekehrt proportional zueinander verhalten sollten. Nimmt man an, dass es eine bestimmte Zeit braucht, um den Aufmerksamkeitsfokus vom Haupteindruck zum Distraktor und wieder zurück zu verschieben (die zentrale Idee hinter all diesen Versuchen), dann sollte man eigentlich annehmen dürfen, dass die besagte Divergenz um so kleiner ist, je geringer die Geschwindigkeit des bewegten Objekts während dieser »blackout«-Phase der Aufmerksamkeitsverschiebung ist. So wie dieses Ergebnis entbehrten nahezu alle seine Ergebnisse der Glaubwürdigkeit, was wohl nicht zuletzt auf Konstruktionsschwächen des Pendels zurückzuführen war.

7 Bei dieser Scheibe, benannt nach Antoine Philibert Masson (1806-1858/60), sind auf weißem Grund schwarze radial-kollineare Strecken gleicher Länge aufgetragen. Sobald diese Scheibe mit einem Radius  $r$  mit genügend hoher Winkelgeschwindigkeit rotiert, sind abwechselnd graue und weiße konzentrische Ringe zu sehen, wobei die Helligkeit  $h$  der grauen Kreise mit der Entfernung  $d$  des Strecken- zum Scheibenmittelpunkt nach Helmholtz' (1867) Formel  $h = 1 - \frac{d}{2r\pi}$  abnimmt. Die Helligkeit der weißen Ringe ist hierbei willkürlich gleich 1 gesetzt, und  $\square$  steht für die Ludolphsche Zahl.

Um diese Probleme zu umgehen, entwickelten die Leipziger Forscher Variationen von Wundts Originalpendel (Weyer, 1898, 1900), oder man experimentierte mit neuen Konstruktionen wie beispielsweise der Komplikatonsuhr (Geiger, 1903), bei der ein Zeiger mit konstanter Winkelgeschwindigkeit vor einem Zifferblatt rotierte.

Der Letzte, der – zumindest in Leipzig – mit Wundts Originalpendel zur Wende vom 19. auf das 20. Jahrhundert experimentierte, was Christof D. Pflaum (1900). Caroline Augusta Foley Rhys Davids (1857-1942) besprach diese Experimente in Mind (cf. Rhys Davids, 1899) und bemerkte dabei, Pflaum habe vergessen, eine gravierende Schwäche des Apparats zu berichten, die sich darin äußerte, dass der Zeiger jedesmal genau dann springe, wenn der distrahierende Reiz ausgelöst werde, was Wundt (1900) wiederum zu einer gereizten Replik in seinen Studien veranlasste, mit der er all jenen die Fähigkeit zur richtigen Handhabung des Apparats absprach, die erfolglos versucht hatten, die (nicht sonderlich vertrauenswürdigen) Leipziger Ergebnisse zu replizieren.

## Zusammenfassung

Diese kurze Skizze verdeutlicht hoffentlich, dass die Forscher der frühen apparategestützten experimentellen Psychologie eine Reihe von Gegenständen untersuchten, die selbst für die heutige experimentelle Psychologie noch interessant sind.

Das vielleicht wichtigste Ergebnis der frühen Reaktionszeituntersuchungen war, dass man nach ein paar Jahren Leipziger Forschungstätigkeit genügend Evidenz gegen Wundts ursprünglich strikt seriellen Ansatz der menschlichen Informationsverarbeitung gesammelt hatte, was zu einer neuen, heutigen Theorien nicht unähnlichen Sicht führte, der entsprechend einzelne mentale Operationen simultan stattfinden und somit untersummativ sind hinsichtlich des Gesamtzeitaufwands, den jede der einzelnen Operationen nur für sich gesehen bedingt.

Innerhalb der Bewusstseinsstudien lieferten die Untersuchungen, die sich mit der Verarbeitung multimodaler Reize beschäftigten, keine verlässlichen Ergebnisse, was in erster Linie auf die Konstruktionsschwächen der Expositionseinheiten für den visuellen Haupt- und die distrahierenden auditiven und/oder taktilen Nebeneindrücke zurückzuführen sein dürfte. Diese Schwächen konnten zu Wundts Zeiten nicht überwunden werden. Im Zusammenhang mit der Frage nach den Ursachen für die Apperzeptionswellen lieferten die Leipziger Forscher zwar einige gute Indizien für die Beteiligung zentral-attentiver Prozesse, konnten aber die peripher-adaptive Gegenposition nicht endgültig widerlegen, was nicht allzu verwunderlich ist, als selbst zeitgenössische Forscher die perzeptuellen Fluktuationen im Zusammenhang mit den Kippfiguren nicht exakt erklären können und – in heutiger Begrifflichkeit – sowohl top-down- als auch parallele bottom-up-Prozesse an den Phänomenen beteiligt sehen (cf. Kornmeier, 2007). Trotz aller Unterschiede zwischen den einzelnen Funktionsgraphen im Bereich der Psycho-

physik der Zeitwahrnehmung fanden und bestätigten Wundt und Kollegen immer wieder, dass kurze Zeitspannen subjektiv über- und längere Zeitspannen unterschätzt werden mit einem Indifferenzpunkt nahe dem Wert, der in aktuellen Untersuchungen zur subjektiven Dauer des Jetzt gefunden wurde. Alles in allem waren die frühen Untersuchungen zur Bestimmung der Kapazitätsgrenzen des Arbeitsgedächtnisses am überzeugendsten. Mit einem denkbar einfachen Aufbau fand Cattell bereits in der Mitte der 1880er Jahre Zahlenwerte, die prinzipiell bis heute repliziert werden können.

## Literatur

- Berger, G. O. (1886). Ueber den Einfluss der Reizstärke auf die Dauer einfacher psychischer Vorgänge mit besonderer Rücksicht auf Lichtreize. *Philosophische Studien*, 3, 38-93.
- Cattell, J. McKeen (1885). Ueber die Zeit der Erkennung und Benennung von Schriftzeichen, Bildern und Farben. *Philosophische Studien*, 2, 635-650.
- Cattell, J. McKeen. (1886a). Ueber die Trägheit der Netzhaut und des Sehcentrums. *Philosophische Studien*, 3, 94-127.
- Cattell, J. McKeen (1886b). Psychometrische Untersuchungen. Erste Abtheilung. *Philosophische Studien*, 3, 305-335.
- Cattell, J. McKeen (1886c). Psychometrische Untersuchungen. Zweite Abtheilung. *Philosophische Studien*, 3, 452-492.
- Cattell, J. McKeen (1886-87). The time taken up by cerebral operations. *Mind*, 11, 220-242, 377-392, 524-538.
- Cattell, J. McKeen (1888). Psychometrische Untersuchungen. Dritte Abtheilung. *Philosophische Studien*, 4, 241-250.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory. A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 87 – 185.
- Cowan, N. (2005). Working memory capacity. Hove, East Sussex, UK: Psychology Press.
- De Jaeger, J. J. (1865). De physiologische tijd bij psychische processen. Utrecht: P. W. van de Weijer.
- Donders, F. C. (1868). Die Schnelligkeit psychischer Prozesse: Erster Artikel. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin*, 657-681.
- Ebbinghaus, H. (1885). Über das Gedächtnis. Untersuchungen zur experimentellen Psychologie. Leipzig: Duncker & Hummer.
- Fechner, G. T. (1860). Elemente der Psychophysik. Erster und zweiter Teil. Leipzig: Breitkopf & Härtel.
- Friedrich, M. (1883). Ueber die Apperceptionsdauer bei einfachen und zusammengesetzten Vorstellungen. *Philosophische Studien*, 1, 38-77.
- Geiger, M. (1903). Neue Complicationsversuche. *Philosophische Studien*, 18, 347-436.
- Glass, R. (1888). Kritisches und Experimentelles über den Zeitsinn. *Philosophische Studien*, 4, 423-456.
- Helmholtz, H. v. (1850a). Ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreizung. *Annalen der Physik und Chemie*, 79, 329-330.
- Helmholtz, H. v. (1850b). Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin*, 276-364.

- Helmholtz, H. v. (1852). Messungen über Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin*, 199-216.
- Helmholtz, H. v. (1867). *Handbuch der physiologischen Optik*. Leipzig: Voss.
- Hick, W. E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4, 11-26.
- Hirsch, A. (1865). Chronoskopische Versuche über die Geschwindigkeit der verschiedenen Sinneseindrücke und der Nerven-Leitung. *Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere*, 9, 183-199.
- Hume, D. (1740). *A treatise of human nature*. [<http://socserv2.socsci.mcmaster.ca/~econ/ugcm/3ll3/hume/treat.html> geprüft 12.03.2010]
- Kollert, J. (1883). Untersuchungen über den Zeitsinn. *Philosophische Studien*, 1, 78-89.
- Kornmeier, J. (2007). Ambiguous figures: evidence for weak neural representation and two independent processes. Vortrag im Rahmen des Forschungskolloquiums der psychologischen Institute an der Universität Leipzig am 12.11.2007.
- Kraepelin, E. (1883a). Ueber die Einwirkung einiger medicamentöser Stoffe auf die Dauer einfacher psychischer Vorgänge. Erste Abtheilung. Ueber die Einwirkung von Amylnitrit, Aethyläther und Chloroform. *Philosophische Studien*, 1, 417-462.
- Kraepelin, E. (1883b). Ueber die Einwirkung einiger medicamentöser Stoffe auf die Dauer einfacher psychischer Vorgänge. Zweite Abtheilung. Ueber die Einwirkung von Aethylalkohol. *Philosophische Studien*, 1, 573-605.
- Lander, H.-J. (2003). Ebbinghaus war nicht der Erste. Ein Vorläufer Hermann Ebbinghaus' namens Francis E. Nipher (1847-1926). In: B. Krause (Hrsg.), *Wissenschaftliche Veranstaltungen Band 2 „Mess- und Veränderungsmodelle in der Evaluationsforschung – Probleme und Anwendungen“*. (S. 209 – 299). Berlin: Zentrum für empirische Evaluationsforschung e. V.
- Lange, L. (1888). Neue Experimente über den Vorgang der einfachen Reaction auf Sinneseindrücke. *Philosophische Studien*, 4, 479-510.
- Lange, N. (1888). Beiträge zur Theorie der sinnlichen Aufmerksamkeit und der activen Apperception. *Philosophische Studien*, 4, 390-422.
- Merkel, J. (1885). Die zeitlichen Verhältnisse der Willensthätigkeit. *Philosophische Studien*, 2, 73-127.
- Meumann, E. (1893). Beiträge zur Psychologie des Zeitsinns. *Philosophische Studien*, 8, 431-509.
- Meumann, E. (1894). Beiträge zur Psychologie des Zeitsinns. (Fortsetzung.) Zweiter Abschnitt. *Philosophische Studien*, 9, 264-306.
- Meyers (1893-97) *Konversationslexikon*. 5. Auflage. 17 Bde. Leipzig und Wien: Bibliographisches Institut.
- Nipher, F. E. (1876). Probability of error in writing a series of numbers. *American Journal of Science and Arts (3rd series)*, 12, 79 – 80.
- Nipher, F. E. (1878). On the distribution of errors in numbers written from memory. *Transactions of the Academy of Science of St. Louis*, 3, 110 – 111.
- Pace, E. (1893). Zur Frage der Schwankungen der Aufmerksamkeit nach Versuchen mit der Masson'schen Scheibe. *Philosophische Studien*, 8, 388-402.
- Pflaum, C. D. (1900). Neue Untersuchungen über die Zeitverhältnisse der Apperception einfacher Sinneseindrücke am Complicationspendel. *Philosophische Studien*, 15, 139-148.
- Pöppel, E. (2004). Lost in time. A historical frame, elementary processing units and the 3-second window. *Acta neurobiologiae experimentalis*, 64, 295-301.
- Rhys Davids, C. A. F. (1899). *Philosophische Studien*. *Mind*, 8(4), 563-564.
- Tchisch, W. v. (1885). Über die Zeitverhältnisse der Apperception einfacher und zusammengesetzter Vorstellungen, untersucht mit Hilfe der Complicationsmethode. *Philosophische Studien*, 2, 603-634.
- Tischer, E. (1883). Ueber die Unterscheidung von Schallstärken. *Philosophische Studien*, 1, 495-542.
- Trautsholdt, M. (1883). Experimentelle Untersuchung über die Association der Vorstellungen. *Philosophische Studien*, 1, 213-250.
- Vierordt, K. v. (1868) *Der Zeitsinn nach Versuchen*. Tübingen: Laupp.
- Weyer, E. Moffat. (1898). Die Zeitschwellen gleichartiger und disparater Sinneseindrücke. *Philosophische Studien*, 14, 616- 639.
- Weyer, E. Moffat. (1900). Die Zeitschwellen gleichartiger und disparater Sinneseindrücke (Schluss). *Philosophische Studien*, 15, 67-138.
- Wirth, W. (1902). Zur Theorie des Bewusstseinsumfanges und seiner Messung. *Philosophische Studien*, 20, 487-669.
- Wirth, W. (1903). Das Spiegeltachistoskop [The mirror tachistoscope]. *Philosophische Studien [Philosophical Studies]*, 18, 687-700.
- Wundt, W. (1862). Die Geschwindigkeit des Gedankens. *Gartenlaube*, 263-265.
- Wundt, W. (1900). Zur Technik des Complicationspendels. *Philosophische Studien*, 15, 579-582.
- Wundt, W. (1908-11). *Grundzüge der physiologischen Psychologie*. 6., umgearbeitete Auflage. 3 Bde. Leipzig: Engelmann.
- Zimmermann, E. (1928). *Wissenschaftliche Apparate*. Liste 50. Leipzig: Heine.

## Kontakt

Dr. H. Maximilian Wontorra, Universität Leipzig, Institut für Psychologie I, Seeburgstraße 14-20, 04103 Leipzig, E-Mail: [wontorra@rz.uni-leipzig.de](mailto:wontorra@rz.uni-leipzig.de)