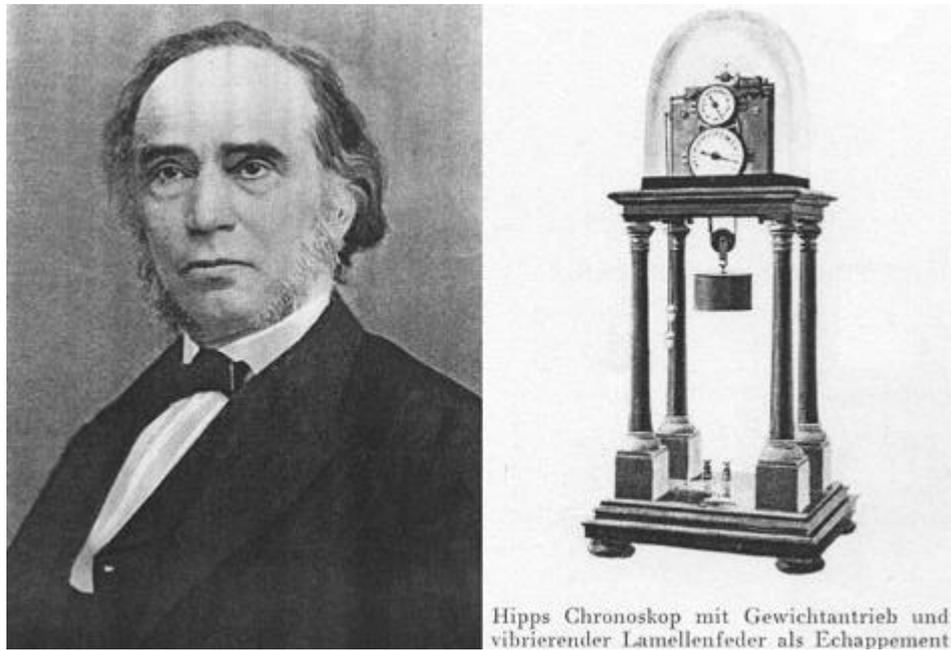


Matthias Hipp
und das
"Hipp'sche Chronoskop"



Hipps Chronoskop mit Gewichtantrieb und vibrierender Lamellenfeder als Echappement

Abb.1: Matthias Hipp / Hipp'sches Chronoskop

Semesterarbeit von Caspar Clemens Mierau
Bauhaus-Universität Weimar
Studiengang: Medienkultur

Dozent: Henning Schmidgen

Wintersemester 2001/2002

Inhaltsverzeichnis

- 3 Einleitung
- 4 Matthias Hipp und die Zufallsbegegnung
- 6 Beschreibung eines typischen Versuchsaufbaus
- 7 Kurzbeschreibung
- 7 Ausführliche Beschreibung
- 8 Die Funktionsweise des Chronoskops
- 12 Hipp und Hirsch
- 13 Das "Neue Chronoskop"
- 15 Fazit
- 17 Abbildungsnachweis
- 18 Endnoten/Quellennachweis

Danksagung

Ich danke Thomas Schraven für die freundliche Unterstützung bei der Quellensuche und Sven Ebisch vom historischen Kabinett des psychologischen Instituts der HU Berlin für die Ermöglichung fotografischer Aufnahmen der Original-Instrumente.

Einleitung

In der Mitte des 19. Jahrhunderts erforderten verschiedene Faktoren die Einführung einer weltweit standardisierten Zeit. Länder und Kontinente rückten durch Telegraphie und das schnell wachsende Eisenbahnnetz zusammen. Für die Schifffahrt und Militärtechnik wurde die Kenntnis der exakten Uhrzeit zum essentiellen Wettbewerbsvorteil.

Die Bestimmung der Zeit wurde in Sternwarten vorgenommen und durch ein angeschlossenes Telegraphen-System unmittelbar und nahezu unverzögert weitergeben. Beim Messvorgang selbst ergab sich jedoch das Problem, dass die durchgeführten Beobachtungen, durch nicht ausschließbare menschliche, reaktionsbedingte Fehler ungenau waren. Menschen reagieren zeitversetzt – ein Umstand, der der genauen Zeitbestimmung konterkarierte.

Der Versuch liegt folglich nahe, diese "Abweichungen zu bestimmen"¹, um den persönlichen Fehler eines Beobachters von seinen Messergebnissen abziehen zu können. Die "Zeit' zu bestimmen, die er ("der Astronom" Anm. d. Verf.) zum Sehen und zur Bewegung des Fingers nöthig hat"², stellte sich somit als eine wichtige Voraussetzung für die exakte Zeitmessung.

Zur Erfassung menschlicher Reaktionszeiten wurden Geräte benötigt, die ungleich genauer als herkömmliche Uhren sein mussten. Es waren Messgenauigkeiten von bis zu einer tausendstel Sekunde erforderlich. Als eine der erfolgreichsten Methoden zeigte sich bald der Einsatz eines Chronoskops (griechisch: "Zeitseher"), bei dem es sich um ein "Instrument zur genauen Messung sehr kleiner Zeitabschnitte"³ handelt. Es lässt sich durch seine Genauigkeit ebenso in der Militärforschung zur Bestimmung der

Geschwindigkeit von Geschossen⁴ einsetzen, jedoch auch in der Physiologie und Psychologie zur Erforschung des menschlichen Körpers und der Psyche.

Im Laufe des 19. Jahrhunderts wurden verschiedene Chronoskope gebaut, die sich durch ihre Genauigkeit, Einsetzbarkeit für diverse Messarten und Handhabung stark unterschieden. Die folgende Arbeit wird sich mit der Frage beschäftigen, warum das von Herrn Matthias Hipp (1813-1893) gefertigte Chronoskop eine besondere Stellung in der Analogie der "Zeitseher" einnimmt.

Matthias Hipp und die Zufallsbegegnung

Matthias Hipp, geboren 1813 in Blaubeuren, war gelernter Uhrmacher. Schon als Lehrjunge soll er sich mit der Frage beschäftigt haben, "ob man das Pendel einer Uhr, das das Uhrwerk in Bewegung setzt, nicht anders als durch Gewichte im Gang halten könnte"⁵. Bis dato wurden Uhren durch Pendel betrieben, die, selbst bei guter Aufhängung, nur mehrere Stunden unter immer kürzer werdenden Ausschlägen schwingen, um zum Stillstand zu kommen, bis eine neue Kraft auf sie einwirkt. Hipp setzte sich mit der Entwicklung eines Uhr-Antriebs auseinander, der den fortlaufenden Betrieb einer Uhr sicherstellen und ihre Genauigkeit erhöhen sollte.

Eine entscheidende Rolle spielte hier sein Interesse für angewandte Elektrizität. Nachdem im 17. und 18. Jahrhundert unter anderem Galvani, Volta, Coloumb und Ampère die grundlegende Untersuchung des elektrischen Stromes gelang, war das 19. Jahrhundert von der Forschung nach der Nutzbarmachung des elektrischen Stromes geprägt. "Hipp verschlang jedes Wort, das er

darüber erfahren konnte" und "ahnte die große Zukunft der Elektrizität voraus"⁶. Er entwickelte die Idee, die mechanisch betriebene Pendeluhr, durch elektromagnetische Impulse konstant zu korrigieren. Wird eine bestimmte Schwingungsweite des Pendels unterschritten, schließt ein Kontakt und der elektromagnetische Impuls vergrößert die Schwingungsweite, die daraufhin wieder abnimmt, bis sie den nächsten Impuls erhält. Ein positiver Nebeneffekt dieses Systems war die effiziente Nutzung der elektrischen Energie. Batterien waren zur Zeit Hipsps ihren Kinderschuhen noch nicht entwachsen. Sie hatten geringe Kapazitäten und mussten daher sparsam eingesetzt werden. Da Hipsps Konstruktion nur Strom zum Zeitpunkt der Impulsgebung braucht, konnten die Batterien nahezu optimal genutzt werden. Man kann sagen, Hipp legte den ersten Grundstein für elektronische Uhren, da er Teile der Uhr entmechanisierte und durch Elektromagnetismus präzisierete. Dieses System wurde bis 1975 verwendet – eine erstaunlich lang verwendete Erfindung.

Das um 1847 entwickelte Chronoskop soll einer Anekdote nach durch einen Zufall entstanden sein: Als Hipp den Physiker Eisenlohr in Karlsruhe besuchte, zeigte ihm dieser eine aus England eingetroffene Gewichtuhr ohne Pendel, deren Ankerhemmung durch einen kleinen Schalter losgelassen und angehalten werden konnte, um Zeitmessungen vorzunehmen. Hipp erkannte, dass für die Messung sehr kleiner Zeiten das Uhrwerk schon zu Beginn der Messung seinen normalen Gang haben müsse. Er änderte und verbesserte⁷ das englische Modell von Wheatstone entsprechend und fand reges Interesse bei Zeitgenossen wie dem Stuttgarter Physikprofessor Reusch und dem Oberreallehrer Oelschläger, der mehrfach Artikel über das Hipp'sche Chronoskop veröffentlichte.

Das älteste bekannte Instrument findet sich am Physikinstitut der Universität Utrecht, datiert auf den März 1849 und signiert von Hipp in Reutlingen. In einer dazu handschriftlich verfassten Anleitung gibt er an, dass Oelschläger damit Fallversuche zur Überprüfung der Newtonschen Gesetze durchgeführt hat⁸.

Das Chronoskop ist nicht die einzige Erfindung, die Matthias Hipp zu verdanken ist. Als gelernter Uhrmacher beschränkte er sich nicht nur auf die Fertigung von Uhren und Uhr-ähnlichen Produkten. Hipp zählte seinerzeit zu den Größen im Telegraphiewesen. Zum einen hatte er einige Jahre die Stelle des "Werkführers der Eidg. Telegraphenwerkstätte" (1852-1860) inne, zum anderen arbeitete er sein ganzes Leben als selbständiger Erfinder und entwickelte unter anderem so bedeutsame Technologien wie den telegraphischen Zeitmelder, Eisenbahnsignalanlagen, das elektrische Klavier und telegraphische Fernschreiber. Es ist erstaunlich, dass der Name "Hipp" sich heute nur selten in lexikalischen oder wissenschaftshistorischen Werken finden lässt.

Beschreibung eines typischen Versuchsaufbaus

Dr. Adolph Hirsch dokumentierte als erster Wissenschaftler die Arbeit mit dem Hipp'schen Chronoskop. In einem Vortrag vor der "naturforschenden Gesellschaft zu Neuenburg" legte er dessen Einsatz in Versuchen "über die Geschwindigkeit der verschiedenen Sinneseindrücke und der Nerven-Leitung"⁹ dar. In seinen dokumentierten Experimenten untersuchte er die unterschiedlichen Reaktionszeiten beim Ohr, Auge und Tastsinn. Im Folgenden wird das Experiment zur Bestimmung der Reaktionszeit des Gehörs exemplarisch beschrieben.

Kurzbeschreibung

Zur Messung der Reaktionszeit des Gehörs setzte Hirsch Fallversuche ein. Das Hipp'sche Chronoskop wird hierbei an eine Konstruktion angeschlossen, mit der kontrolliert eine Kugel auf eine Platte fallen gelassen und somit ein Knall (Geräusch) erzeugt wird, wobei eine Versuchsperson möglichst schnell die akustische Wahrnehmung des Knalls durch Drücken eines Schalters bestätigt. Es galt, experimentell zur Ermitteln, wie lange ein Mensch von der akustischen Aufnahme des Knalls durch das Ohr bis zur Reaktion durch Drücken des Schalters benötigte.

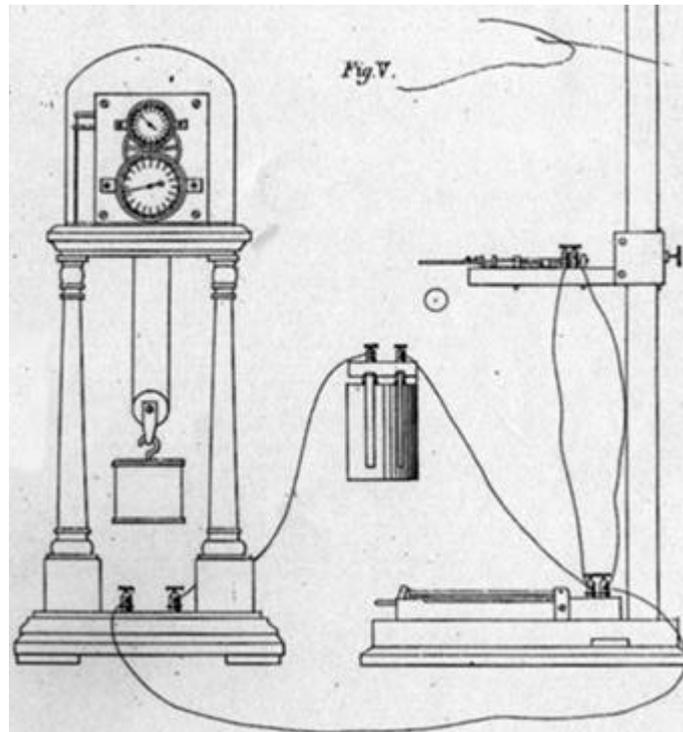


Abb. 2: Fallversuch mit dem Hipp'schen Chronoskop

Ausführlichere Beschreibung

Eine an einer senkrechten Säule befestigte Gabel trägt eine Kugel. Durch Druck auf eine Feder lässt die Gabel die Kugel unverzüglich frei fallen und ein Stromkreis wird zum Zeitpunkt der Öffnung der

Gabel unterbrochen. Die Kugel fällt auf eine Platte und schließt durch den Stoß den Stromkreis. Durch das an den Stromkreis angeschlossene Chronoskop wird die Zeitdifferenz angezeigt. In diesem Beispiel ist dies die Dauer des Falls (die sich natürlich auch mit physikalischen Formeln recht genau bestimmen lässt).

Es sei angemerkt, dass die Messungen in längeren Versuchsreihen vorgenommen, aus ihnen statistische Mittel errechnet und zu befürchtende Fehler vorhergesagt wurden. Zur Voraussetzung machte Hirsch nach experimenteller Überprüfung, dass die Betätigung des Schalters selbst unberücksichtigt bleiben kann, da sie sich zeitlich nicht mehr erfassen ließ (weniger als 1/1000 Sekunde). Die Zeitverzögerung durch den Schall im Versuchsaufbau (Abstand Versuchsperson \leftrightarrow Kugel) wurde rechnerisch mit einbezogen: Der Proband saß in einer vorher abgemessenen Entfernung zur Säulenkonstruktion aus der sich Zeitverlust durch die bekannte Schallgeschwindigkeit bestimmen ließ.

Die Funktionsweise des Chronoskops

Mit heutigem Vokabular könnte man ein Chronoskop vielleicht als eine Vorform der Stoppuhr beschreiben. Aufgabe des Chronoskops ist es, wie weiter oben bereits beschrieben, sehr kurze Zeitintervalle so genau wie möglich zu erfassen. Da es im 19. Jahrhundert noch keine Digitaltechnik gab, stellte die Konstruktion solcher Zeitmessgeräte eine besondere Herausforderung dar. Es galt, mechanische Trägheiten so stark wie möglich zu minimieren und somit die Reaktionszeiten der Messinstrumente selbst als Fehlerquelle auszuschließen.

Das Hipp'sche Chronoskop "ist im Grunde ein durch ein Gewicht getriebenes Uhrwerk"¹⁰. Der erste Blick erinnert an Standuhren, jedoch fällt das den fehlenden Pendel ersetzende Gewicht sofort auf.



Abb. 3.: Hipp'sches Chronoskop

An der Vorderseite der Chronoskops sind zwei Zeigerwerke zu sehen. Beide Ziffernblätter sind in je 100 Teile unterteilt. Der Zeiger des ersten Werkes durchläuft dieses in 10 Sekunden und zeigt somit $1/10$ Sekunden an. Der zweite Zeiger durchläuft sein Blatt in einer Zehntel Sekunde und zeigt somit $1/1000$ Sekunden an¹¹. Es finden sich Hinweise darauf, dass Hipp diese hohe Genauigkeit von $1/1000$ Sekunde nicht sofort erreichte. In einer Veröffentlichung im "Polytechnischen Journal" aus dem Jahre 1848 "besitzt das Hipp'sche Chronoskop noch den Vorzug, dass es $1/500$ Sec."¹² misst. Bereits 1849 jedoch war das verbesserte

Chronoskop mit der Genauigkeit, tausendstel Sekunden zu bestimmen, entwickelt.

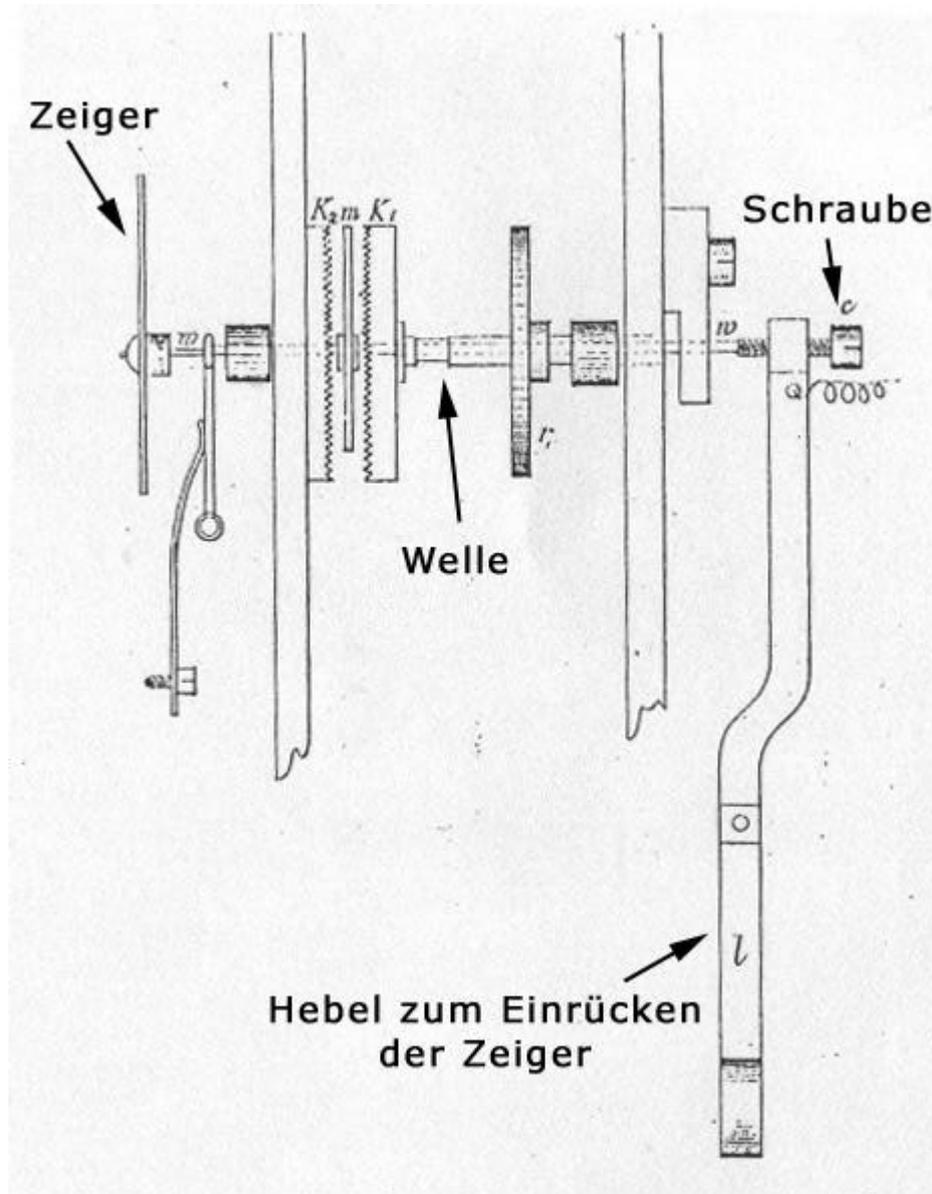


Abb. 4.: Elektromagnetismus/Mechanik am Hipp'schen Chronoskop

Der eigentliche Antrieb des Chronoskops ist das am Seilzug befestigte Gewicht. Durch eine Kurbel wird das Gewicht mit dem Miniatur-Flaschenzug nach oben gezogen. An der linken Seite finden sich zwei Seilzüge, mit denen sich das Chronoskop starten und stoppen lässt. Wird es in Gang gesetzt, beginnt das Gewicht kontinuierlich zu sinken und dabei das Uhrwerk-artige Getriebe im

Innern des Chronoskops anzutreiben. Die Zeiger bewegen sich beide zu diesem Zeitpunkt noch nicht.

Als Echappement (Hemmung) dient dem Uhrwerk eine justierbare Lamellenfeder (in der Abbildung mit einem "x" markiert), die mit 1000 Hertz schwingt. Durch akustischen Vergleich mit einer auf 1000 Hertz geeichten Stimmgabel lässt sich die Feder durch "ein nur irgend geübtes Ohr leicht"¹³ einstellen. Bereits ab einem Unterschied von 20 Schwingungen pro Sekunde wird die Stimmgabel einen "merklich verschiedenen Ton"¹⁴ erzeugen. Mit dieser ausgefeilten Technik lässt sich das Uhrwerk des Chronoskops erstaunlich genau einstellen.

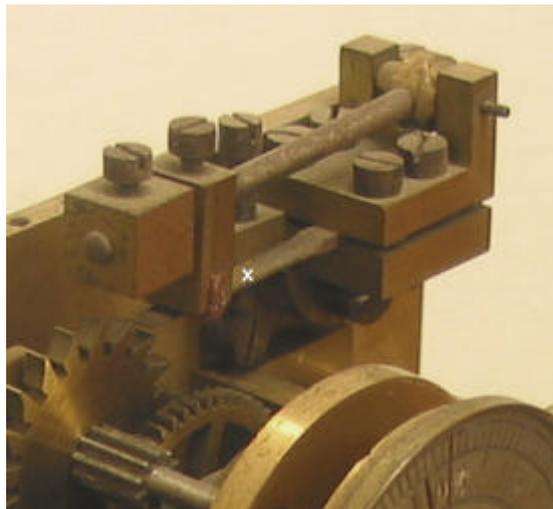


Abb. 5: Die justierbare Lamellenfelder

Für Start und Stopp der Zeiger sind die Elektromagneten an der Rückseite des Chronoskops zuständig. Liegt an den Elektromagneten Strom an, ziehen sie den Ankerhebel zurück, der mit einer Schraube auf die Welle drückt. So lange der Ankerhebel angezogen wird, dreht sich zwar die Welle, die Rotation wird aber nicht auf das Zeigerwerk übertragen. Unterbricht man nun den Stromkreis, bricht das elektromagnetische Feld zusammen und der Ankerhebel drückt die Welle nach vorn wodurch das Zeigerwerk mit

der Bewegung des Hauptwerks verbunden wird – die Zeiger drehen sich. Dieser Zustand hält so lange an, bis der Stromkreis wieder geschlossen wird, die Elektromagneten den Ankerhebel wieder anziehen und die Welle nicht mehr in Richtung Zeigerwerk gedrückt wird.

Das hier beschriebene Hipp'sche Chronoskop misst somit die Zeit der Stromunterbrechung der am Elektromagneten anliegenden Spannung. Das verbesserte Modell 88 mit zwei statt vier Elektromagneten konnte sowohl bei Stromöffnung als auch -schließung messen. Hierdurch ergaben sich für Wissenschaftler vielfältigere Möglichkeiten.

Hipp und Hirsch

Adolph Hirsch veröffentlichte nicht zufällig als Erster experimentelle Ergebnisse mit dem Hipp'schen Chronoskop. Glaubt man diversen wissenschaftshistorischen Quellen, waren Hipp und Hirsch gute Bekannte. "Il (Hirsch – Anm. d. Verf.) eut l'avantage d'être en relation directe avec Hipp, qui à cette époque était établi à Neuchâtel comme directeur d'une usine fabriquant des télégraphes (1860-1889) et qui a d'ailleurs servi comme sujet dans les expériences de Hirsch utilisant le chronoscope."¹⁵ Hipp stellte Hirsch "bereitwilligst"¹⁶ zwei Chronoskope leihweise zur Verfügung und nahm sogar persönlich an Hirschs Versuchsreihen teil. Dieser unterstreicht vielleicht aus diesem Grunde die Vorzüge des Chronoskops mit Nachdruck: "Es scheint mir am Orte, von diesem für den Physiker sowohl als für den Physiologen ungemein nützlichen Instrumente ... eine etwas eingehende Beschreibung zu geben; denn es ist sicherlich unter den zur Messung sehr kleiner Zeiträume ersonnenen Instrumenten eines der genauesten und zugleich für den Gebrauch bequemsten."¹⁷

Solch lobenden Worte waren für Hipp aus unternehmerischer Sicht wichtig. Bereits 1840 hatte er sich selbständig gemacht und eine eigene Werkstätte als Groß- und Klein-Uhrmacher eröffnet¹⁸ und dort mit der Umsetzung und Vermarktung seiner ersten Erfindungen begonnen. Positive Kommentare in der Fachpresse waren sicher ein Garant für eine interessierte Käuferschaft. Auch heute noch existieren in vielen (zumeist universitären) Sammlungen Hipp'sche Chronoskope, die seinerzeit durch ihre revolutionäre Präzision und vielseitige Einsetzbarkeit weltweit verkauft werden konnten.

Das "Neue Chronoskop"

Die Evolution der Chronoskope war auch mit Hipp noch lang nicht beendet. Rudolf Schulze beschreibt 1909, also circa sechzig Jahre nachdem Hipp das Wheatstone'sche Chronoskop verbesserte, in seinem Buch "Aus der Werkstatt der experimentellen Psychologie und Pädagogik" die Unzulänglichkeiten des Hipp'schen Chronoskops.

1) Das Hipp'sche Chronoskop verwendet die "registrierende Methode", bei der, im Gegensatz zur graphischen Methode, die Zeitdifferenz nicht an einer Kurve abgezählt, sondern durch Zeiger dargestellt wird. Dies ist zwar einfacher abzulesen, jedoch birgt eine Methode mit Zeigern immer die Schwierigkeit, dass die Zeiger zu Beginn des Messvorgangs ihre eigene Trägheit überwinden und am Ende des Messvorgangs "gebremst" werden müssen. Nur wenn diese beiden Zeitintervalle exakt gleich sind, wirken sie sich nicht auf die Ergebnisse aus. Beim Hipp'schen Chronoskop musste dies genau überprüft werden. Es existierten hierfür sogar eigene

Instrumente wie der Kontrollhammer von Wundt (siehe Abbildung) oder der Fallapparat von Ebbinghaus.

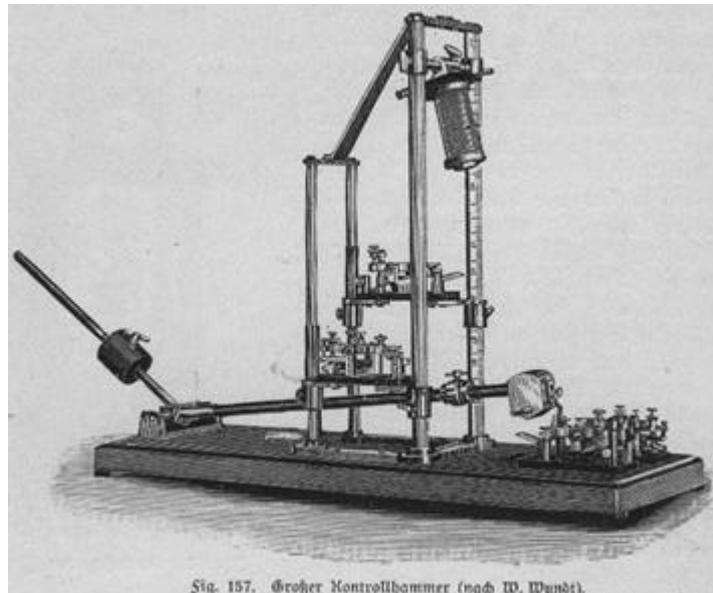


Abb. 6.: Großer Kontrollhammer nach Wundt

2) Die Stromstärke muss während des Versuchs gemessen und (mit einem Widerstand) konstant gehalten werden, um eine Beeinträchtigung der Ergebnisse zu verhindern. Im 19. Jahrhundert stellte die sich Versorgung mit einer gleichbleibenden Stromquelle weitaus schwieriger dar als heute.

3) Die Eisenteile der Elektromagneten magnetisierten sich auf, mit der Folge von Latenzzeiten beim Auf- und Abbau der elektromagnetischen Felder. Dies beeinträchtigte die Messungen und so mussten die Eisenteile mit einer Pohlschen Wippe, einem manuellen Stromwender, nach jeder Messung entmagnetisiert werden.

Noch im selben Buch stellt Schulze seine persönliche Weiterentwicklung des Zeitmessers vor, die er schlicht das "Neue Chronoskop" nennt. "Kurze Zeit vor Drucklegung dieses Buches ist es mir gelungen, ein Chronoskop zu konstruieren, bei dem die ...

umständlichen Prüfungen wegfallen, da es für jede Zeit und bei verschiedenen starken Strömen (innerhalb weiter Grenzen) auch ohne besondere Einstellung mit gleicher Genauigkeit arbeitet. Dadurch wird die Bedienung des Apparates so einfach, dass jedermann ohne besondere Vorkenntnisse mit ihm arbeiten kann."

Grundlegend unterscheidet sich Schulzes vor allem dadurch, dass "anstatt eines gewöhnlichen Elektromagneten ein polarisierter Magnet angeordnet ist"¹⁹. Von der sonstigen Konstruktion her gibt es kaum Unterschiede – Hipps Entwicklung konnte also auch sechzig Jahre später nur minimal verbessert werden.

Fazit

Das Hipp'sche Chronoskop kann aus heutiger Sicht guten Gewissens als "genial" bezeichnet werden. Es ist Hipp gelungen, durch die Verbindung der Geschwindigkeit des Elektromagnetismus und die Präzision des auf einer Lamellenfeder basierenden Uhrwerks ein äußerst genaues Instrument zur Messung kleinster Zeiteinheiten zu konstruieren. Die Idee, Uhrwerk und Zeigerwerk voneinander zu trennen, senkte die Trägheit des Chronoskops erheblich.

Durch seine offene Bauweise war das Hipp'sche Chronoskop vielseitig einsetzbar. Besondere Dienste leistete es in der militärischen Ballistik-Forschung. In der Astronomie wurde es unter anderem von Hirsch zur Bestimmung der persönlichen Reaktionszeiten und in der Physik zur Überprüfung der Fallgesetze und Kurzzeitmessungen eingesetzt. In der Technik ließ sich diese Vorform der modernen Stoppuhr unter anderem zur Evaluierung der Verschlusszeiten von Relais einsetzen. Hipp selbst setzte es zur Vermessung von Telegraphenlinien ein.

Für diese universelle Einsetzbarkeit spricht auch die lange Produktionszeit des Chronoskops. Die letzten Instrumente wurden von der Firma FAVAG (eine direkte Folgefirma von Hipps Unternehmungen) um 1980 verkauft. Eine 140jährige Erfolgsgeschichte eines technischen Gerätes spricht für sich selbst.

Abbildungsnachweis

Abb. 1: aus "Matthias Hipp" in "Schweizer Pioniere der Wirtschaft und Technik 12", Zürich (Verein für wirtschaftshistorische Studien, 1961, S. ???

Abb. 2: aus Hirsch, Adolph (1865): "Chronoskopische Versuche über die Geschwindigkeit der verschiedenen Sinneseindrücke und der Nerven-Leitung" in "Untersuchungen zur Naturlehre der Menschen und der Thiere 1"(1865), Anhang

Abb. 3: (links) aus: Schulze, Rudolf (1909) "Aus der Werkstatt der experimentellen Psychologie und Pädagogik", Leipzig (R. Voigtländer Verlag), S. 137 // (rechts): Eigenaufnahme eines Hipp'schen Chronoskops am Psychologischen Institut der Humboldt Universität zu Berlin (20. 03. 2002)

Abb. 4: aus Hirsch, Adolph (1865): "Chronoskopische Versuche über die Geschwindigkeit der verschiedenen Sinneseindrücke und der Nerven-Leitung" in "Untersuchungen zur Naturlehre der Menschen und der Thiere 1"(1865), Anhang

Abb. 4: Ausschnittsvergrößerung einer Eigenaufnahme eines Hipp'schen Chronoskops am Psychologischen Institut der Humboldt Universität zu Berlin, das "x" wurde nachträglich per digitaler Bildbearbeitung zur Veranschaulichung eingefügt (20. 03. 2002)

Abb. 6: aus: Schulze, Rudolf (1909) "Aus der Werkstatt der experimentellen Psychologie und Pädagogik", Leipzig (R. Voigtländer Verlag), S. 138

Endnoten

- ¹ Hirsch, Adolph (1865): "Chronoskopische Versuche über die Geschwindigkeit der verschiedenen Sinneseindrücke und der Nerven-Leitung" in "Untersuchungen zur Naturlehre der Menschen und der Thiere 1"(1865), S. 183
- ² Hirsch, Adolph (1865), S. 184
- ³ Meyers Kleines Konversations-Lexikon (1908), Siebte gänzlich neubearbeitete und vermehrte Auflage in sechs Bänden, Zweiter Band: Cambridge bis Galizien, Leipzig und Wien (Bibliographisches Institut), 1908, S. 125
- ⁴ Meyers Kleines Konversations-Lexikon (1908), Zweiter Band, S. 125
- ⁵ "Matthias Hipp" in "Schweizer Pioniere der Wirtschaft und Technik 12", Zürich (Verein für wirtschaftshistorische Studien, 1961, S. 11
- ⁶ Schweizer Pioniere der Wirtschaft und Technik 12, (1961), S. 13
- ⁷ Schweizer Pioniere der Wirtschaft und Technik 12, (1961), S. 14
- ⁸ Schraven, Thomas "Das Chronoskop von Hipp, Entwurf zum Vortrag auf dem Mannerheimer Markt für elektrische Uhren März 2002" (2002)
- ⁹ Hirsch, Adolph (1865)
- ¹⁰ Hirsch, Adolph (1865), S. 188
- ¹¹ Oelschläger, W. (1849) "Das Hipp'sche Chronoskop, zur Messung der Fallzeit eines Körpers und zu Versuchen über die Geschwindigkeit der Flintenkugeln" in "Polytechnisches Journal 116" (1849) hrsg. von Dr. Johann Gottfried Dingler und Emil Maximilian Dingler, Stuttgart (Verlag J.G. Cotta'schen Buchhandlung), S. 255
- ¹² Oelschläger, W. (1848) "Das Wheatstone'sche Chronoskop, verbessert vom Uhrmacher Hipp in Reutlingen" in "Polytechnisches Journal 110" (1848) hrsg. von Dr. Johann Gottfried Dingler und Emil Maximilian Dingler, Stuttgart (Verlag J.G. Cotta'schen Buchhandlung), S. 184
- ¹³ Hirsch, Adolph (1865), S. 187
- ¹⁴ Hirsch, Adolph (1865), S. 188
- ¹⁵ Nicolas, Serge und Ferrand, Ludovic: "La Psychométrie Sensorielle au XIXe Siècle" in "Psychologie et Histoire, 2001, vol. 2, 148-173" elektronisch veröffentlicht unter <http://lpe.psych.univ-paris5.fr/membres/nicolas/Introc.htm> [Stand: 19.03.2002]
- ¹⁶ Hirsch, Adolph (1865), S. 187
- ¹⁷ Hirsch, Adolph (1865), S. 187
- ¹⁸ Schweizer Pioniere der Wirtschaft und Technik 12, (1961), S. 12

¹⁹ Schulze, Rudolf (1909) "Aus der Werkstatt der experimentellen Psychologie und Pädagogik", Leipzig (R. Voigtländer Verlag), S. 274