

Schafft Wissen: Gemeinsames und geteiltes Wissen in Wissenschaft und Technik: Proceedings der 2. Tagung des Nachwuchsnetzwerks "INSIST", 07.-08. Oktober 2016, München

Engelschalt, Julia (Ed.); Maibaum, Arne (Ed.); Engels, Franziska (Ed.); Odenwald, Jakob (Ed.)

Veröffentlichungsversion / Published Version
Konferenzband / conference proceedings

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Engelschalt, J., Maibaum, A., Engels, F., & Odenwald, J. (Hrsg.). (2018). *Schafft Wissen: Gemeinsames und geteiltes Wissen in Wissenschaft und Technik: Proceedings der 2. Tagung des Nachwuchsnetzwerks "INSIST", 07.-08. Oktober 2016, München* (INSIST-Proceedings, 2). <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0168-ssoar-58220-7>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY-ND Lizenz (Namensnennung-Keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier: <https://creativecommons.org/licenses/by-nd/1.0/deed.de>

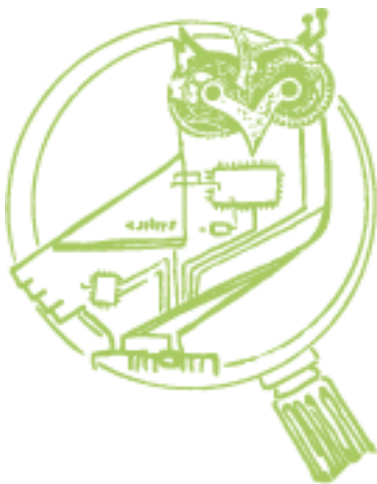
Terms of use:

This document is made available under a CC BY-ND Licence (Attribution-NoDerivatives). For more information see: <https://creativecommons.org/licenses/by-nd/1.0>

Schafft Wissen: Gemeinsames und geteiltes Wissen in Wissenschaft und Technik

Proceedings der 2. Tagung des
Nachwuchsnetzwerks „INSIST“,
07.-08. Oktober 2016, München

Herausgegeben von
Julia Engelschalt, Arne Maibaum,
Franziska Engels & Jakob Odenwald



Inhaltsverzeichnis

Geleitwort	i
Editorische Notiz	ii
Technologie und Collagekunst	1
Laura Voss	
Vom Forschen erzählen: Thomas Huxleys Method of Zadig als ‚popularisierte Wissenschaftstheorie‘ am Ende des 19. Jahrhunderts	4
Jakob Odenwald	
„Herrliche, liebevolle und fürtreffliche Nutzbarkeit.“ Vermittlung von praktischem Wissen durch Franz Ritters Astrolabium-Traktat von 1613	22
Agnes Bauer	
Gebrauchsanleitungen für „lebende Maschinen“? Synthetische Biologie zwischen Ingenieur und Anwender	43
Michael Funk	
Chronogrammatologie. Zeitregistratur der Laufzeit bei Hermann von Helmholtz um 1850	68
Christoph Borbach	
Quantified Self als verwissenschaftlichte Selbsterkenntnis	92
Lars Gaentzsch	
(De-)Constructing Participation in Transdisciplinary Sustainability Research: A Critical Review of Key Concepts	106
Livia Fritz	
Soziologische Spuren im Design Thinking und die Möglichkeit einer soziologischen Fremdbeschreibung der Soziologie	125
Tim Seitz	
Same, same but different: Storytelling of innovative places and practices in Nairobi	139
Alev Coban	
The Relationship between Openness and Closedness in the FabLab. A Differentiated Typology of Possible Relations between Institutional Logics ...	153
Jana Deisner & Chris Grieser	
Zur Verwissenschaftlichung einer „nachgeordneten Behörde“ – Die Projektträgerorganisation im Spannungsfeld von Politik und Wissenschaft ...	170
Lisa Kressin	
Konflikte um Technisches als Ansatzpunkte für eine Biografie der Technik ...	187
Andie Rothenhäusler	
I Robot, You Unemployed: Robotics in Science Fiction and Media Discourse	203
Lisa Meinecke & Laura Voss	
Autor*innenverzeichnis	222

Geleitwort

Initiiert an einem Bielefelder Küchentisch, blickt das Interdisciplinary Network for Studies Investigating Science and Technology (kurz: INSIST) auf eine mittlerweile fünfjährige Geschichte zurück. Der Anspruch der Beteiligten war von Anfang an, Nachwuchsforscher*innen, Studierenden und allen Interessierten, die sich für Fragen der Geschichte, Philosophie und Soziologie der Wissenschaft und Technik und angrenzende Felder interessieren, eine Plattform zum thematischen wie auch informellen Austausch zu bieten. INSIST versteht sich als *bottom-up* organisierter, offener Rahmen für das Ausprobieren und die gemeinsame Umsetzung neuer Ideen, als Interessenvertretung für Nachwuchsthemen und auch als Möglichkeit zum Knüpfen von Praxiskontakten.

Wie fruchtbar neben dieser Offenheit auch die Schaffung von Kontinuität sein kann, zeigt die Tatsache, dass aus der ersten INSIST-Nachwuchstagung, die 2014 in Berlin stattfand, inzwischen eine Konferenzreihe geworden ist. Am 7. und 8. Oktober 2016 fand in München die zweite Tagung mit dem Titel „Schafft Wissen: Gemeinsames und geteiltes Wissen in Wissenschaft und Technik“ statt – diesmal mit großzügiger Unterstützung des Munich Center for Technology in Society (MCTS) der Technischen Universität München.

Neben einer inspirierenden Keynote von Prof. Dr. Ulrike Felt (Universität Wien) bot diese Konferenz in zehn interdisziplinären Panels ein breites Spektrum an Themen und viel Raum für kritische Diskussionen. Alle Beiträge einte das gemeinsame Interesse an den vielfältigen Aushandlungsprozessen, denen wissenschaftliches wie technisches Wissen in verschiedensten Kontexten der Produktion und Kommunikation unterliegt. So ging es in den Vorträgen unter anderem um die Wechselbeziehung zwischen Wissen und Öffentlichkeit(en), Wissen und Politik, Wissen und Körper sowie Wissen und Digitalisierung. Daneben wurden Orte des Wissens, aber auch sozio-experimentelle Wissens(an)ordnungen und Fragen der Teilhabe an Wissen bzw. der partizipativen Wissensproduktion diskutiert. Darüber hinaus wurde die Nachwuchstagung durch eine Ausstellung mit Collagen von Laura Voss (MCTS) bereichert, die in ihrer Auseinandersetzung mit Innovation und der Produktion von Wissen und Technologie wissenschaftliches und künstlerisches Arbeiten in einen fruchtbaren Austausch bringt.

Zur INSIST-Tagungsreihe erscheint hiermit nun auch der zweite Band der Proceedings-Reihe. Ein Teil der Vorträge wurde von den Autor*innen zur Veröffentlichung ausgearbeitet und hat ein Peer-Review-Verfahren durchlaufen. Wir bedanken uns ganz herzlich bei allen Autor*innen, Reviewer*innen und Herausgeber*innen für ihre unermüdliche Arbeit – und freuen uns schon jetzt auf die dritte INSIST-Nachwuchstagung, die im Oktober 2018 in Karlsruhe stattfinden wird.

Julia Engelschalt & Franz Kather, Universität Bielefeld
Sprecher*innen von INSIST

Editorische Notiz

Die hier versammelten Beiträge der zweiten INSIST-Nachwuchstagung 2016 „Schafft Wissen: Gemeinsames und geteiltes Wissen in Wissenschaft und Technik“ reflektieren, wie auch die Proceedings zur ersten INSIST-Tagung, sowohl die Bandbreite an Themen, die aktuell in der Wissenschafts- und Technikforschung diskutiert werden, als auch die rege Beteiligung unterschiedlichster Fachrichtungen an diesen Diskussionen.

Um – bei allem Wunsch nach Interdisziplinarität – der disziplinären Verortung der einzelnen Autor*innen gerecht zu werden, haben wir uns entschieden, die Zitierweise, die bibliographischen Angaben und fachspezifischen Gepflogenheiten im Textsatz weitgehend beizubehalten und lediglich im Layout zu vereinheitlichen.

Die Reihenfolge der hier zusammengestellten Artikel reflektiert weder die zeitliche Abfolge der Vorträge im Verlauf der INSIST-Tagung, noch soll durch die gewählte Anordnung eine qualitative Wertung vorgenommen werden. Vielmehr möchten wir auf diese Weise die Vielfalt und Unterschiedlichkeit der größtenteils in deutscher und erstmals auch teils in englischer Sprache eingereichten Texte unterstreichen.

Eine künstlerische Rahmung für den Band bilden ausgewählte Collagen von Laura Voss, die während der Tagung in München ausgestellt wurden. Entsprechend beginnt der Band mit einer Erläuterung dieser Arbeiten unter dem Titel „Technologie und Collagekunst“ (Voss). Im weiteren Verlauf des Bandes markieren die Collagen eine lose thematische Gruppierung der Textbeiträge in fünf Schwerpunkte: Popularisierung von Wissen im historischen Kontext (Odenwald, Bauer); Wissen in Experimentalanordnungen (Funk, Borbach); Wissensgemeinschaften (Gaentzsch, Fritz, Seitz); Wissen und Organisationen (Coban, Deisner & Grieser, Kressin); und schließlich Technik und Narration (Rothenhäusler, Meinecke & Voss).

Wir möchten uns an dieser Stelle bei allen Autor*innen für ihre Einreichungen bedanken. Alle Beiträge haben ein anonymes Peer-Review-Verfahren durchlaufen. Daher gebührt unser Dank auch den Mitgliedern des Review-Teams für ihre konstruktiven Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge. Für die Möglichkeit der Online-Publikation im Social Science Open Access Repository (SSOAR) danken wir außerdem dem GESIS Leibniz-Institut für Sozialforschung.

Julia Engelschalt, Universität Bielefeld

Arne Maibaum, Technische Universität Berlin

Franziska Engels, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung / Munich Center for Technology in Society (MCTS), Technische Universität München

Jakob Odenwald, Universität Zürich

Chronogrammatologie. Zeitregistratur der Laufzeit bei Hermann von Helmholtz um 1850

Christoph Borbach

Die Messung exakter Impulslaufzeiten wird in unterschiedlichen Diskursen praktiziert – und zwar nicht allein in der aktiven Ortungstechnik, um beispielsweise U-Boote sonisch zu orten (Sonar) oder die Position von Flugzeugen im Luftraum elektromagnetisch zu bestimmen (Radar). Um verstehen zu können, auf welchen Methoden, Apparaten und Diskursen die exakte Messung von Impulslaufzeit zu Beginn des 20. Jahrhunderts fußte, beziehungsweise um zu wissen, was exakte Zeitmessung im Laufe des 20. Jahrhunderts *nicht* mehr war, wird es allerdings notwendig, auf nicht-hochmoderne Zeitmessung zu fokussieren. Vielmehr muss sich zunächst der Frühgeschichte der technischen Messung von Zeitintervallen zugewandt werden. Dies ist Anliegen des vorliegenden Beitrags, der sich der Hermann von Helmholtz'schen Experimente zur Bestimmung von Impulslaufzeiten um 1850 widmet. Keineswegs kann dies in wissenschaftsgeschichtlicher Vollständigkeit geschehen¹, stattdessen wird letztlich auf bisher Vernachlässigtes aus medienwissenschaftlicher Perspektive fokussiert. Dabei versteht sich der Beitrag als ein Puzzlestück zu einer größeren Arbeit und bildet ein Fundament für die medienhistoriografische Aufarbeitung der Operationalisierung von Verzögerungszeit.² Denn einerseits folgen noch heute Ortungsimpulse des Radars und Sonars der Erscheinung der Reizimpulse, wie sie Hermann von Helmholtz um 1850 erzeugte. Andererseits, und viel fundamentaler, liegt die Bedingung unter anderem der Ortungstechnik in apparativen Verfahren exakter Zeitmessung, die – wie dargestellt werden wird – auch das kritische Moment der Hermann von Helmholtz'schen Experimentalforschung um 1850 bildeten.

-
1. Hierfür siehe die umfangreiche Forschung von Henning Schmidgen. Eine Auswahl: Henning Schmidgen (2009). *Die Helmholtzkurven. Auf der Spur der verlorenen Zeit*. Berlin: Merve, oder ders. (2004). „Die Geschwindigkeit von Gedanken und Gefühlen. Die Entwicklung psychophysiologischer Zeitmessungen, 1850–1865“. *NTM: Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin* 12, S. 100–115.
 2. Dies ist das medienwissenschaftliche Vorhaben des Promotionsprojekts „Zeitkanäle | Kanalzeiten. Eine Mediengeschichte des Δt “, www.locatingmedia.uni-siegen.de/christoph-borbach.

1. Wahrnehmungslei(s)tung und Kybernetik *avant la lettre*

Nachdem Hippolyte Louis Fizeau und Eugène Gounelle wenige Monate zuvor die Geschwindigkeit von Elektrizität in Kupfer- und Eisendraht gemessen hatten³, trat Hermann von Helmholtz Mitte des 19. Jahrhunderts an, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von elektrischen Impulsen nicht mehr in Metalleitern, sondern in Nervenfasern zu bestimmen. Die Helmholtz'sche Forschungsfrage, die nach experimentalpraktischer Antwort verlangte, lautete 1850 explizit, ob ein irreduzibles und damit messbares Zeitintervall, Δt , zwischen einem Reiz und seiner Wahrnehmung liege:

Vergeht eine angebbare Zeit bei der Beförderung einer solchen Nachricht, welche von den entfernten Enden der empfindenden Hautnerven oder den Nervenausbreitungen in den Sinnesorganen nach dem Gehirne hineilt, oder einer solchen, welche der Wille vom Gehirn durch die motorischen Nervenfasern zu den Muskeln hinsendet?⁴

Damit stößt die Phänomenologie an ihre Grenze, und es wird an der Wahrnehmungsleistung des Subjekts und damit am Subjekt selbst gerüttelt – zugunsten der temporalen Vermessung neurophysiologischer Wahrnehmungsleitungen. Dass „wir“ so etwas „an uns selbst“ noch nie wahrgenommen hätten, so Helmholtz, liege schließlich daran, dass es sich der Wahrnehmung entziehe, denn „wir [können] natürlich nicht schneller wahrnehmen (...), als unsere Empfindungsnerven, die nothwendigen Vermittler aller unsrer Wahrnehmungen, sie uns zukommen lassen“⁵. Das Nervensystem war somit schon in der Ausgangsfrage zum Kanalsystem geworden, welches die korporale Nachrichtenübertragung, also die Wahrnehmung, durch seinen irreduziblen Zeitindex temporal bedingt.

Emil du Bois-Reymond – nicht nur Kollege, sondern auch Freund von Helmholtz, mit Scheu vor allen, die nicht Physiologen waren,⁶ und der als vehementer Vertreter der *hard science* Goethes Faust nachrief, dieser hätte besser Elektrisiermaschine und Luftpumpe erfinden sollen⁷ – hatte bereits bewiesen, dass die Leitung von Reizen durch tierische Nerven „mit einer veränderten Anordnung ihrer materiellen Moleküle mindestens eng verbunden, vielleicht sogar wesentlich durch sie bedingt ist.“⁸ Dadurch wurden zwei Dinge klar. *Erstens*, dass

3. Hippolyte Louis Fizeau und Eugène Gounelle (1850). „Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität“. *Polytechnisches Journal* 117, S. 125–128.

4. Hermann von Helmholtz (1850). „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen, und ihre Anwendung für physiologische Zwecke“. *Koenigsberger naturwissenschaftliche Unterhaltungen* 2, S. 169–189, 181. Im Folgenden: Helmholtz (1850). „Zeittheile“.

5. Ebd.

6. Helmholtz in einem Brief an du Bois-Reymond vom 19.08.1849. *Dokumente einer Freundschaft. Briefwechsel zwischen Hermann von Helmholtz und Emil du Bois-Reymond 1846–1894*. Hg. v. Christa Kirsten (1986). Berlin: Akademie-Verlag, S. 85.

7. Emil du Bois-Reymond (1882). „Goethe und kein Ende“ (Rede bei Antritt des Rectorats der Königlichen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin am 15. October 1882). Berlin: Vogt.

8. Hermann von Helmholtz (1850). „Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven“. *Archiv*

im Gegensatz zur vormaligen Behauptung Johannes Müllers die Reizleitung im Nerven keine instantane sein kann. Müller ging zuvor sogar so weit, zu behaupten, dass es die Hilfsmittel zur Bestimmung der Fortpflanzungszeit von Reizen in Nerven wohl nie geben werde.⁹ Allerdings haben Impulse in Nerven genau wie auch der Schall in der Luft eine je konkret adressierbare Geschwindigkeit. Daran erinnerte auch Helmholtz und verortete seine Experimente in der epistemologischen Tradition der Konkretisierung der Schallgeschwindigkeit.¹⁰ *Zweitens*, dass biologische Nerven als elektrotechnische Leiter beschreibbar sind, wodurch Helmholtz' Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Impulsen in Nerven zu einem kybernetischen Vorhaben *avant la lettre* avanciert. Denn er maß nicht die immanente Zeitlichkeit von Kabeln, mithin technischen Systemen, sondern die Zeitlichkeit biologischer Nachrichtenübertragung – ganz gemäß dem Vorhaben Norbert Wieners, Kommunikation in Mensch und Maschine als einander ebenbürtig zu untersuchen.¹¹ So verglich Helmholtz explizit Nerven mit Drähten:

[S]o dürfen wir die Nervenfasern nicht unpassend mit den electricischen Telegraphendrähten vergleichen, welche einmal augenblicklich jede Nachricht von den äußersten Grenzen her dem regierenden Centrum zuführen, und dann ebenso dessen Willensmeinung nach jedem einzelnen Theile des Ganzen zurückbringen, um daselbst in Ausführung zu kommen.¹²

Wie der Körper die Wahrnehmung bedingt, untersuchte Hermann von Helmholtz zunächst am „alten Märtyrer der Wissenschaft“¹³: dem Frosch. Der Frosch war für seine Experimente geeignet, weil einerseits bei warmblütigen Tieren die Reizbarkeit der Muskeln nach dem Tod schnell abnimmt und andererseits Fischmuskeln wesentlich schwächer auf Reizungen reagieren.

für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin 27, S. 276–364, 331. Mit Hinweis auf: Emil du Bois-Reymond. *Untersuchungen über thierische Electricität*. Band II, Abschnitt 3, Kapitel IV, §4.

9. Franciscus Cornelis Donders (1868). „Die Schnelligkeit psychischer Prozesse“. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin* 35, S. 657–681, 660.

10. Helmholtz (1850). „Zeittheile“, S. 182.

11. Siehe beispielsweise das schon dem Titel nach programmatische Grundlagenwerk: Norbert Wiener (1948). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Cambridge: MIT Press.

12. Helmholtz (1850). „Zeittheile“, S. 181.

13. Hermann von Helmholtz (1845). „Ueber den Stoffverbrauch bei der Muskelaktion“. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin*, S. 72–83, 74.

Nun sind Frösche – wie im Übrigen auch Katzen¹⁴ – selten im Mediumszustand¹⁵; für den Elektrophysiologen Helmholtz sind Froschmuskeln aber Empfänger elektrischer Impulse und Nerven ihre Leiter. Sendet normalerweise das Froschhirn Impulse zur Erregung bestimmter Muskeln, kann dieser Vorgang auch durch die elektrische Reizung eines Muskels beziehungsweise seiner Nerven simuliert werden, wodurch das Froschgehirn für den Vorgang praktischerweise obsolet wird. Wo „Wille“ war, herrscht damit der „electrische Strom“¹⁶; der Froschmuskel zuckt ohne Impuls des zentralen Nervensystems, sondern auf Wunsch des Experimentators. Und dieser konnte zeigen, dass Zuckungen des Muskels später erfolgen, wenn die Reizung seines Nervens an einer Stelle geschieht, wo sie über eine weitere Nervenstrecke zum Muskel hin übertragen werden, und analog umgekehrt. Helmholtz schrieb dabei explizit von Muskeln als Empfängern¹⁷, und bei du Bois-Reymond wurden Froschbeine zu „stromprüfenden Froschschenkeln“¹⁸ – eine Formulierung, die eher an technische Messgeräte wie das Galvanometer¹⁹ denn an biologische Teile denken lässt.

-
14. Tiere werden allenfalls temporär zum Medium, wenn über Nervenbahnen dieselben Signale gesendet werden (können) wie beispielsweise über Telefondrähte und damit zwischen tierischen und technischen Systemen keine operative Differenz besteht: Im Jahr 1929 wiederholten Ernest Glen Wever und Charles W. Bray die Urszene des Telefons – nur ohne ein Telefon als Sender. Stattdessen verschalteten sie eine lebende Katze in das Telefonsystem, indem sie einen Teil des Katzenschädels und -gehirns entfernten, den freigelegten rechten Hörnerv mit einer Elektrode versahen und den Aktionsstrom im Nerven nach Klang-Stimulation des Ohres abnahmen. Nach Verstärkung wurden die durch die Katze empfangenen Signale, die ein Forscher dem Katzenohr mitteilte, durch einen Telefonempfänger in einem anderen Raum dem anderen Forscher wieder akustisch ausgegeben. Die Forscher stellten zur Tauglichkeit des Systems fest: „Speech was transmitted with great fidelity. Simple commands, counting and the like were easily received. Indeed, under good condition the system was employed as a means of communication between operating and sound-proof rooms.“ (Ernest Glen Wever und Charles W. Bray (1930). „Action Currents in the Auditory Nerve in Response to Acoustical Stimulation“. *Proceedings of the National Academy of Science* 16, S. 344–50, 345.) Das lebende Tier versorgte das elektroakustische System mit Energie und das Katzenohr stellte einen passablen Transducer dar. Nur das ‚die away‘ des Tiers galt zugleich für den zu übertragenen Ton. Hierzu auch: Jonathan Sterne (2009). „The Cat Telephone“. *The Velvet Light Trap* 64 (1), S. 83–84.
15. Hierzu Stefan Rieger (2008). „Der Frosch – ein Medium?“ In: Alexander Roesler und Stefan Münker (Hg.). *Was ist ein Medium?* Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 285–303.
16. Helmholtz (1850). „Zeittheile“, S. 182.
17. Ebd., S. 181
18. Emil du Bois-Reymond (1849). *Untersuchungen über thierische Elektricität. Zweiter Band. Dritter Abschnitt*. Berlin: G. Reimer, beispielsweise S. 87.
19. Über dieses heißt es beispielsweise bei James Clark Maxwell: „An instrument which indicates the strength of an electric current by its magnetic effects is called a Galvanometer.“ James Clerk Maxwell (1881). *A Treatise on Electricity and Magnetism. Vol. I. Second Edition*. London: Oxford University Press, S. 332.

„Die Wahrnehmung von Zeitunterschieden mittels unserer Sinne ohne Anwendung künstlicher Hilfsmittel ist keine sehr feine (...)“²⁰, so Helmholtz. Zumal nicht, wenn, wie es andererseits bei Aristoteles für die Epistemologie des Medialen sehr fruchtbar war, Zeitunterschiede von verschiedenen Sinnesorganen, beispielsweise Auge und Ohr, wahrgenommen werden. Bewusst wurde dies bereits in der Astronomie, wo Sterndurchläufe zeitlich exakt angegeben werden sollten. So berichtete der deutsche (unter anderem) Astronom Friedrich Wilhelm Bessel von der Differenz in der astronomischen Zeitbestimmung von Sterndurchgängen bei Messungen verschiedener Forscher, die durch mangelnde Synchronität von Auge (Stern mit Fernrohr fixieren) und Ohr (Pendelschlag einer Uhr hören) entstünden, sodass „kein Beobachter [...] sicher sein kann, absolute Zeitmomente richtig anzugeben.“²¹ Anders formuliert: Was bei dieser Zeitbestimmung zeitlich bestimmt wurde, war weniger das eigentliche Ereignis als vielmehr der Mensch mit seiner Persönlichen Gleichung, die Zeitdifferenzen zeitigt, die bei verschiedenen Forschern bis zu einer Sekunde betragen können.

Nehmen wir an, diese beiden [Extreme] wichen um gleich viel in entgegengesetztem Sinne von der Wahrheit ab, so folgt daraus, daß auch bei der sorgfältigsten Einübung und der größten Aufmerksamkeit, der Mensch sich in der Bestimmung der Gleichzeitigkeit einer Gesichts- und einer Gehörwahrnehmung mindestens um eine halbe Secunde irren kann.²²

Und auch wenn Signale über dieselben Sinnesbahnen übertragen würden, sei eine physiologische Unschärfe vorhanden, wie Helmholtz korrekt anmerkte und so das Dispositiv Kinematografie physiologisch implizierte. Wenn nämlich zwei optische Signale wie ein kurzes Blitzen unter 1/10-Sekunde hintereinander aufträten, „so verschmelzen beide Erscheinungen in eine (...)“²³, was sich an Farbenkreiseln empirisch überprüfen lasse. Das Ohr hingegen, so Helmholtz, sei wesentlich zeitkritischer und könne in der Sekunde bis zu 32 Stöße als separate Klangereignisse wahrnehmen; erst ab 32 Einzelschlägen stelle sich ein gleichmäßig anhaltender Ton ein, der höher wird, wenn sich die Zahl der diskreten Einzelschläge erhöht. Damit benannte Helmholtz, was später Frequenz heißen wird – ein Begriff, den es aber zur Mitte des 19. Jahrhunderts im musikalischen Kontext noch nicht gab. Menschliche Wahrnehmung ist damit eine dauernde, auf Seiten der *durée* im Sinne Henri Bergsons, wohingegen Messtechnik exakte Zeitpunkte adressierbar machen kann. Da der Fokus der Helmholtz’schen Experimentalforschung auf Mikrotemporalitäten lag, ergab sich für die Arbeitsutensilien seiner Experimente eine wesentliche Konsequenz. Zur physiologischen Methode musste

20. Helmholtz (1850). „Zeittheile“, S. 170.

21. Friedrich Wilhelm Bessel (1876 [1823]). „Persönliche Gleichung bei Durchgangsbeobachtungen“. In ders.: *Abhandlungen in drei Bänden. Band III*. Hg. v. Rudolf Engelmann. Leipzig, S. 300–304, 303.

22. Helmholtz (1850). „Zeittheile“, S. 170.

23. Ebd., S. 171.

es werden, den Menschen nicht mehr phänomenologisch zu beschreiben, sondern messtechnisch mit eben jenen „künstlichen Hilfsmitteln“ zu verorten. Die Verschaltung eines menschlichen Beobachters nämlich hätte Messergebnisse notwendigerweise verfälscht und es galt, was noch heute in der Ortungstechnik gilt: Die „Ungenauigkeit unserer Sinne“²⁴ setzt mechanischen Messanordnungen physiologische Grenzen.

Für die messtechnische Beantwortung seiner Forschungsfrage konnte sich Helmholtz – immer mit der Hilfe seiner Frau Olga²⁵ – zweier Zeitmessverfahren bedienen, die einem anderen Diskurs entstammten, die bereits bekannt waren und über die er 1850 ausführlich berichtete²⁶: einerseits ein Verfahren, das Zeit- als Raumunterschiede visualisiert, um Zeit- als Raumunterschied *messbar* zu machen²⁷, und andererseits ein Verfahren, das den Grad der Wirkung eines Stroms auf einen an einem Faden hängenden Magneten nutzt, dessen Schwingungsbogen sodann proportional zur Dauer des Vorgangs ist, wenn Anfang und Ende des zu messenden Vorgangs synchron zum Anfang und Ende des ‚zeitmessenden Stroms‘ sind.

2. Zeit- als Raumdifferenz

Erstere Methode war bereits von Werner von Siemens beschrieben und verbessert worden²⁸ und ist nicht in der Elektrophysiologie beheimatet, sondern im Militär. Um nämlich die Ballistik von Geschützkugeln zu berechnen, ist ein Wissen um ihre Fluggeschwindigkeit und die Dauer der Entzündung des Pulvers im Gewehrlauf notwendig. Werner von Siemens studierte drei Jahre an der Artillerie- und Ingenieursschule in Charlottenburg (damals bei, heute in Berlin) und war seit 1839 Leutnant in der preußischen Artillerie. Siemens' Zeitmesser war ein stählerner Zylinder, der um seine Achse rotiert, beziehungsweise eine Scheibe, die sich dreht, ähnlich wie es später Schallplatten tun sollten. Die Oberfläche der von ihm konstruierten Scheibe war untergliedert, beispielsweise in Winkelgrade.

24. Ebd., S. 174.

25. „Meine Frau [...] steht mir treulichst bei 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.“ Helmholtz in einem Brief an du Bois-Reymond vom 14.10.1849. In: *Dokumente einer Freundschaft. Briefwechsel zwischen Hermann von Helmholtz und Emil du Bois-Reymond 1846–1894*. Hg. v. Christa Kirsten (1986). Berlin: Akademie-Verlag, S. 88.

26. Helmholtz (1850). „Messungen über den zeitlichen Verlauf“ und Helmholtz (1850). „Zeittheile“.

27. Helmholtz (1850). „Zeittheile“, S. 173.

28. Werner Siemens (1847). „Ueber Geschwindigkeitsmessung“. *Fortschritte der Physik im Jahre 1845* 1, S. 47–72.

Die Drehgeschwindigkeit muss bekannt und mit einer Zeitreferenz synchronisiert sein, hier einem Uhrwerk mit Regelpendel, sodass die Scheibe beispielsweise in einer Sekunde eine vollständige Umdrehung um 360° vollzieht. Wenn nun eine kleine Schreibspitze zwei diskrete Markierungen auf der Scheibe macht, ist die Zeit, die zwischen beiden Markierungen vergangen ist, bei bekannter Rotationsgeschwindigkeit aus der Summe der zwischen ihnen liegenden Winkelgrade ableitbar.

So weit war das 1845 bekannt und wurde zur Zeitmessung praktiziert. Das Novum Siemens' in der Verbesserung des Systems bestand darin, auf Mechanik zu verzichten und die Zeitschreibung nicht mehr mit Schreibstiften zu lösen²⁹, sondern „die Electricität selbst zeichnen zu lassen“³⁰, um somit die Messung auf ihren dromologischen Grenzwert, nämlich die Geschwindigkeit von Electricität, zu bringen. Was nun blitzte, provozierte keinen Donner mehr, sondern war elektrischer Funke: Nunmehr zeichnete kein Stift, sondern 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 verschaltet, 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.³¹

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 sich die Kontraktion eines Froschmuskels selbst, wie schon bei Siemens die Electricität selbst ‚zeichnete‘. In Ermangelung fotografischer 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.³² Hierfür war in einer Konstruktion über

29. Wird ein Schreibstift von einem magnetisierten Elektromagneten über der rotierenden Scheibe in der Schwebe gehalten, fällt seine Spitze auf eben jene Scheibe und hinterlässt eine (Zeit-)Linie gemäß der Drehung der Scheibe, wenn der Strom unterbrochen wird. Diese Unterbrechung kann dadurch provoziert werden, dass eine Geschosskugel während des Fluges Netze von Drähten durchschießt, die zur Stromleitung gehören. Letztlich war aber die Fallgeschwindigkeit des Stifts eine nicht auslöschbare Größe, die allenfalls Messungen bis zu einer Exaktheit von $1/60$ Sekunde erlaubte.

30. Helmholtz (1850). „Zeittheile“, S. 175.

31. Werner Siemens (1847). „Ueber Geschwindigkeitsmessung“, S. 66.

32. Helmholtz (1850). „Messungen über den zeitlichen Verlauf“, S. 284.

Zwischenstücke ein Gewicht an einen Froschmuskel gehängt. Eines dieser Zwischenstücke trug an einem Querarm eine Stahlspitze, die auf einer fortbewegten, angeruhten Glasplatte oder auf einem rotierenden Zylinder zeichnete, deren Bewegung durch das Sinken eines Gewichts bewirkt wurde, die zwar nicht konstant, in Relation zur Kurzzeitigkeit des zu beobachtenden Ereignisses aber vernachlässigbar war. Wird nun ein in die Apparatur eingehängter Froschmuskel elektrisch gereizt, wird 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.“³³ 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.

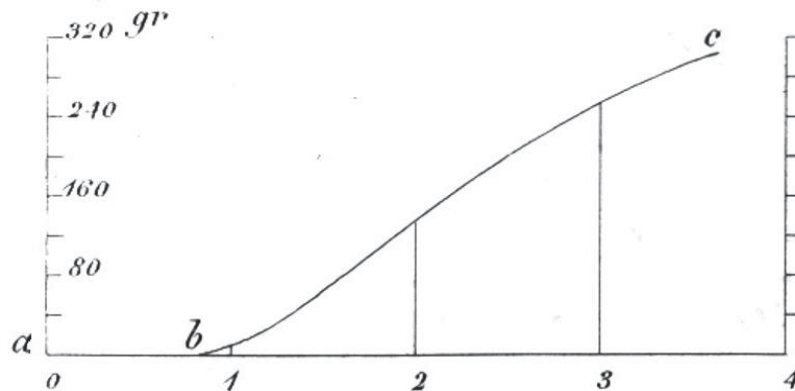


Abb. 1.

Die Kurve (Abb. 1) zeigt die Kontraktion des Froschmuskels nach direkter Reizung auf Basis der dadurch bewirkten Erhebung des Gewichtes. Die einzelnen vertikalen Linien markieren Zeitdifferenzen zwischen 0,03 und 0,04 Sekunden. Mit dieser Kurve war einerseits bewiesen, dass die Froschmuskelkontraktion mit einer Latenzzeit behaftet ist, andererseits, dass Froschmuskeln nicht binär in den Zuständen „zucken“ und „nicht zucken“, sondern im Kontinuum kontrahieren und mit einer Anstiegszeit (*rise time*) behaftet sind – ein Begriff, der in der Digitaltechnik auf das physikalisch irreduzible Zeitintervall zwischen Erreichen (*rise*) und Verlassen (Abfallzeit, *fall time*) des geladeneren Zustands (der numerisch abstrahierten 1) referiert. Aufgrund der *rise time* musste Helmholtz daher eine Reihe von Reizungsexperimenten durchführen, um zu beweisen, dass die verschiedenen Stufen der Zuckung des Froschmuskels um ein relatives Δt später einsetzen, wenn die Nervenstrecke (=Kanallänge) eine größere ist und somit ein konkreter Faktor *c* ermittelt werden kann, der die Nervenleitgeschwindigkeit benennt. Und „[d]as“, so Helmholtz, „findet sich aber in der That so.“³⁴ Nur ließ es sich noch nicht mit seiner ersten, einfachen Experimentalmethode nachweisen.

33. Ebd., S. 281.

34. Helmholtz (1850). „Zeittheile“, S. 183.

3. Zeitmessender Strom

Da das bisher beschriebene Messverfahren 1850 noch nicht sehr exakte Messergebnisse zeitigte und vor allem nicht der exakten Adressierung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Nervenfasern dienen konnte, nutzte Helmholtz dafür 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. Diese Zeitmessmethode übersetzte nicht mehr Zeit- in chronografische Raumunterschiede, sondern machte die Dauer durch die Intensität des Ausschlags einer Galvanometernadel errechenbar.

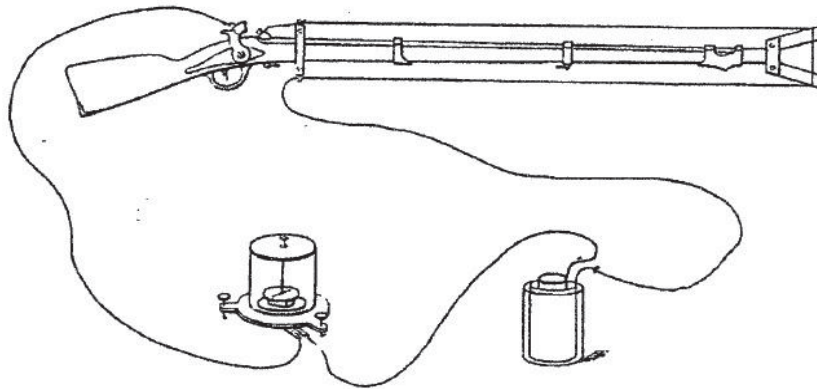


Abb. 2: Zeitmessung mit Pouillet'scher Methode³⁵. Durch das Betätigen des Abzugs des Gewehrs wird ein Stromkreis von bestimmter Intensität geschlossen. Der Austritt der Kugel aus dem Gewehrlauf durchschlägt den Stromkreis wiederum, indem er einen Draht durchtrennt. Der Ausschlag der Galvanometernadel (unten links im Bild) ist der Referent für das Δt . Abbildung aus einer zeitgenössischen Quelle.

Helmholtz maß mit der Methode die elektromagnetische Wirkung einer Kupferdrahtspule auf einen an einem Kokonfaden schwebenden Magneten³⁶, wobei sich die Kupferdrahtspule eben nur dann wie ein Magnet verhält, wenn sie elektrisiert ist. Sobald nun ein Strom durch die Spule in Helmholtz' idealisierter Beschreibung fließt, zieht diese einen Pol des Magneten an. Ist die Kupferdrahtspule nicht mehr elektrisiert, hat sie auch keine Wirkung mehr auf den Magneten, welcher nun „regelmäßige Schwingungen“ macht, „deren Größe sich nur äußerst langsam ändert und daher mit voller Muße bestimmt werden kann.“³⁷

35. Claude Pouillet (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“. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* 19, S. 1384–1389.

36. Helmholtz (1850). „Zeittheile“, S. 178.

37. Ebd.

Müller's Archiv 1840.

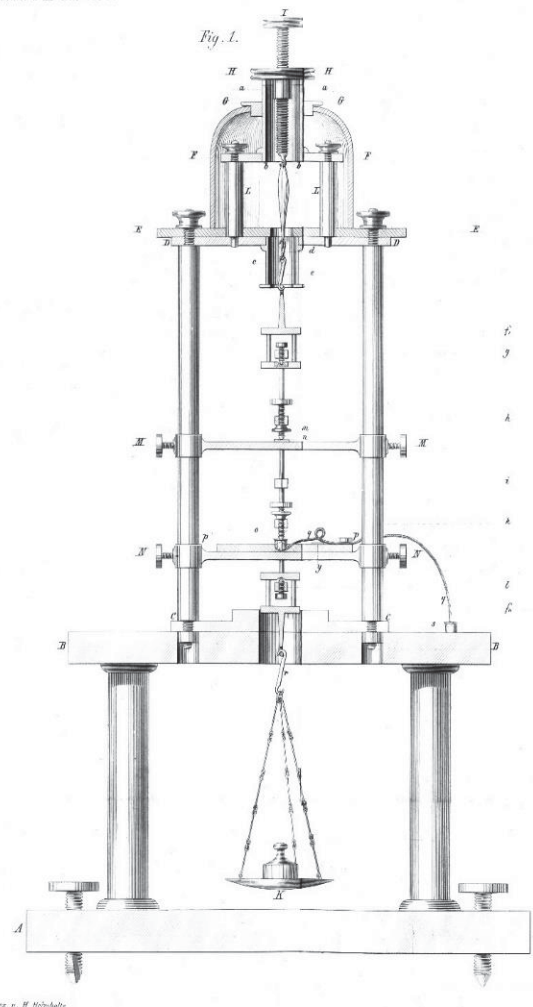


Abb. 3.

Durch Beobachtung der Stärke des Schwingungsbogens lässt sich ableiten, wie viel Strom durch die Drahtspule floss, die wiederum Auswirkungen auf den Magneten hatte – mit anderen Worten: wie lange die Drahtspule von Strom durchflossen wurde. Damit war elektrischer Strom zum „zeitmessenden Strom“³⁸ geworden.

Das kritische Moment lag wiederum in der Kopplung von zeitmessendem mit muskel- bzw. nervenreizendem Strom und damit in der exakten Synchronität von Zeitmessung und zu messendem Ereignis. Die Lösung war, den zeitmessenden Strom zu beginnen, wenn ein elektrischer Schlag auf die Froschnerven wirkte, und zu beenden, wenn eine andere Leitung und damit ein Stromkreis durch eine gewisse Kontraktionsstärke des Muskels unterbrochen wurde. Dabei konnte durch ein anhängendes Gewicht bestimmt werden, welche Spannung die Muskelkontraktion erreichen musste, um die stromleitenden Metalle voneinan-

38. Ebd., S. 179.

der zu trennen. Helmholtz lieferte eine Abbildung der Apparatur (Abb.3): Vereinfacht beschrieben, realisiert ein Teil der apparativen Methode einen Stromkreis. Wird dieser Stromkreis, der ‚zeitmessende Strom‘, geschlossen, bewirkt dies (durch eine andere Konstruktion, die Helmholtz Wippe³⁹ nannte), dass ein zweiter Stromkreis geöffnet wird und ein sehr kurzer Induktionsstrom auf den Froschmuskel bzw. -nerv wirkt. Die anschließende Kontraktion des Froschmuskels selbst wiederum bewirkt, dass der Stromkreis des ‚zeitmessenden Stroms‘ wieder geöffnet wird. Die Zeit zwischen Reiz-Impuls und Muskelkontraktion ist dann entsprechend die Zeit, in welcher eine Spule auf einen an einem Faden hängenden Magneten wirkte, dessen Schwingungsintensität dann in die Wirkdauer der Spule auf den Magneten umgerechnet werden kann.

Um die Fortpflanzungszeit des Reizimpulses durch Froschnerven von der ‚latenten Phase der Muskelreizung‘ unterscheiden zu können, galt es, den Muskel direkt und indirekt über Nerven zu reizen und die dabei entstehende Zeitdifferenz zu bestimmen. In der von Helmholtz gelieferten Abbildung (Abb. 4) sind daher Drähte (*v*) entweder direkt mit dem Froschmuskel oder einer zum Froschmuskel (*L*) führenden Nervenfaser (*w*) verbunden:

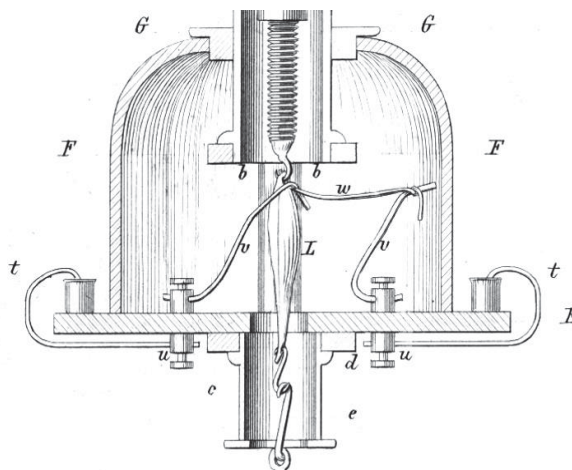


Abb. 4.

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.⁴⁰

Grund dafür mussten die Nerven selbst sein. Damit ist die Kanallänge also – das sollte heutzutage wenig erstaunen – proportional zur Übertragungszeit, ihr Index.

39. Hermann von Helmholtz (1850). „Messungen über den zeitlichen Verlauf“, S. 295.

40. Ebd., S. 328.

Dabei erinnerte Helmholtz immer wieder an die zeitkritischen Bedingungen, denen wiederum seine apparative Messmethode selbst unterlag. Denn zwar mochte der operationalisierte Induktionsstrom eine Dauer gehabt haben, die „verschwindend klein“⁴¹ ist, aber dennoch ist sie genau dies: eine Dauer. Um zeitkritische Bedingtheit zu erforschen, widmete sich Helmholtz unweigerlich der zeitkritischen Bedingung, denn die Helmholtz'sche Verzeichnung des Realen ist derart mikrotemporal, dass er die Skalierung des Δt und damit den Maßstab des Temporalen überall dort verfeinerte, wo er die Grenze der Feinheit bisheriger Beobachtungen überschritt.⁴² Bevor also Messergebnisse als valide gelten konnten, musste Helmholtz zunächst 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.“⁴³ Durch experimentelle Messreihen limitierte Helmholtz den Fehlerwert auf $1/400$ des Gesamtwertes und ermittelte als Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den Nerven des Frosches 26,4 Meter, also rund 80 Fuß, in der Sekunde und somit eine für Helmholtz unerwartet geringe Geschwindigkeit von lediglich rund einem Zehntel der Schallgeschwindigkeit in der Luft.⁴⁴

Für den Menschen nahm Helmholtz eine Nervenleitgeschwindigkeit von 60 Metern pro Sekunde an, plus eine Prozessierungszeit im Gehirn in Höhe von einer Zehntelekunde. Die Messungen dieser Zeit nahm Helmholtz mit ähnlichen Apparaturen vor, wie er sie für Froschnerven nutzte. Versuchspersonen wurden leichte Elektroschläge gegeben und die Probanden mussten anschließend diesen qua bestimmter Hand- oder Zahnbewegung anzeigen. So zeitbehaftet diese menschliche Reaktion wiederum sein mag, kann dennoch bei ordentlich konditionierten Probanden die Reizleitungsgeschwindigkeit bestimmt werden, wenn Reaktionszeiten identisch sind, aber nicht die Stelle der originären Reizung. „Es ergibt sich z.B., daß eine Nachricht vom großen Zehen etwa $1/30$ Secunde später ankommt, als eine vom Ohr oder Gesicht.“⁴⁵ Zum Glück, so Helmholtz, seien die menschlichen Nervenbahnen kurz, welche Eindrücke übertragen, „sonst würden wir mit unserm Selbstbewußtsein weit hinter der Gegenwart und selbst hinter den Schallwahrnehmungen herhinken“⁴⁶. Die annähernde zeitliche Kongruenz zwischen einem Ereignis und seiner Wahrnehmung, also die annähernde Synchronität von Aktion (Reiz auf der Haut), Übertragen (der Reizinformation durch

41. Ebd., S. 296.

42. Ebd.

43. Ebd., S. 296–297.

44. Helmholtz (1850). „Zeittheile“, S. 184–185.

45. Ebd., S. 187.

46. Ebd., S. 189.

Nervenbahnen), Empfangen (derselben im Gehirn) und Prozessieren (der Information im Gehirn) fällt in ein Δt , das es für alltägliche Erfahrung zu vernachlässigen gilt.⁴⁷

4. Zeitverkürzung. Die Ökonomie der Kurven

Der Nachteil des Pouillet'schen Verfahrens war, dass für valide Experimentalergebnisse lange Reihen von Messungen notwendig waren, weshalb Helmholtz schließlich sein ursprüngliches Vorhaben in die Tat umsetzte, nämlich die Verbesserung des ersten Messverfahrens. Sein erklärtes Ziel war es ab 1850, einen Apparat zu konstruieren, der Ergebnisse binnen weniger Minuten zur Evidenz bringt. Für diesen war seine erste Messmethode nach Werner von Siemens (die Visualisierung von Zeit- als Raumunterschied) bloß Grundlage, um die Anwendbarkeit eines chronografischen Verfahrens überhaupt zu testen. Schon 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.“⁴⁸ Zwei Dinge waren hierbei kritisch: Die Kurzzeitigkeit des elektrischen Reizimpulses und die konstante Rotationsgeschwindigkeit einer Schreibfläche, die bei der vorherigen Realisierung mit sinkendem Gewicht nicht gegeben war.

Die Drehung der Schreibfläche seines verbesserten Apparats, über den er 1852 berichtete, wurde durch ein Uhrwerk, ein Kegelpendel mit 6 Umdrehungen pro Sekunde, bewirkt. Zudem verfügte der Apparat über eine Vorrichtung zur „rechtzeitigen Auslösung des elektrischen Schlages“⁴⁹. Die Aufhängung des Froschwadenmuskels und der Froschnerven folgte dabei der schon im Jahr 1850 gezeigten Abbildung. Auch hier war das kritische Zeitmoment der elektrische Reizimpuls und dass dieser mit dem Beginn der Kurvenzeichnung synchronisiert sein musste, damit die Verzögerung durch längere Nervenleitung als vertikaler Raumunterschied auf der Abszissenachse der Kontraktionsvisualisierung deutlich wurde. Helmholtz löste dies durch eine vergleichsweise simple mechanische Konstruktion (Abb. 5):

47. Nach Helmholtz sollten andere die Bestimmung der Reizleitungsgeschwindigkeit im Menschen fortsetzen, siehe beispielsweise: Rudolf Schelske (1864). „Neue Messungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Reizes in den menschlichen Nerven“. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, S. 151–173. Siehe auch Hermann von Helmholtz (1867). „Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Menschen, welche Hr. N. Baxt aus Petersburg in dessen Laboratorium ausgeführt hat“. *Monatsbericht der königlichen preußischen Akademie der Wissenschaften*, S. 228–234.

48. Brief vom 17.09.1850. In: *Dokumente einer Freundschaft. Briefwechsel zwischen Hermann von Helmholtz und Emil du Bois-Reymond 1846–1894*. Hg. v. Christa Kirsten (1986). Berlin: Akademie-Verlag, S. 106.

49. Hermann von Helmholtz (1852): „Messungen über Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven“. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, S. 199–216, 200.

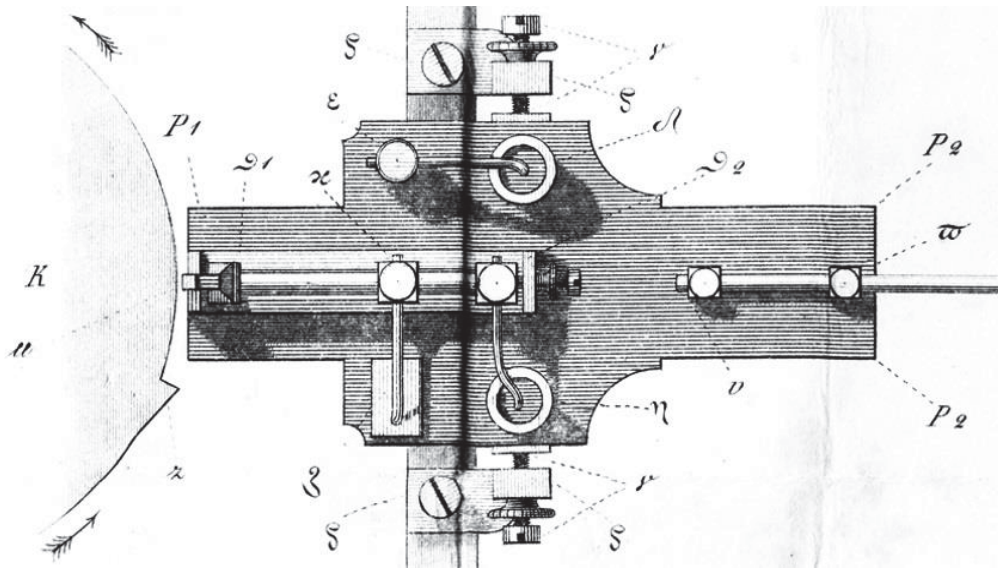


Abb. 5

Die Abbildung zeigt in der Draufsicht eine Drehscheibe K (links im Bild), die parallel zur Unterfläche eines Drehzylinders, der Zeichenfläche, angebracht ist und durch das gleiche Uhrwerk wie der Zylinder betrieben wird, wodurch beide synchron laufen. Stößt nun pro vollständiger Umdrehung der Scheibe (was wiederum einer Drehung des Zylinders entspricht) der Daumen z an Hebel u (links im Bild), wird ein Stromkreis unterbrochen. Dadurch wiederum wird eine Drahtspirale stromlos und in einer zweiten, in der ersten Drahtspirale befindlichen Drahtspirale ein induzierter Strom erzeugt. Diese zweite Drahtspirale steht in Verbindung mit den zu reizenden Nerven. Helmholtz hatte bereits in seiner Schrift „Über die Dauer und den Verlauf der durch Stromschwankungen inducirten electrischen Ströme“⁵⁰ nachgewiesen, dass zwischen der Unterbrechung des induzierenden und der Entwicklung des induzierten Stroms „keine messbare Zeit vergeht“⁵¹ und dieser daher als instantan angesehen werden kann. Vereinfacht gesagt: Der Moment der Berührung von Daumen z und Hebel u fällt exakt mit dem Zeitpunkt der Nervenreizung zusammen. Wird hierbei die Position des Zeichenstiftes am Zylinder nicht verändert, befindet sich dieser zu jedem Reizimpuls an exakt derselben Position auf der Zeichenfläche. Bleiben nun – wie bei Experimentalordnungen üblich – alle Parameter gleich und wird nur einer verändert, kann die Anordnung valide Ergebnisse zeitigen: Wenn mit diesem Setting

50. Hermann von Helmholtz (1851). „Ueber die Dauer und den Verlauf der durch Stromschwankungen inducirten elektrischen Ströme“. *Annalen der Physik* 83, S. 505–540.

51. Hermann von Helmholtz (1852): „Messungen über Fortpflanzungsgeschwindigkeit“, S. 208.

zunächst der Froschmuskel direkt und daraufhin indirekt über Froschnerven gereizt wird, erscheint die Reizlaufzeit im Kanal (Nerv) chronografisch als Phasenverschiebung.

Damit war ein kanalzeitlicher Aussageraum in der Physiologie um 1850 messtechnisch geschaffen, aus dem nicht mehr nur symbolisch, sondern auch grafisch „Gleichzeitigkeit *kat'exochen* verbannt“ wurde.⁵² „Sie *sehen*“, fügt Helmholtz an anderer Stelle über die Messung von Lichtgeschwindigkeit, nämlich Foucaults und Fizeaus Drehspiegelversuchen, an, „daß die Mikroskopie der Zeit die des Raums bei weitem überflügelt hat.“⁵³ Der Begriff der Mikroskopie ist an dieser Stelle weniger metaphorisch als er anmutet, referiert er schließlich etymologisch auf *skopein* für betrachten und benennt zweitens Objekte, die für das menschliche Auge Unsichtbares sichtbar machen und somit, was Mitte des 19. Jahrhunderts eine exakte Zeitmessung ohne lange Messreihen nach Pouillet'scher Methode notwendigerweise noch war: eine Visualisierung, die daher tatsächlich auch ‚*gesehen*‘ werden konnte (Abb. 6).

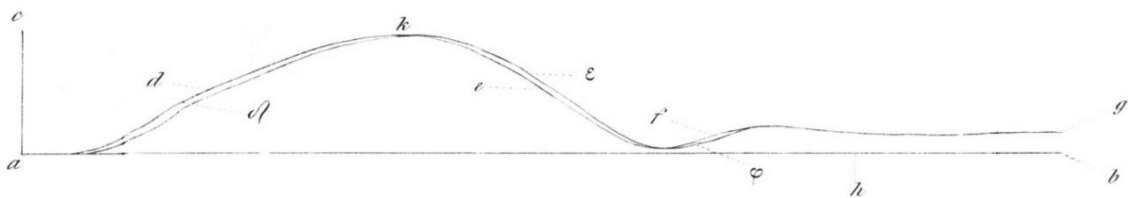


Abb. 6.

Die Entfernung zwischen *a* und *h* entspricht einer Umdrehung der Schreibfläche und damit 1/6 Sekunde. Entsprechend können nun Raum- als relative Zeitunterschiede abgemessen werden. Die Horizontallinie zwischen *a* und dem Beginn der Kurve entspricht der latenten Phase der Muskelreizung. Die räumliche Differenz der beiden Kurven hinsichtlich der Abszissenachse (technisch formuliert: die Phasenverschiebung) entspricht der Laufzeit eines Impulses durch den Froschnerv (Kanalzeit).

5. Chronogrammatologie. Wissenschaft der Zeit-Schrift

Helmholtz' Zeitkurven übersetzten Ereignisse in ihrer Zeitlichkeit also nicht allein in eine bildliche Form, sondern qua Koordinatensystem in die Sphäre des Berechenbaren, des Adressierbaren. Zeitpunkte bekamen nun Adressen, und zwar tatsächlich als Punkte, die wiederum bei bekannter Zeitrelation in exakte Zahlenwerte übersetzt werden konnten. Damit wurden Ereignisse in ihrer Zeitlichkeit über den (Um-)Weg der Visualisierung in das Reich des Symbolischen

52. Christian Kassung und Albert Kümmel (2003). „Synchronisationsprobleme“, in: Albert Kümmel und Erhard Schüttpelz (Hg.). *Signale der Störung*. München: Wilhelm Fink, S. 143–166, 145.

53. Helmholtz (1850). „Zeittheile“, S. 177. Kursivsetzung C.B.

übersetzt. Dabei handelte es sich bei der Visualisierung um ein Verzeichnen von Zeitereignissen, wobei der Begriff buchstäblich als *Ver-Zeichnen*, mithin Schrift, gelesen werden muss, womit deutlich wird, dass es sich um Zeichen, Signifikanten handelte, die auf Signifikate – Froschmuskeln und -nerven – verwiesen. Schrift war hier tatsächlich Spur, nämlich die Spur einer mit dem Froschmuskel, im Sinne Fritz Heiders, fest gekoppelten Schreibspitze auf einer beruhten Oberfläche.

Zudem verweisen die Kurvenzeichen als Signifikanten nicht nur auf Signifikate, sondern als Kurven und damit neue visuelle Erkenntnisform zuallererst auf die technischen Verfahren, die ihnen als Bedingung zugrunde liegen. Auch hier ist die Frage nach der Schrift verwoben mit der Frage nach der Technik, und zwar mit einer Technik im Dienst der Chronografie *als Sprache*.⁵⁴ Denn zwar mag sich hier ein Vorgang selbst geschrieben haben, allerdings nur mithilfe eines komplexen Verfahrens und in einem Aufschreibesystem, welches erst konzipiert werden musste. Damit sind oder geben die Kurvenbilder kein *Ab-Bild* des Lebens, sondern sind zunächst Bilder, die das verwendete technische Verfahren *be-zeichnen*.

Wenn ein Zeichen für etwas anderes steht (so die basale Definition von Zeichen), verweisen die Kurven von Hermann von Helmholtz aber nicht nur auf ihre technische Bedingung, sondern auch auf Zeit, und werden dadurch zu Zeitzeichen. Die Wissenschaft von der Schrift, Grammatologie, ist damit zur Chronogrammatologie geworden: zu einer Wissenschaft von Zeichen der Zeit, einer Wissenschaft von *Zeit-Schrift*. Zugleich sind die sich selbst zeichnenden Kurven eine Antwort auf ein Speicherproblem, nämlich die Übertragung wissenschaftlicher Bilder nicht nur über Raum, sondern auch über die Zeit hinweg. Denn, wie Helmholtz trocken feststellte, „[d]ie so angefertigten Zeichnungen kann man aufbewahren.“⁵⁵ Während die Pouillet'sche Methode noch nach Ablesen und Notation verlangte, um Ausschläge der Galvanometernadel zu speichern, fielen bei Helmholtz die Erzeugung von Daten und ihre Speicherung in eins.⁵⁶

Und dennoch sind die so entstandenen Kurven alles andere als evident, denn ohne Helmholtz, der an diesen Kurven chronogrammatologische Operationen durchführte, mögen sie die Reizleitungsgeschwindigkeit zwar *be-zeichnen*,

54. „Technik im Dienst der Sprache: wir berufen uns hier nicht auf ein allgemeines Wesen der Technik, das uns bereits vertraut wäre und uns helfen könnte, den engen und historisch determinierten Begriff der Schrift exemplarisch zu *begreifen*. Wir sind im Gegenteil davon überzeugt, daß eine bestimmte Art der Frage nach dem Sinn und dem Ursprung der Schrift einer bestimmten Art der Frage nach dem Sinn und dem Ursprung der Technik vorangeht oder daß beide zumindest ineinander übergehen.“ Jacques Derrida (1974). *Grammatologie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 19.

55. Hermann von Helmholtz (1852): „Messungen über Fortpflanzungsgeschwindigkeit“, S. 211.

56. Hierzu auch: Wolfgang Schäffner (2003): „Mechanische Schreiber. Jules Etienne Mareys Aufzeichnungsmaschinen“. In: Bernhard Siegert und Joseph Vogl (Hg.). *Europa: Kultur der Sekretäre*. Zürich/Berlin: Diaphanes, S. 221–234.

aber nicht explizieren. Hierfür waren das Wissen um die Rotationsgeschwindigkeit der Schreibfläche und somit um die Zeitreferenz der Kurve, ein Wissen um das, was die Kurve eigentlich bezeichnete, das Auslesen der exakten Phasenverschiebung und vieles mehr nötig. Sinnfällig wurden die Kurvenbilder erst durch ihre chronogrammatologische Lesung beziehungsweise Vermessung und Umrechnung in numerische Werte. Damit mag die experimentelle Konkretisierung der Reizleitungsgeschwindigkeit in Froschnerven zwar ein Fakt sein, verweist aber auf ein artefaktisches und somit künstliches, nämlich technisches Wissen. Physiologie war chronogrammatologische Messtechnik geworden, die zwischen biologischen Fakten und technischen Artefakten oszilliert.⁵⁷

6. Ergebnis vs. Botschaft

Das Ergebnis der geschilderten Experimente ist die Konkretisierung von Reizlaufzeiten. Oder umgekehrt: Helmholtz war angetreten, Nervenfasern als flüchtige Speicher zu beschreiben und die Speichereigenschaften von biologischen Subjekten zu messen, und konnte herausfinden, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Impulsen in Nervenfasern durchaus sehr gering ist. Die Botschaft der Experimente – im Sinne Marshall McLuhans – ist aber eine andere als die Adressierung und Konkretisierung der Nervenleitgeschwindigkeit. Sicher gibt es über die Helmholtz-Experimente viel von Seiten der Wissenschaftsgeschichte, der Physiologie, den Animal Studies, den Gender Studies, der Techniksoziologie, der Praxeologie usw. zu sagen. Medienwissenschaftlich bedeutend sind vor allem zwei Dinge: die Verwendung von Messapparaturen als Kalkül und die Erzeugung und Erscheinung des Reizimpulses.

Erstens. Die medienwissenschaftliche Brisanz des Helmholtz'schen Frosch-Experiments liegt in der basalen Erkenntnis begründet, dass Messtechniken dem Menschen mit seiner irreduziblen Reaktionszeit überlegen sind, wenn es um das möglichst unverfälschte Aufschreiben von Zeit-Ereignissen geht. Wo technische Medien schlicht, und das heißt exakt, messen und registrieren, liegt die menschliche Qualität allein im Interpretieren (entgegen der Gottfried Benn'schen Vision eines Radardenkers). Damit mikrotemporale Ereignisse überhaupt erst wiss- und analysierbar werden konnten, mussten sie ‚stillgestellt‘ werden – ganz im Sinne des Begriffs *Chrono-Grafie* als solchem. Dabei verband Helmholtz apparatives Vorwissen aus der Ballistik mit dem Diskurs der Selbstschreibeapparaturen und überführte diese damit, ganz im Gegensatz zu beispielsweise Carl Ludwigs Pulsschreiber zuvor, in die Sphäre des Zeitkritischen und über den Weg der Visualisierung in den Bereich des Berechenbaren. Helmholtz'

57. Hierzu auch: Bruno Latour (1987). *Science in Action. How to Follow Scientists and Engineers through Society*. Cambridge: Harvard University Press, insb. S. 79.

Experimente sind daher Teil eines im 19. Jahrhundert gründenden „neue[n] Dispositivs von Wahrheitsprozeduren“⁵⁸, die Messtechniken sind und die Differenz von naturwissenschaftlichem Verzeichnen, Messen, Rechnen und geisteswissenschaftlichem Erklären eröffnen.

Mit dieser Ausdifferenzierung ging einher, dass die Verzeichnung des Lebendigen nicht länger den alphabetischen „Engpaß des Signifikanten“⁵⁹ durchlaufen musste, der für alle Informationen des alphabetischen Monopols der Gutenberg-Galaxis normativ war, sondern eine indexikalische *Zeit-Schrift* des Realen ist, die das Leben nicht mehr alphabetisch, sondern zunächst grafisch und auf dieser Basis schließlich numerisch adressiert. Damit findet sich das vermeintliche Aufschreibesystem 1900⁶⁰ mitten *im* 19. Jahrhundert wieder. Messtechnik ermöglichte in den geschilderten Experimentalanordnungen reflexiv eine neue Wahrnehmung, nämlich eine Wahrnehmung menschlicher Wahrnehmung, und zwar auf dem medientechnischen Stand der Mitte des 19. Jahrhunderts. Damit war Wissen um den Menschen vom Wissen des Biologischen oder Physiologischen zum Wissen des Technischen geworden, nämlich zum Wissen um Verfahren und Methoden zeitkritischer Messung: Die Zeitlichkeit von Fühlen und Wahrnehmen wurde qua messtechnischem Artefakt zur Nervenleitgeschwindigkeit *c* als konkretem Fakt, womit das Wissen um Reizleitungsgeschwindigkeit ein Wissen des Artefaktischen ist bzw. neue Tatsachen durch *Tat-Sachen*, technische Objekte, bedingt waren. Die Physiologie als „Wissenschaft von den Lebenserscheinungen der Organismen“, so zugleich der eröffnende Satz von Wilhelm Wundts *Lehrbuch der Physiologie des Menschen*⁶¹, wurde dabei zum Diskurs von Apparaten, Batterien, Schaltkreisen und neuen Aufschreibeverfahren.

Zweitens. Der Helmholtz'sche Reizimpuls hatte eine explizit mikrotemporale Erscheinung, nämlich „von verschwindend kleiner Dauer“⁶²; das heißt, die Dauer des Reizimpulses ist in Relation zum zu beobachtenden Zeitereignis vernachlässigbar. Schon in der Beschreibung der einfachen Apparatur zeigte sich, dass Helmholtz, bevor er überhaupt experimentierte, zunächst die Experimentalanordnung selbst zeitkritisch bestimmte, denn die Dauer dieses Impulses

58. Hierzu: Bernhard Siegert (1999). „Das Leben zählt nicht. Natur- und Geisteswissenschaften bei Wilhem Dilthey aus mediengeschichtlicher Sicht“, in: Claus Pias (Hg.). *[me'dien] i. Dreizehn Vorträge zur Medienkultur*. Weimar: VDG, S. 161–182, 171.

59. Friedrich Kittler (1986). *Grammophon Film Typewriter*. Berlin: Brinkmann & Bose, S. 12. Für Kittler ist im Aufschreibesystem 1800 daher „Sprache überhaupt bloßer Kanal.“ (Friedrich Kittler (1985). *Aufschreibesysteme 1800/1900*. München: Fink, S. 140). Ein solch metaphorischer Gebrauch des Begriffs „Kanal“ ist unangemessen und kann für die vorliegende Arbeit nicht förderlich sein.

60. Friedrich Kittler (1985). *Aufschreibesysteme 1800/1900*. München: Fink.

61. Wilhelm Wundt (1873). *Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Dritte völlig umgearbeitete Auflage*. Erlangen: Ferdinand Enke, S. 1.

62. Helmholtz (1850). „Messungen über den zeitlichen Verlauf“, S. 277.

konnte Helmholtz als wesentlich kleiner als $1/600$ Sekunde angeben.⁶³ An anderer Stelle heißt es:

Da es mir wesentlich auf eine *möglichst kurze Dauer ankam*, wählte ich zur Reizung der Muskeln den bei der Unterbrechung des primären Stromes inducirten secundären, und brachte kein Eisen in die Spiralen, weil durch dessen Anwesenheit die Wirkung zwar sehr verstärkt, aber auch verzögert wird.“⁶⁴

Selbstredend sind die Fokussierung von Mikrotemporalitäten und die Generierung ultrakurzer Impulse im historischen Kontext keine alleinigen Erfindungen von Helmholtz, sondern auch bei beispielsweise Pouillet aufzufinden⁶⁵; dennoch fällt dies bei Helmholtz sehr akribisch aus.

Um an dieser Stelle einen Ausblick zu geben, was an den geschilderten Verfahren der Zeitmessung für eine zu schreibende „Mediengeschichte des Δt “ auch heute noch aktuell ist: Im historischen Kurzschluss sollte die elektrische, mithin medientechnische Erzeugung mikrotemporaler Impulse Jahrzehnte nach der Helmholtz’schen Experimentalforschung in einem komplett anderen Diskurs brisant werden – einem Diskurs, in dem es nicht mehr galt, Fortpflanzungsgeschwindigkeiten c zu wissen, sondern bei bekanntem c durch ein Zeitintervall Raum, also Kanal, zu bestimmen. Mit anderen Worten, in einem Diskurs, der die Logik des Helmholtz’schen Experiments operativ invertiert: der aktiven Ortungstechnik. Bei bekannter Impuls-Ausbreitungsgeschwindigkeit im jeweiligen physikalischen Medium wird in der aktiven Ortungstechnik die Zeit zwischen Senden und Wiederempfangen eines Impulses gemessen, wobei das dabei gezeitigte Zeitintervall (Δt) zum Referenten des durchschwungenen Raums wird, also der Länge des Kanals.

Der Diskurs und historische Kontext der Ortungstechnik mag ein anderer sein als der der Elektrophysiologie um 1850. Die Episteme der Techniken, die einerseits Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Froschnerven, andererseits Entfernungen elektromagnetisch messbar machen (Radar), sind allerdings dieselben. Beiden ist gemein, dass sie Messverfahren sind, die zuallererst Zeitintervalle, also das Δt , bestimmen. Dies war durchaus auch im zeitgenössischen Kontext früher Ortungsgeräte bekannt. So heißt es beispielsweise im Handbuch eines der ersten deutschen Radargeräte, dem Freya-Gerät: „*Meßtechnisch gesehen ist die Entfernungsmessung zunächst eine Zeitmessung, deren Ergebnis sofort auf irgendeine Weise in eine Entfernungsangabe überführt werden muß.*“⁶⁶

63. Ebd., S. 281.

64. Ebd., S. 294. Kursivsetzung C.B.

65. Claude Pouillet (1845). „Ueber ein Mittel zur Messung äußerst kurzer Zeiträume, wie der Dauer des Stoßes elastischer Körper, der Auslösung von Springfedern, der Entzündung von Schießpulver u.s.w., und über ein neues Mittel, die Intensität elektrischer Ströme, permanenter wie instantaner, zu messen“. *Polytechnisches Journal* 96, S. 196–201, hier 198–199.

66. BA-MA RL 17/578, S. 10. Kursivsetzung C.B.

Dass zur physiologischen Vermessung von Froschnerven gleich der radartechnischen Bestimmung von Entfernungen mikrotemporale Impulssendungen zur Anwendung kamen und kommen, ist eine weitere Gemeinsamkeit. Schließlich muss der Messimpuls hinsichtlich des zu vermessenden Zeitereignisses vernachlässigbar sein. Hieß es bei Helmholtz, der Impuls sei, wie oben bereits zitiert, eine elektrische „Reizung von verschwindend kleiner Dauer“⁶⁷, heißt es im eröffnenden Satz des 1948er Bandes *Pulse Generators* des Radiation Laboratory des Massachusetts Institute of Technology in Bezug auf den für Radarortungen notwendigen Ortungsimpuls: „Microwave radar has required the development of pulse generators that are capable of producing a succession of pulses of very short time durations.“⁶⁸ Nur wurden eben jene *pulses of very short time durations* nunmehr nicht auf mechanischer Basis qua rotierender Scheibe realisiert, sondern vollständig elektrotechnisch. So konnte die Mikrotemporalität der Impulse gesteigert werden: Das deutsche Freya-Radargerät hatte beispielsweise eine Impuls-Sendezeit von lediglich einer μ -Sekunde, also 1/1.000.000 Sekunde⁶⁹. Die konkrete technische Realisierung der Impulserzeugung mag entsprechend dem medientechnischen Standard der 1940er Jahre sein, ihr Ziel aber entspricht dem 1850 formulierten Vorhaben von Helmholtz.

Wie Episteme durch Diskurse wandern, wie technisch realisierte Ziele als Impulse physiologischen gleich ortungstechnischen Interessen dienen, zeigt dabei vieles, aber zunächst eines auf: Mediengeschichte archäologisch zu betreiben, bedeutet, Epistemen nachzuspüren und auf vermeintlichen Umwegen zu gehen, die genauso kurvenreich verlaufen wie die Geschichte der technischen Objekte selbst.

67. Helmholtz (1850). „Messungen über den zeitlichen Verlauf“, S. 277.

68. G. Norris Glasoe (1948). „Introduction“. In: G. N. Glasoe und J. V. Lebacqz. *MIT Radiation Laboratory Series Volume 5: Pulse Generators*, New York: McGraw-Hill, S. 1–17, 1.

69. BA-MA RL 17/578, S. 20. Die Dauer des Sendeimpulses eines anderen frühen deutschen Radargeräts, dem Würzburg-Gerät, betrug 2 μ -Sekunden, BA-MA RL 17/576, S. 15.

Literaturverzeichnis

Bessel, Friedrich Wilhelm (1876 [1823]). „Persönliche Gleichung bei Durchgangsbeobachtungen“. In ders.: *Abhandlungen in drei Bänden. Band III*. Hg. v. Rudolf Engelmann. Leipzig: Verlag von Wilhelm Engelmann, S. 300–304.

du Bois-Reymond, Emil (1882). „Goethe und kein Ende“ (Rede bei Antritt des Rectorats der Königlichen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin am 15. October 1882). Berlin: Vogt.

du Bois-Reymond, Emil (1849). *Untersuchungen über thierische Elektrizität. Zweiter Band. Dritter Abschnitt*. Berlin: G. Reimer.

Derrida, Jacques (1974). *Grammatologie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.

Donders, Franciscus Cornelis (1868). „Die Schnelligkeit psychischer Prozesse“. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin* 35, S. 657–681.

Fizeau, Hippolyte Louis und Eugène Gounelle (1850). „Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität“. *Polytechnisches Journal* 117, S. 125–128.

Glasoe, G. Norris (1948). „Introduction“. In: G. N. Glasoe und J. V. Lebacqz. *MIT Radiation Laboratory Series Volume 5: Pulse Generators*, New York: McGraw-Hill, S. 1–17.

von Helmholtz, Hermann (1850). „Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven“. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin* 27, S. 276–364.

von Helmholtz, Hermann (1852): „Messungen über Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven“. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin*, S. 199–216.

von Helmholtz, Hermann (1845). „Ueber den Stoffverbrauch bei der Muskelaktion“. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin*, S. 72–83.

von Helmholtz, Hermann (1851). „Ueber die Dauer und den Verlauf der durch Stromesschwankungen inducirten elektrischen Ströme“. *Annalen der Physik* 83, S. 505–540.

von Helmholtz, Hermann (1850). „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen, und ihre Anwendung für physiologische Zwecke“. *Koenigsberger naturwissenschaftliche Unterhaltungen* 2, S. 169–189.

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“. *Monatsbericht der königlichen preußischen Akademie der Wissenschaften*, S. 228–234.

- Kassung, Christian und Albert Kümmel (2003). „Synchronisationsprobleme“, in: Albert Kümmel und Erhard Schüttpelz (Hg.). *Signale der Störung*. München: Wilhelm Fink, S. 143–166.
- Kirsten, Christa, Hg. (1986). *Dokumente einer Freundschaft. Briefwechsel zwischen Hermann von Helmholtz und Emil du Bois-Reymond 1846–1894*. Berlin: Akademie-Verlag.
- Kittler, Friedrich (1985). *Aufschreibesysteme 1800/1900*. München: Fink.
- Kittler, Friedrich (1986). *Grammophon Film Typewriter*. Berlin: Brinkmann & Bose.
- Latour, Bruno (1987). *Science in Action. How to Follow Scientists and Engineers through Society*. Cambridge: Harvard University Press.
- Maxwell, James Clerk (1881). *A Treatise on Electricity and Magnetism. Vol. I. Second Edition*. London: Oxford University Press.
- Pouillet, Claude (1845). „Ueber ein Mittel zur Messung äußerst kurzer Zeiträume, wie der Dauer des Stoßes elastischer Körper, der Auslösung von Springfedern, der Entzündung von Schießpulver u.s.w., und über ein neues Mittel, die Intensität elektrischer Ströme, permanenter wie instantaner, zu messen“. *Polytechnisches Journal* 96, S. 196–201.
- Rieger, Stefan (2008). „Der Frosch – ein Medium?“ In: Alexander Roesler und Stefan Münker (Hg.). *Was ist ein Medium?* Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 285–303.
- Schäffner, Wolfgang (2003): „Mechanische Schreiber. Jules Etienne Mareys Aufzeichnungsmaschinen“. In: Bernhard Siegert und Joseph Vogl (Hg.). *Europa: Kultur der Sekretäre*. Zürich/Berlin: Diaphanes, S. 221–234.
- Schelske, Rudolf (1864). „Neue Messungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Reizes in den menschlichen Nerven“. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, S. 151–173.
- Schmidgen, Henning (2009). *Die Helmholtzkurven. Auf der Spur der verlorenen Zeit*. Berlin: Merve.
- Schmidgen, Henning (2004). „Die Geschwindigkeit von Gedanken und Gefühlen. Die Entwicklung psychophysiologischer Zeitmessungen, 1850–1865“. *NTM: Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin* 12, S. 100–115.
- Siegert, Bernhard (1999). „Das Leben zählt nicht. Natur- und Geisteswissenschaften bei Wilhem Dilthey aus mediengeschichtlicher Sicht“, in: Claus Pias (Hg.). *[me'dien] i. Dreizehn Vorträge zur Medienkultur*. Weimar: VDG, S. 161–182.
- Siemens, Werner (1847). „Ueber Geschwindigkeitsmessung“. *Fortschritte der Physik im Jahre 1845* 1, S. 47–72.

Sterne, Jonathan (2009). „The Cat Telephone“. *The Velvet Light Trap* 64 (1), S. 83–84.

Wever, Ernest Glen und Charles W. Bray (1930). „Action Currents in the Auditory Nerve in Response to Acoustical Stimulation“. *Proceedings of the National Academy of Science* 16, S. 344–350.

Wiener, Norbert (1948). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Cambridge: MIT Press.

Wundt, Wilhelm (1873). *Lehrbuch der Physiologie des Menschen*. Dritte völlig umgearbeitete Auflage. Erlangen: Ferdinand Enke.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Hermann von Helmholtz (1850). „Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven“. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin* 27, S. 276–364, Tafel VIII, Figur 4.

Abb. 2: François Marie Moigno (1849). *Traité de telegraphie électrique renfermant son histoire, sa théorie et la description des appareils* [Kurztitel]. Paris: A. Franck. Hier wurde die Abbildung entnommen aus: Schmidgen (2004): „Die Geschwindigkeit von Gedanken und Gefühlen“, S. 102.

Abb. 3: Hermann von Helmholtz (1850). „Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven“. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin* 27, S. 276–364, Tafel VIII, Figur 1.

Abb. 4: Hermann von Helmholtz (1850). „Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen, und ihre Anwendung für physiologische Zwecke“. *Koenigsberger naturwissenschaftliche Unterhaltungen* 2, S. 169–189, Tafel VIII, Ausschnitt aus Figur 2.

Abb. 5: Hermann von Helmholtz (1852): „Messungen über Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven“. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin*, S. 199–216, Tafel VII, Figur 3.

Abb. 6: Hermann von Helmholtz (1852): „Messungen über Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven“. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin*, S. 199–216, Tafel VII, Figur 5.