

physiologischen Messens, um das Unwahrnehmbare der Wahrnehmung selbst zu adressieren, wie es Annette Bitsch formulierte:

„Sobald die cartesische Frage nach dem Sein in eine Zeitfrage physiologischer Art konvertiert wird, fallen Seinsgewissheit und Seinstransparenz in die Unmöglichkeit – etwas, *es*, das bei Helmholtz neurophysiologisch bestimmt ist, unterläuft unwiderruflich die bewusste Wahrnehmung und damit die Möglichkeit jedes selbstreferentiellen Denkaktes.“²⁹

Für die messtechnische Beantwortung seiner Forschungsfrage konnte sich Helmholtz – mithilfe seiner Frau Olga³⁰ – zweier Zeitmessverfahren bedienen, die einem anderen Diskurs entstammten und über welche er 1850 ausführlich berichtete.³¹ Einerseits ein Verfahren, das Zeit- als Raumunterschiede visualisierte, um Zeit- als graphische Raumunterschiede messbar zu machen. Andererseits ein Verfahren, das die Wirkung eines Stroms auf einen an einem Faden hängenden Magneten nutzte, dessen Schwingungsbogen sodann proportional zur Dauer des Vorgangs war, wenn Anfang und Ende des zu messenden Vorgangs mit dem Anfang und Ende des s.g. zeitmessenden Stroms synchronisiert war. Beide Verfahren waren um 1850 vergleichsweise jung und ersetzten teils das Pendel, das zuvor als Instrument für Zeitmessungen diente.³²

Zeit- als Raumdifferenz & zeitmessender Strom

Erstere Methode war bereits von u.a. Werner von Siemens beschrieben und verbessert worden³³ und war nicht in der Elektrophysiologie beheimatet, sondern im Militär. Um nämlich die Ballistik von Geschützkugeln zu berechnen, ist ein Wissen

29 Bitsch, Annette (2009): *Diskrete Gespenster. Die Genealogie des Unbewussten aus der Medientheorie und Philosophie der Zeit*, Bielefeld, 286.

30 Helmholtz berichtete hierüber in einem Brief an du Bois-Reymond vom 14.10.1849: „Meine Frau [...] steht mir treulichst bei meinen Versuchen als Protokollführerin der beobachteten Skalenteile, was sehr nötig ist, weil ich allein vollständig konfus werde, wenn ich auf so viele Dinge gleichzeitig achtgeben soll, als da sind: Umlegen höchst verwickelter Drahtleitungen mit Nebenströmen zweiter Ordnung, Einstellen des Muskels, Auflegen der Gewichte, Ablesen der Skalenteile, rechtzeitiges Öffnen und Schließen der Kette.“ Vgl. Kirsten (1986), *Dokumente einer Freundschaft*, 88.

31 von Helmholtz (1850): „Messungen über den zeitlichen Verlauf“ und von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“.

32 Hierzu ausführlicher Kassung, Christian (2007): *Das Pendel. Eine Wissensgeschichte*, München, insb. 91-115.

33 Siemens, Werner (1847): „Ueber Geschwindigkeitsmessung“, in: *Fortschritte der Physik im Jahre 1845* 1, 47-72.

um ihre Fluggeschwindigkeit und die Dauer der Entzündung des Pulvers im Gewehrlauf notwendig. Siemens studierte drei Jahre an der Artillerie- und Ingenieurschule in Charlottenburg (damals bei, heute in Berlin) und war seit 1839 Leutnant Siemens in der preußischen Artillerie. Siemens' Zeitmesser war eine Scheibe, die sich drehte, ähnlich wie es später Schallplatten tun sollten. Die Oberfläche der Platte war untergliedert, bspw. in Winkelgrade. In dieser Experimentalanordnung musste die Drehgeschwindigkeit der Scheibe bekannt sein und mit einer Zeitreferenz synchronisiert, hier einem Uhrwerk mit Regelpendel, sodass die Scheibe bspw. in einer Sekunde eine vollständige Umdrehung um 360° vollzog. Wenn nun eine kleine Schreibspitze zwei diskrete Markierungen auf der Scheibe machte, war die Zeit, die zwischen beiden Markierungen vergangen war, bei bekannter Rotationsgeschwindigkeit aus der Summe der zwischen ihnen liegenden Winkelgrade ableitbar.

So weit war diese Methode 1845 bekannt. Das Novum Siemens' in der Verbesserung des Systems bestand darin, auf Mechanik größtmöglich zu verzichten und die Zeitschreibung nicht mit Schreibstiften zu realisieren, sondern „die Elektrizität selbst zeichnen zu lassen“,³⁴ um Messungen auf ihren dromologischen Grenzwert, nämlich die Geschwindigkeit von Elektrizität, zu bringen. Was nun blitzte, provozierte keinen Donner, sondern war elektrischer Funke: Der dunkle Fleck, den ein elektrischer Funke auf einer rotierenden Stahlplatte erzeugte, markierte Zeitpunkte. Verbindet eine Kugel nämlich auf ihrer Flugbahn die isolierten Drähte eines Drahtnetzes, wobei der dazugehörige Stromkreis eine Leidener Flasche sowie eine rotierende Stahlplatte und eine stromleitende Stiftspitze miteinander verschaltete, funkt es. Oder in den Worten des Erfinders:

„Mein auf dieser Wirkung des Funkens begründeter Plan war nun der, einen möglichst leichtconstruirten und möglichst schnell und gleichmäßig rotirenden Stahlcylinder als Zeitmesser zu benutzen und die Dauer einer Bewegung dadurch zu messen, daß beim Beginn und am Ende derselben ein Funke aus einer dem rotirenden Cylinder dicht gegenüberstehenden Spitze auf diesen überspringt. Der Abstand der Punkte von einander giebt dann mit vollkommener Sicherheit den Zeitverbrauch, wenn nur der Cylinder richtig getheilt war und gleichmäßig rotirte. Hierin lag ohnstreitig die größte Schwierigkeit (...).“³⁵

Bei Emil du Bois-Reymond waren die Überlegungen, die präzise Zeitmessung aus der Ballistik in den Bereich der physiologischen Forschung zu transferieren, bloß Theorie. Helmholtz sollte diesen Transfer praktizieren. Auch bei ihm zeichnete

34 von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“, 175.

35 Siemens (1847): „Ueber Geschwindigkeitsmessung“, 66.

sich die Kontraktion eines Froschmuskels selbst, wie schon bei Siemens die Elektrizität selbst ‚zeichnete‘. In Ermangelung photographischer Fixierung hatte Helmholtz dabei das Problem der Reibung, diesem physikalisch irreduziblen Rest jeder noch so feinen materiellen Aufzeichnung. Die geringste Reibung fand er im Selbstzeichnen auf angerußtem Glas.³⁶ Hierfür war in einer Konstruktion über Zwischenstücke ein Gewicht an einen Froschmuskel gehängt. Eines dieser Zwischenstücke trug an einem Querarm eine Stahlspitze, die auf einer fortbewegten, angerußten Glasplatte oder auf einem rotierenden Zylinder zeichnete. Wurde ein in die Apparatur eingehängter Froschmuskel elektrisch gereizt, wurde seine Kontraktion als Zeitlinie im Ruß deutlich: „Der zuckende Muskel zeichnete auf diese Weise Curven, deren horizontale Abscissen der Zeit proportional, deren vertikale Ordinaten der Erhebung des Gewichtes gleich waren.“³⁷

Mit anderen Worten: Während Siemens' Methode mit Leerstellen operierte – ideal digital, wenn man so will – zeichnete Helmholtz' Froschmuskel qua fester Kopplung im Kontinuum des Realen wie die bekannten Sphygmographen von Karl von Vierordt, Étienne-Jules Marey oder Carl Ludwig.³⁸ Muskelkontraktion als transitorisches Intervall kam bei Helmholtz in einem Koordinatensystem zur graphischen Linearisierung, um es zeitlich zu bestimmen. Die ‚Zeitachse‘ war nunmehr eine technikinduzierte Darstellung von Zeit nach den linearen Bedingungen der „Graphischen Methode“: Dem ‚Links‘ des graphisch stillgestellten Ereignisses entsprach von nun an ein ‚Früher‘ und die der technischen Zeit-Schrift inhärente Ein-dimensionalität stellte das Imaginäre einer Gerichtetheit von Zeit dar. Ein Zeitergebnis war chronographisch fixiert worden, um es wieder und wieder befragen, manipulieren, übersetzen, reproduzieren usw. zu können. Damit hatten mikrotemporale Intervalle ihre visuelle Logik und d.h. kleine Zeitdifferenzen ihr Imaginäres zur Mitte des 19. Jahrhunderts gefunden und konnten definieren, was als mechanisch objektiv gelten durfte.

Mit den angefertigten Kurvenbildern war bewiesen, dass Froschmuskeln im Kontinuum kontrahieren. Aufgrund der Anstiegszeit der Kontraktion musste Helmholtz eine Reihe von Reizungsexperimenten durchführen, um zu beweisen, dass die verschiedenen Stufen der Zuckung des Froschmuskels mit einer relativen Verzögerung einsetzten, wenn die Nervenstrecke bis zur Muskelreizung eine grö-

36 von Helmholtz (1850): „Messungen über den zeitlichen Verlauf“, 284.

37 Ebd., 281.

38 Ludwig, Carl (1847): „Beiträge zur Kenntniss des Einflusses der Respirationsbewegungen auf den Blutlauf im Aortensystem“, in: *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, 242-302. Eine Übersicht über damalige Pulsschreiber, ihre Geschichte und Anwendung in der diagnostischen Praxis gibt die Quelle Dudgeon, R. E. (1882): *The Sphygmograph. Its History and Use as an Aid to Diagnosis in Ordinary Practice*, London.

ßere war und ein konkreter Faktor c , die Nervenleitgeschwindigkeit, ermittelt werden konnte. Und „[d]as“, so Helmholtz, „findet sich aber in der That so.“³⁹ Nur ließ es sich nicht mit seiner ersten, einfachen Experimentalmethode nachweisen.

Da das beschriebene Messverfahren 1850 keine exakten Messdaten hervorbrachte und nicht der exakten Angabe der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Nervenfasern dienen konnte, nutzte Helmholtz ein zweites Verfahren: Eine Methode, die wiederum Antwort auf die bereits erwähnte ballistische Frage nach der Fluggeschwindigkeit von Geschossen und der Dauer der Entzündung von Schießpulver geben sollte und die auf den französischen Physiker Claude Pouillet zurückgeht (vgl. Abb. 3).⁴⁰ Die Messmethode übersetzte nicht mehr Zeit- in chronographische Raumunterschiede, sondern machte Dauer durch die Intensität des Ausschlags einer Galvanometernadel errechenbar. Die Methode basierte auf der physikalischen Wirkung des elektrischen Stroms, die – so Pouillet – den Vorteil hat, „augenblicklich einzutreten“, weshalb sie „mit der größten Genauigkeit meßbar“ sei.⁴¹

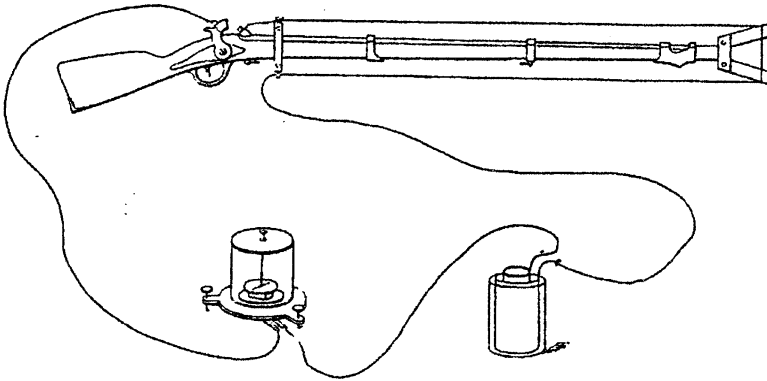


Abbildung 3: Zeitmessung mit Pouillet'scher Methode. Durch das Betätigen des Abzugs des Gewehrs wird ein Stromkreis von bestimmter Intensität geschlossen. Der Austritt der Kugel aus dem Gewehrlauf durchschlägt den Stromkreis wiederum, indem er einen Draht durch-

39 von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“, 183.

40 Pouillet, Claude (1844): „Note sur un moyen de mesurer des intervalles de temps extrêmement courts, comme la durée du choc des corps élastiques, celle du débandement des ressorts, de l'inflammation de la poudre, etc.; et sur un moyen nouveau de comparer les intensités des courants électriques, soit permanents, soit instantanés“, in: *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* 19, 1384-1389.

41 Pouillet, Claude (1837): „Ueber die Volta'sche Säule und über das allgemeine Gesetz für die Intensität der Ströme einer einfachen Kette und einer Säule von grosser oder kleiner Spannung“, in: *Annalen der Physik und Chemie* 42, 281-297, 281-282.

trennt. Der Ausschlag der Galvanometernadel (unten links im Bild) ist Referent für das Delay zwischen Schließen und Öffnen des Stromkreises. Abbildung aus einer Quelle von 1849.

Helmholtz maß mit der Methode die elektromagnetische Wirkung einer Kupferdrahtspule auf einen an einem Kokonfaden schwebenden Magneten,⁴² wobei sich die Kupferdrahtspule eben nur dann wie ein Magnet verhielt, wenn sie elektrisiert worden war. Sobald Strom durch die Spule in Helmholtz' Versuchsaufbau floss, zog diese einen Pol des Magneten an. War die Kupferdrahtspule nicht mehr elektrisiert, hatte sie keine Wirkung mehr auf den Magneten, welcher nun „regelmäßige Schwingungen“ machte, „deren Größe sich nur äußerst langsam ändert und daher mit voller Muße bestimmt werden kann.“⁴³ Durch Beobachtung des Schwingungsbogens ließ sich ableiten, wie viel Strom durch die Drahtspule geflossen war, um den Magneten anzuziehen – mit anderen Worten: es wurde an den Schwingungen sichtbar, *wie lange* die Drahtspule den Magneten angezogen hatte. Elektrischer Strom war zum „zeitmessenden Strom“⁴⁴ geworden. Mit diesem maß Helmholtz den Zeitunterschied, wenn ein Froschmuskel direkt und indirekt über verschiedenen lange Froschnerven gereizt wurde. Helmholtz kommentierte die mit dieser Methode durchgeführten Versuche wie folgt:

„Wenn man Messungen über die Zeit anstellt, welche zwischen der Reizung des Nerven und der Erhebung der Ueberlastung durch den Muskel vergeht, stellt sich heraus, dass sie von der Stelle des Nerven abhängig ist, auf welche man den elektrischen Schlag einwirken lässt, und zwar desto grösser, ein je grösseres Stück des Nerven sich zwischen der gereizten Stelle und dem Muskel befindet.“⁴⁵

Damit galt für biologische Leiter, was im historischen Kontext bereits an Telegraphendrähten gemessen worden war. Kanallänge verhielt sich proportional zur Übertragungszeit: Froschnerven hatten spezifische Delays. Dabei erinnerte Helmholtz bei der Beschreibung seiner Experimente fortwährend an die zeitkritischen Bedingungen, denen seine apparative Messmethode selbst unterlag. Zwar mochte bspw. sein verwendeter Induktionsstrom eine Dauer gehabt haben, die „verschwindend klein“⁴⁶ war, aber dennoch war sie genau dies: eine Dauer. Um zeitkritische Bedingtheit zu erforschen, widmete sich Helmholtz unweigerlich der zeit-

42 von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“, 178.

43 Ebd.

44 Ebd., 179.

45 von Helmholtz (1850): „Messungen über den zeitlichen Verlauf“, 328.

46 Ebd., 296.

kritischen Bedingung, denn seine Verzeichnung des Realen war derart mikrotemporal, dass er die Skalierung der Messung überall dort verfeinerte, wo er die Grenze bisheriger Messungen erreichte. Bevor also Messergebnisse als valide gelten durften, musste Helmholtz seine eigene Messapparatur vermessen: „Ich [H.v. Helmholtz] musste darum nach Mitteln suchen, wodurch ich mich überzeugen konnte, dass die Dauer der angewendeten Ströme auch gegen so kleine Zeiträume nicht in Betracht kommt, wie die von mir gemessenen sind.“⁴⁷ Durch experimentelle Messreihen limitierte Helmholtz die Fehlergröße auf 1/400 des Gesamtwertes und ermittelte als Reizleitgeschwindigkeit der Nerven des Frosches 26,4 m/s – eine für Helmholtz unerwartet geringe Geschwindigkeit von lediglich rund einem Zehntel der Schallgeschwindigkeit in der Luft.⁴⁸

Für den Menschen nahm Helmholtz eine Nervenleitgeschwindigkeit von 60 m/s an, plus eine Prozessierungszeit im Gehirn von einer Zehntelsekunde. Die Messungen dieser Zeit nahm Helmholtz mit ähnlichen Apparaturen vor, wie er sie für Froschnerven nutzte. Versuchspersonen wurden leichte Elektroschläge gegeben und die Proband:innen mussten diesen qua bestimmter Hand- oder Zahnbewegung anzeigen. So zeitbehaftet diese menschliche Reaktion sein mochte, konnte bei konditionierten Proband:innen die Reizleitgeschwindigkeit bestimmt werden, wenn Reaktionszeiten identisch blieben, aber nicht die Stelle der Reizung: „Es ergibt sich z.B., daß eine Nachricht vom großen Zehen etwa 1/30 Secunde später ankommt, als eine vom Ohr oder Gesicht.“⁴⁹ Zum Glück, so kommentierte Helmholtz die unerwartet geringe Nervenleitgeschwindigkeit, sind die menschlichen Nervenbahnen kurz, „sonst würden wir mit unserm Selbstbewußtsein weit hinter der Gegenwart und selbst hinter den Schallwahrnehmungen herhinken“.⁵⁰

Der Nachteil der Pouillet'schen Methode war, dass für valide Experimentalergebnisse lange und aufwendige Reihen von Messungen notwendig waren. Helmholtz setzte daher sein ursprüngliches Vorhaben in die Tat um: die Verbesserung des chronographischen Messverfahrens. Sein erklärtes Ziel war es seit 1850, einen

47 Ebd., 296-297.

48 von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“, 184-185.

49 Ebd., 187.

50 Mit der nonchalanten Nüchternheit eines Physiologen und unter Bezugnahme darauf, dass Menschen keine Wale seien, kommentierte Helmholtz weiterhin: „Glücklicher Weise sind die Strecken kurz, welche unsere Sinneswahrnehmungen zu durchlaufen haben (...) daß wir es nicht bemerken und in unserm practischen Interesse nicht dadurch berührt werden. Für einen ordentlichen Wallfisch [sic] ist es vielleicht schlimmer; denn aller Wahrscheinlichkeit nach erfährt er vielleicht erst nach einer Secunde die Verletzung seines Schwanzes, und braucht eine zweite Secunde um dem Schwanz zu befehlen, er solle sich wehren“, ebd., 189.

Apparat zu konstruieren, der Ergebnisse binnen weniger Minuten zur Evidenz brachte, d.h. die Visualisierung mikrotemporaler Ereignisse zeitökonomisch vollzog. Für eine solche Apparatur war seine erste Messmethode nach Werner von Siemens – die Visualisierung von Zeit- als Raumunterschied – bloß Grundlage, die Anwendbarkeit eines chronographischen Verfahrens überhaupt zu testen. Gleichwohl Helmholtz diesen Begriff nicht nutzte, galt es ihm, einen Kymographen⁵¹ zu konstruieren, der Kurvenbilder semi-automatisiert anzufertigen erlaubte. Bereits im September 1850 schrieb er an du Bois-Reymond, dass er sich einen Apparat mit rotierendem Zylinder bauen lasse, mit dem er hoffte, „jedermann durch einen Versuch in 5 Minuten die Tatsache der Fortpflanzungsdauer in den Nerven vor Augen legen zu können.“⁵²

Ohne die schließlich realisierte Apparatur *en detail* zu beschreiben, bleibt festzuhalten, dass mit ihr ein kanalzeitlicher Aussageraum in der Physiologie um 1850 messtechnisch geschaffen worden war, aus dem graphisch „Gleichzeitigkeit“, nämlich die vermeintliche Instantaneität von Reiz und seiner Wahrnehmung „*kat'exochen* verbannt“⁵³ wurde. „Sie sehen“, fügte Helmholtz an anderer Stelle über die Messung von Lichtgeschwindigkeit – Foucaults und Fizeaus Drehspiegelversuche – an, „daß die Mikroskopie der Zeit die des Raums bei weitem überflügelt hat.“⁵⁴ Der Begriff der Mikroskopie ist an dieser Stelle weniger metaphorisch, als er anmutet. Schließlich referiert er etymologisch auf *skopeîn* für *betrachten* und benennt Objekte, die für das menschliche Auge Unsichtbares sichtbar machen. Und exakt dies waren zur Mitte des 19. Jahrhunderts exakte Messungen von Delays: graphische Visualisierungen, die daher ‚betrachtet‘ werden konnten.⁵⁵

51 Unter dem Begriff des Kymographen subsumieren sich verschiedene Instrumente, denen gemein ist, dass sie ein Zeitereignis als graphische Kurve visualisieren – sei es Akustik, Blutdruck, Muskelkontraktion etc.

52 Brief vom 17.09.1850, in: Kirsten (1986), *Dokumente einer Freundschaft*, 106.

53 Kassung, Christian/Kümmel, Albert (2003): „Synchronisationsprobleme“, in: Albert Kümmel/Erhard Schüttelpelz (Hrsg.), *Signale der Störung*, München, 143-166, 145.

54 von Helmholtz (1851): „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen“, 177.

55 Nach Helmholtz führten andere Physiologen die Bestimmung der Reizleitungsgeschwindigkeit im Menschen fort, vgl. Schelske, Rudolf (1864): „Neue Messungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Reizes in den menschlichen Nerven“, in: *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin*, 151-173; vgl. auch von Helmholtz, Hermann (1867): „Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Menschen, welche Hr. N. Baxt aus Petersburg in dessen Laboratorium ausgeführt hat“, in: *Monatsbericht der königlichen preussischen Akademie der Wissenschaften*, 228-234. Nach heutigem Wissensstand ist es unmöglich, eine pauschale s.g. Nervenleitgeschwindigkeit (NLG) anzugeben, da diese vom Nervenfasertyp abhängig ist. Verschiedene Fasern leiten mit Geschwindigkeiten zwischen 0,5 und 120 m/s.