

# Ein Chronograph nebst Controlapparat für sehr genaue Zeitmessungen.

Von

**Ludwig Lange.**

Mit 2 Holzschnitten.

---

So bequem in der Handhabung und so zuverlässig in vielen Fällen das Hipp'sche Chronoskop auch ist, so gibt es doch Untersuchungen, bei denen seine Anwendung von vornherein ausgeschlossen werden muss. Einestheils kann es seiner Natur nach jedesmal nur zur Untersuchung der Zeitfolge höchstens zweier in Zusammenhang stehender Vorgänge dienen; sodann aber versagt es auch den Dienst, wenn längere Versuchsreihen über den Zeitabstand zwischen zwei Vorgängen anzustellen sind, von denen im einzelnen Fall nicht sicher vorausgewusst werden kann, welches ihre Reihenfolge sein wird. Bei einer festgelegten Versuchsanordnung macht das Chronoskop nur dann brauchbare Zeitangaben, wenn die beiden zu untersuchenden Vorgänge in einer bestimmten Reihenfolge stattfinden und ihre Zwischenzeit nicht unter eine gewisse Grenze abnimmt. Wird diese Zeit im einzelnen Falle dennoch kleiner oder kehrt sich die Reihenfolge gar um, so bleibt das Zeigerwerk stehen und lässt den Beobachter über den (positiven oder negativen) Betrag der verlaufenen Zeit gänzlich im Unklaren. Oder falls die Zeiger auch um ein Weniges fortrücken, so kann doch die abgelesene Zeit leicht mit einem gewissen nicht so einfach zu eliminirenden Fehler behaftet sein. Endlich liegt es in dem Regulierungsprincip des Chronoskops, dass ein Fehler von  $1^{\sigma} = 0,001^{sec}$  in jede ein-

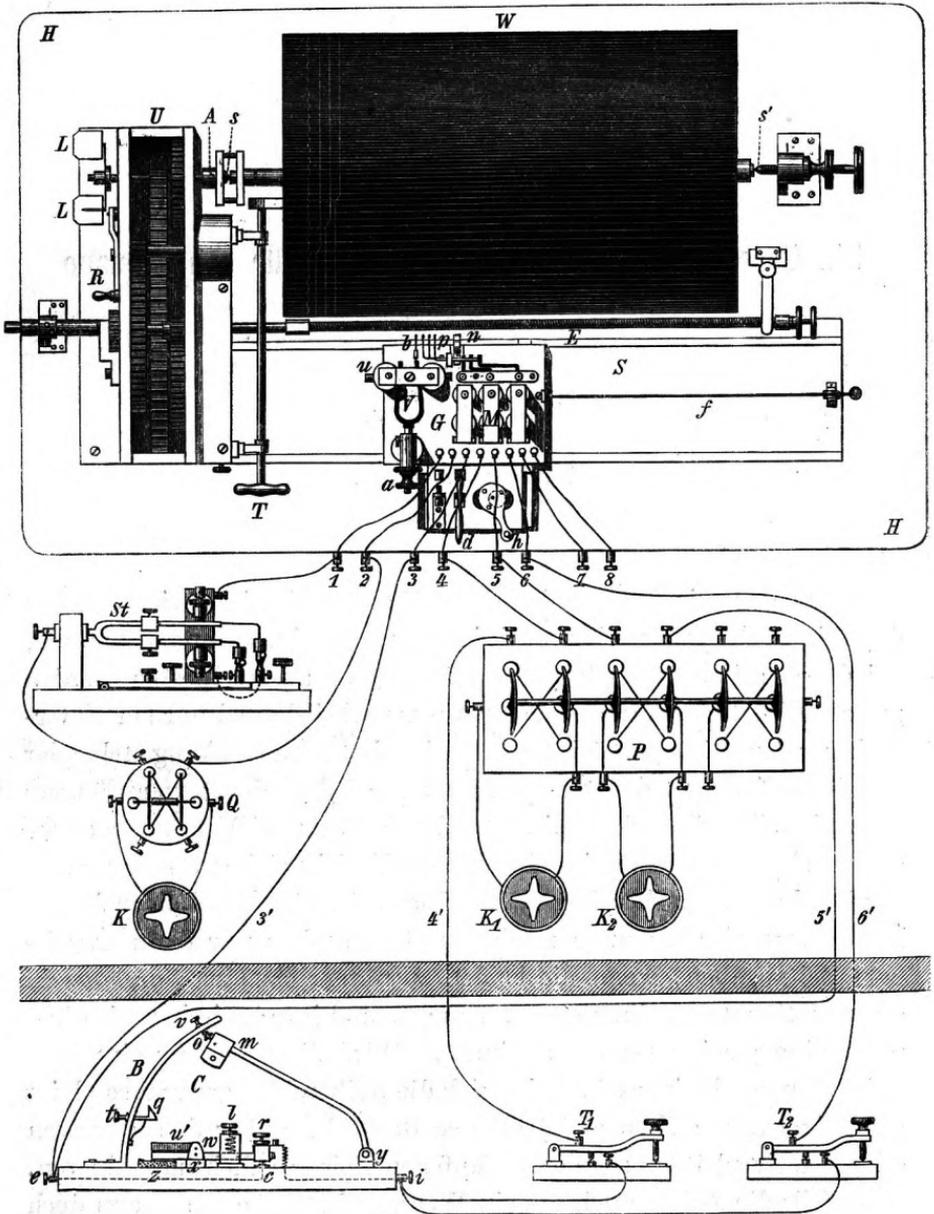


Fig. 1.

zelle damit anzustellende Beobachtung eingehen kann; und wenn gleich eine größere Genauigkeit meist nicht nothwendig ist, so kann sie doch hier und da früher oder später nothwendig werden.

In allen Fällen jedenfalls, wo die Anwendung des Chronoskops nicht gestattet ist, leistet der folgend beschriebene, nach den Angaben des Herrn Professor *W u n d t* von Herrn *Carl Krille* (Mechaniker in Leipzig) angefertigte Chronograph gute Dienste. Im Princip hat dieser Apparat mit den bekannten Registrirvorrichtungen der praktischen Physiologie und vor allem mit dem von *W u n d t*<sup>1)</sup> beschriebenen »physiologischen Chronoskop« manches gemein; immerhin sind etliche zweckmäßige Verbesserungen hinzugekommen, und es dürfte insbesondere die Genauigkeit des Apparates eine bisher wohl nicht erreichte sein.

Auf der in Brusthöhe befindlichen obersten Horizontalplatte *HH* eines kräftigen Holzgestelles ist ein Uhrwerk *U* angebracht, welches je nach der Stellung zweier damit verbundener Windflügel *LL* und der Größe des treibenden Gewichtes in mehr oder weniger schnelle Umdrehung versetzt werden kann. Eine wagerechte Achse *A* dieses Räderwerkes trägt an ihrem einen (über das zugehörige Lager hervorragenden) Ende eine kegelförmige Spitze *s*, welcher innerhalb der Achsenfortsetzung eine zweite mit Schraube und Gegenmutter scharf verstellbare, mit der Grundplatte fest verbundene Spitze *s'* gegenüber steht. Zwischen beide Spitzen lässt sich die Schreibwalze *W* (Länge 320 mm, Umfang 620 mm) einsetzen, welche an beiden Enden ihrer Achse mit entsprechenden conischen Vertiefungen versehen ist. Damit die Umdrehung der Radachse *A* eine Umdrehung der Walze mit sich führt, trägt die erstere einen kurzen senkrechten Querbalken, der an seinen Enden mit zwei Löchern versehen ist, und die Walzenachse einen ebensolchen Balken, welcher aber an Stelle der Löcher zwei entsprechende Stifte aufweist. Bei Einsetzung der Walze zwischen die Spitzen *s*, *s'* werden diese Stifte in die gegenüberstehenden Löcher des Radachsenquerbalkens eingesenkt und dadurch eine feste Verbindung zwischen Radachse und Walze hergestellt. Es verdient dabei bemerkt zu werden, dass die Spitze *s* und die ihr entsprechende conische Vertiefung lediglich dem Zwecke dienen, eine genau c e n t r a l e Einsetzung

1) Physiologische Psychologie II<sup>2</sup>, S. 233 ff.

der Walze zu ermöglichen; die Spitze  $s'$  dagegen fungirt als wirkliche Drehspitze für das andere Walzenachsenende und muss vorsichtig so eingestellt werden, dass weder ein Schlottern, noch eine Klemmung stattfindet. Vermittelst der Hebel  $R$  und  $T$  kann das Uhrwerk in jedem Augenblick mehr oder weniger schnell arretirt werden.

Der Schreibapparat des Chronographen besteht aus einer feinarmigen Stimmgabel  $V$ , welche möglichst genau auf 500 Doppelschwingungen in der Secunde abgestimmt und mit einer feinen Schreibborste  $b$  versehen ist, sowie drei Schreibspitzen  $p$ , welche mit den Ankern dreier Hufeisenelektromagnete  $M^1$ ) in Verbindung stehen. Dieser Schreibapparat hat seine besondere messingene Grundplatte  $G$ , welche hinsichtlich des Chronographengestells zwiefach beweglich ist. Sie ruht nämlich auf einem Schlitten, der in einer auf der hölzernen Horizontalplatte angeschraubten Führung  $S$  genau parallel zur Walzenachse verschoben werden kann. Auf diesem Schlitten ist aber die Grundplatte des Schreibapparates keineswegs absolut unbeweglich befestigt, sie lässt sich vielmehr in einer zweiten auf dem Schlitten selbst angebrachten Führung senkrecht zur eigenen Bewegung des Schlittens etwas verschieben; und in der einen Endlage dieser Verschiebung befindet sich der Schreibapparat in solcher Nähe bei der Schreibwalze, dass sowohl die Schreibborste der Stimmgabel (ein feines Barthaar) als auch die elastischen Schreibspitzen an der beruhten Papierfläche der Walze anliegen, während in der entgegengesetzten Endlage kein derartiger Contact stattfindet. Nun wird durch elastische Spiralfedern bewirkt, dass stets eine Tendenz zur ersten Endlage vorhanden ist, mit Hilfe einer besonderen noch zu beschreibenden Vorrichtung hingegen lässt sich jederzeit auch die zweite (contactlose) Endlage herstellen; so jedoch, dass ein Fingerdruck an dem Drücker  $d$  genügt, damit der Schreibapparat von Federkraft getrieben in die Schreiblage zurückschnellt. Sofort kann dann durch einen ebenso leicht auszuführenden Fingerzug an dem Hebel  $h$  die contactlose Lage des Schreibapparates wieder hergestellt werden.

Auf der Grundplatte des Schreibapparates ist ferner gegen die Walze hin ein Fortsatz  $n$  aufgeschraubt, der auf seiner der letzteren

1) Die Elektromagnete sind hohl und der Länge nach durchschnitten, um ein möglichst rasches Verschwinden des Magnetismus bei der Unterbrechung des Stroms zu bewirken.

zugewendeten Seite mit concaven Schraubengängen versehen ist. Wird der Schreibapparat in die Schreiblege gebracht, so tritt in demselben Augenblicke dieser Mutterfortsatz in Verbindung mit einer seinen Gängen entsprechenden, der Walzenachse und Schlittenbewegung parallelliegenden Schraube ohne Ende *E*. Diese mit dem Uhrwerk zusammenhängende Schraube ohne Ende dreht sich, wenn das Werk in Bewegung ist, gleichzeitig mit der Schreibwalze um. Sie zieht dabei den Schlitten von links nach rechts in solcher Weise fort, dass Borste und Schreibspitzen auf der Walze vier parallel laufende Schraubelinien aufzeichnen, deren Ganghöhe von der Breite der vier Curven nahezu ausgefüllt wird. Diese fortschreitende Bewegung des Schlittens hört aber natürlich sofort auf, wenn die contactlose Lage des Schreibapparates hergestellt wird; denn nun greift auch der erwähnte Mutterfortsatz nicht mehr in die Schraube ohne Ende ein. Noch ist zu bemerken, dass der Schlitten in seiner Führung auf Rollen läuft und dass die geringe Reibung, welche bei dieser Anordnung noch übrig bleibt, vollends compensirt wird durch den von links nach rechts gerichteten Zug, welchen ein über eine Rolle gelegter und am rechten Ende mit einem Gewichte beschwerter Faden *f* auf den Schlitten ausübt.

Was die elektromagnetische Bewegung der Schreibspitzen anlangt, so ist dieselbe dermaßen eingerichtet, dass die Anziehung eines jeden Ankers mittelst Kniehebelübertragung eine nach rechts gerichtete Ausweichung der zugehörigen Schreibspitze zur Folge hat, und dass umgekehrt das Zurückschnellen des Ankers eine Wiederkehr der Spitze in ihre alte Lage mit sich führt. Dabei bleibt, vorausgesetzt, dass der Schreibapparat in der Schreiblege sich befindet, die Spitze während ihrer Bewegung beständig in Contact mit der beruhten Walze. Auf dem abgeschnittenen und aufgerollten Schreibbogen wird also der Moment jeder Ankerbewegung durch eine Abweichung der Spitzencurve von der geraden Linie registriert werden. Es können also auf diese Weise drei Zeitmomente, wie es die Figur zeigt, durch Abzählung an den Stimmgabelschwingungen leicht in Bezug auf ihr gegenseitiges Verhältniss bestimmt werden. Die zeitregistrirende Stimmgabel wird auf elektromagnetischem Wege durch eine größere sogenannte Helmholtz'sche Stimmgabel *St* angeregt und in Schwingung erhalten. Die letztere ist in bekannter Weise so eingerichtet, dass sie beim Durchgang durch ihre Ruhelage selbstthätig einen von der Kette *K* her-

rührenden Strom abwechselnd schließt und unterbricht; in den Kreis dieses Stromes ist ein Hufeisenelektromagnet  $u$  eingeschaltet, dessen verstellbare Schraubenpole den Armen der zu erregenden Schreibgabel von außen nahe stehen. Wird also die Helmholtz'sche Gabel durch Verstellung der daran angebrachten Laufgewichte in passender Weise abgestimmt, etwa eine Octave tiefer als die Schreibgabel, so erhält diese mit jedem Stromschluss, den die Helmholtz'sche Gabel hervorbringt, einen neuen zu ihrer eigenen Bewegungstendenz passenden Impuls, dermaßen, dass sie ohne Unterbrechung zu tönen fortfährt. Es ist hierzu ein hinreichend kräftiger constanter Strom erforderlich (s. u.).

Da der Schlitten während der Registrirungen sich leicht bewegen muss, so ist für die vier seidenumspunnenen Drahtpaare, welche mit seinen acht Klemmschrauben zu verbinden sind, eine dünne nachgiebige Kupferdrahtsorte verwendet worden. Je zwei zusammengehörige Drähte sind gefirniss und (was in der Figur nicht dargestellt ist) um einander gewunden; die freien Enden sämtlicher Drähte stehen mit weiteren acht Klemmen (1—8) in Verbindung, die im Stativ des Chronographen fest eingeschraubt sind und den Anschluss an alle vom Chronographen selbst unabhängigen Theile der Drahtleitung vermitteln.

Ueber den Mechanismus, welcher uns in den Stand setzt, den Schreibapparat durch zwei leichte Handgriffe bald in Contact mit der Schreibwalze  $W$  (und der den Schlitten fortziehenden Schraube ohne Ende  $E$ ) zu versetzen, bald wieder davon zu entfernen, bemerke ich noch folgendes. Durch stählerne Spiralfedern, welche auf der Unterseite des Schlittens angebracht sind, wird die Grundplatte  $G$  beständig gegen  $W$  hingezogen, kann aber in dieser Richtung unter keiner Bedingung weiter fortschreiten, als bis eine mit ihr verbundene verstellbare Regulirschraube gegen einen auf dem Schlitten angeschraubten Bock anstößt. Wird nun ein Excentrik, welches um eine im Schlitten eingesenkte feste Achse drehbar ist, an dem Excentrikhebel  $h$  in der Richtung des Uhrzeigers umgedreht, so übt es auf die vordere Seite eines in der Grundplatte eingeschnittenen ovalen Loches einen Druck aus und drängt so die Grundplatte von  $W$  zurück. In dieser contactlosen Lage wird der Schreibapparat dadurch festgehalten, dass ein Fortsatz des federnden Druckhebels  $d$  in eine ihm entsprechende Vertiefung der Grundplatte eindringt. Es genügt jedoch ein leichter Fingerdruck auf das Ende des Drückers  $d$ , damit die Arretur gelöst wird, und die Grund-

platte unter Zurückschleuderung des Excentrikhebels  $h$  gegen  $W$  zurückkehrt. Durch passende Einstellung der Regulirschraube wird Sorge getragen, dass der Mutterfortsatz  $n$  sich in der Schreiblage weder zu fest noch zu leicht an die Schraube ohne Ende  $E$  anlegt; da letztere einen nicht unbeträchtlichen todtten Gang besitzen muss, so ist es in der That für das gute Arbeiten des Apparates von großer Wichtigkeit, dass hier die richtige Mitte gehalten wird. Bei dieser Gelegenheit mag noch bemerkt werden, dass die Schreibgabel sowie die drei Schreibspitzen noch mit besonderen getrennten Vorrichtungen versehen sind, wodurch sie der Walze genähert und von ihr zurückgezogen werden können. Bei der Schreibgabel dient hierzu eine feine Schraubenmutter  $a$ ; nach der jedesmaligen Einstellung ist der Stiel der Gabel in seiner Führung mittelst einer Klemmschraube festzuklemmen, damit kein Schlottern stattfindet.

Zum Betrieb des Chronographen sind vier getrennte galvanische Stromkreise erforderlich; einer für die Stimmgabeln und die drei anderen für die drei Elektromagneten der Schreibspitzen. Für den Stimmgabelstrom dient eine Batterie von 18 constanten Kupferzinkelementen, je sechs Elemente sind hinter einander verbunden und die drei Gruppen sodann neben einander gekoppelt. Für jeden Schreibelektromagneten werden zwei neben einander verkoppelte Gruppen je dreier hinter einander verbundener constanter Kupferzinkelemente verwendet. Sämmtliche Elemente sind nach dem Meidinger'schen System construirt, m. a. W. die Flüssigkeiten (Bittersalz- und Kupfervitriollösung) werden einfach durch ihr specifisches Gewicht von einander getrennt. Um das Entstehen von permanentem Magnetismus in den Elektromagnetenkernen zu vermeiden, sind alle vier Stromkreise mit Commutatoren versehen. Dieselben können — ebenso wie die Helmholtz'sche Stimmgabel und die zu ihr gehörige Pohl'sche Wippe  $Q$  — auf einer in halber Höhe des hölzernen Chronographengestells befindlichen Horizontalplatte aufgestellt werden. Die zu den Schreibelektromagneten gehörigen Stromwender, welche ja doch stets zu gleicher Zeit bedient werden müssen, bestehen einfach in einer dreifachen Pohl'schen Wippe  $P$  mit 18 Quecksilbernäpfen und sechs durch einen Querbalken verbundenen Contactbügel. So genügt ein Handgriff, um alle drei Stromkreise nach der einen oder andern Richtung zu schließen.

Um mit dem Chronographen Versuche anzustellen, überspannt man zunächst die Schreibwalze mit einem stramm anliegenden Bogen möglichst glatten, satinirten Schreibpapiers. Hierbei leisten die an beiden Rändern des Cylinders angebrachten Klemmfedern gute Dienste; ohne sie würde bei den großen Dimensionen der Walze das Aufspannen manche Schwierigkeit bieten. Die Berußung erfolgt in bekannter Weise mit einer Terpentinölflamme. Die Walze wird in den Achsenlagern eines besonderen Berußungsapparates, in welche sie schon zum Aufspannen des Bogens eingesetzt worden, langsam umgedreht und die brennende Lampe stetig darunter vorbeigeführt. Das Fixiren des beschriebenen Bogens erfolgt ebenfalls im Berußungsapparat, während der Bogen noch auf der Walze sitzt. Unter allmählicher Umdrehung der Walze wird der Bogen durch einen Zerstäuber mit alkoholischer Mastixlösung befeuchtet, dann abgeschnitten und zum Trocknen aufgehängt.

Was nun die Handhabung des Chronographen anlangt, so nimmt dieselbe selbst bei beträchtlicher Uebung die Aufmerksamkeit des Bedienenden einigermaßen in Anspruch. Da der Apparat ein ziemlich störendes Geräusch verursacht, so wird bei allen im Laboratorium anzustellenden Versuchen die Anordnung festgehalten, dass der Chronograph und wer ihn bedient in einem andern Zimmer stationirt ist, als das Object der psychologischen Untersuchung. Sonach befindet sich das Letztere in einem Raum, dessen lautlose Stille nur hin und wieder durch die zur Verständigung nothwendigen elektrischen Glockensignale unterbrochen wird<sup>1)</sup>.

Um zu zeigen, wie bei dieser Anordnung mit dem Chronographen gearbeitet wird, wähle ich als Beispiel die folgende Aufgabe. Auf einen momentanen Schalleindruck kann durch mehrere verschiedene Bewegungen zugleich reagirt werden, und es erhebt sich nun die Frage, welches die Zeitfolge zweier solcher in Reaction auf den nämlichen Sinneseindruck ausgeführten Bewegungen sein werde. In erster Linie wird man also etwa die Bewegungen der rechten und linken Hand in Betracht ziehen, d. h. mit der Specialfrage beginnen: Wie werden die in Reaction auf jenen Schall mit beiden Händen ausgeführten Oeff-

1) Bei allen psychometrischen Untersuchungen bietet diese Anordnung Vortheile von nicht zu unterschätzender Bedeutung dar. Ich komme bei einer anderen Gelegenheit hierauf zurück.

nungen zweier zuvor geschlossener Telegraphentaster zeitlich gegeneinander verschoben sein, und welchen Einfluss werden verschiedene psychologische Bedingungen auf Richtung und Größe dieser Verschiebung ausüben?

Nachdem beide Taster  $T_1$ ,  $T_2$  in dem separaten Zimmer aufgestellt sind und ein jeder durch Zuleitungsdrähte  $3'$ ,  $4'$  und  $5'$ ,  $6'$  in den Stromkreis eines Schreibelectromagneten eingeschaltet ist<sup>1)</sup>, wird folgende Verabredung getroffen. Der Reagent hält während jeder Versuchsreihe die beiden Taster beständig so lange geschlossen, bis er vom Chronographenzimmer aus den Schallreiz erhält, auf welchen er reagiren soll. Da es zur Verschärfung der Aufmerksamkeit sehr dienlich ist, diesem Schallreiz ein Signal um ungefähr eine Secunde vorangehen zu lassen, so verabredet man etwa, dass zwei um eine Secunde getrennte Glockenschläge gegeben werden sollen, und dass auf den zweiten reagirt werden soll, während der erste nur so viel als »Achtung!« bedeutet. Hiermit sind dem Reagenten alle nöthigen Instructionen gegeben.

Der Experimentator seinerseits setzt vor Beginn jeder Versuchsreihe das Uhrwerk des Chronographen in Gang, bringt durch Stromschluss die Schreibgabel zum Tönen und legt, sobald er einen Versuch machen will, die (für gewöhnlich eine contactlose Mittellage einnehmende) Wippe  $P$  nach irgend einer Seite um (das nächste Mal natürlich nach der entgegengesetzten). Da der Reagent im andern Zimmer die Taster  $T_1$ ,  $T_2$  geschlossen hält, so werden die Anker der beiden Elektromagnete augenblicklich niedergezogen, und beide Schreibspitzen weichen nach rechts aus. Sofort nach Umlegung des Stromwenders sendet der Experimentator mit einem nahe seiner linken Hand angebrachten Glockendrucker erst einen und eine Secunde später einen zweiten Glockenschlag ins andere Zimmer. Gleichzeitig mit dem zweiten Schlag drückt die rechte Hand den Druckhebel  $d$  des Schreibapparates nieder; der letztere kommt also in die Schreiblage und zwar noch frühe genug, dass das den Schlüsselöffnungen des Reagenten entsprechende Emporschnellen der Elektromagnetenanker registriert wird. Sobald der Experimentator das Emporschnellen der Anker wahr-

1) Von dem erst später zu beschreibenden Apparat  $C$  (links von  $T_1$  und  $T_2$ ) abstrahire man zunächst und stelle sich vielmehr vor, die Drähte  $3'$  und  $4'$  seien direct mit den Klemmen von  $T_1$ , die Drähte  $5'$  und  $6'$  analog mit denen von  $T_2$  verbunden.

nimmt, zieht er augenblicklich an dem Excentrikhebel  $h$  den Schreibapparat in die contactlose Lage zurück. Je präziser diese letztere Bewegung erfolgt, desto mehr Papier wird gespart. Bei einiger Sorgfalt kann man leicht eine vollständige Reihe von 20 bis 25 Versuchen der genannten Art auf einem Bogen registriren. Der letzte Handgriff, mit welchem der Experimentator jeden Versuch abschließt, ist die Zurückführung der Pohl'schen Wippe in ihre Mittellage. Das Arbeiten in zwei getrennten Zimmern macht natürlich die Einführung einiger Glockensignale und entsprechender Telegraphenleitungen nothwendig, wovon hier aber nicht weiter geredet zu werden braucht.

Zur Ablesung der registrirten Versuche könnte man, wie bei ähnlichen Apparaten üblich ist, diejenigen beiden Punkte der Schreibcurven aufsuchen, wo die Abbiegung von der Geraden eben beginnt; die Anzahl der einfachen Stimmgabelschwingungen, welche zwischen beiden Punkten aufgezeichnet sind, gäbe dann an, um wie viel Tausendstelsekunden beide Schlüsselöffnungen getrennt waren. Indess steht diesem Verfahren bei genaueren Untersuchungen ein beachtenswerthes Bedenken entgegen. Wenn einer der Reactionsschlüssel von dem Reagenten geöffnet wird, so schnellt der zugehörige Anker nicht genau in demselben Momente empor, sondern um eine Zeit  $t$  später; denn nur allmählich lässt die Anziehungskraft des Elektromagneten soweit nach, dass die Kraft der Ankerfedern überwiegt. Für den andern Stromkreis wird der Zeit  $t$  eine im allgemeinen davon verschiedene Zeit  $t'$  entsprechen. Beide Zeiten sind Functionen von den durchgehenden Stromintensitäten und von der (durch Schrauben regulirbaren) Spannung der Ankerfedern. Nun ist klar, dass, wenn man einfach das obige Princip der Ablesung anwenden wollte, nothwendig ein Fehler von der Größe  $t - t'$  unterlaufen würde, und es gilt, wofern man genaue Resultate erhalten will, diesen Fehler zu eliminiren und dadurch unschädlich zu machen. Dazu dient ein Nebenapparat, welcher kurz als Controlapparat bezeichnet werden mag.<sup>1)</sup> In  $C$  ist derselbe neben den Tastern  $T_1, T_2$  in schematischem Aufriss, zugleich aufgenommen in die soeben beschriebene Versuchsanordnung, sichtbar.

1) Dieser nach meinen Angaben von Herrn Mechanikus Krille sehr präcis und elegant ausgeführte Apparat kann selbstverständlich auch zu manchen anderen Zwecken mit großem Vortheil verwendet werden.

Um eine gemeinsame Horizontalachse  $x$  sind drei massive Messinghebel  $w$  (wie der Aufriss der Figur einen solchen zeigt) unabhängig von einander drehbar. Bei  $r$  trägt jeder Hebel eine unten in einen Platinstift auslaufende (oben mit Gegenmutter festzustellende) Messingstellschraube, welche aber von dem Hebel dadurch isolirt ist, dass das mit der zugehörigen Schraubenmutter versehene Metallstück durch Elfenbein von ihm getrennt wird. Jeder der drei Platinstifte wird durch die Kraft einer verstellbaren Feder  $l$  auf eine unter ihm im (hölzernen) Grundbrette eingelassene Platinacontactplatte  $c$  niedergedrückt. Man hat also hier drei gut von einander isolirte galvanische Hebelcontacte. Die drei Platinacontactplatten stehen durch drei unter dem Grundbrett hinlaufende Kupferdrähte mit den Klemmschrauben  $e$  in leitender Verbindung, während von den Klemmen  $i$  Kupferdrähte zu den Schraubenmuttern der verschraubbaren Platinacontactstifte hinführen. Die Contacthebel werden ferner an ihren den Contacten entgegengesetzten Enden von einem starken  $\perp$ -förmigen Eisenstücke  $u'$  überdeckt, welches um eine vertical über  $x$  befindliche Achse drehbar ist und als  $U$ -Hebel bezeichnet werden mag.

Wird auf diesen  $U$ -Hebel ein nach unten gerichteter Druck ausgeübt, so drückt er seinerseits die unter ihm liegenden Contacthebelenden nieder und löst also die drei Contacte. Nun lässt sich mit Hülfe der Stellschrauben  $r$  die Stellung der Platinacontactstifte dermaßen reguliren, dass alle drei Contacte bei genau derselben Lage des  $U$ -Hebels gelöst werden, oder dass doch die Unterschiede der drei Lagen, in welchen die Contactlösungen stattfinden, verschwindend klein sind. Lässt man jetzt den um  $y$  drehbaren Fallhammer  $m$  mit seinem Kopfe aus 10 cm Höhe auf den  $U$ -Hebel herabfallen, so hat der Kopf im Moment des Auftreffens über ein Meter Endgeschwindigkeit in der Secunde. Da er sehr massiv ist, so theilt er diese Geschwindigkeit kaum verkleinert dem  $U$ -Hebel mit, und es leuchtet ein, dass die Lösungszeiten der Contacte im vorliegenden Falle schwerlich um mehr als eine Zehntausendstelsecunde differiren können. Unmittelbar nach Lösung der Contacte springt die federnde Nase  $q$  (welche an dem Knopf  $t$  zurückgezogen werden kann) über die obere Fläche des Hammerkopfes vor und hindert diesen so am Zurückprallen. Unsere Figur stellt den Hammer in seiner erhobenen Lage dar; in dieser Lage wird er dadurch erhalten, dass ein gegen den Hammerdrehpunkt hin

federnder Sperrstift  $o$ , welcher durch ein passend hoch gelegenes Loch des Messingbogens  $B$  hindurch gesteckt worden, in eine entsprechende Vertiefung des Hammerkopfes eingreift. Man braucht nur rasch an dem Knopf  $v$  des Sperrstiftes zu ziehen, damit der Hammer auf den  $U$ -Hebel hinabfällt. Um die Wucht des Aufprallens zu mildern, ist unter den davon betroffenen Contacthebelenden eine Filzplatte  $z$  angebracht. Zwei (in der Figur unsichtbare) Spiralfedern dienen außerdem dazu, um bei erhobener Lage des Hammers das Gewicht des  $U$ -Hebels zu compensiren, damit dieser nicht zu stark auf die Contacthebel aufdrückt und dadurch die Contacte unsicher macht.

Der vorstehend beschriebene Controlapparat wird nun bei der angegebenen Versuchsanordnung derart angewandt, dass mit Hilfe der Klemmschrauben  $e$  und  $i$  einer seiner Contacte in den einen, ein zweiter in den anderen Schreibstromkreis eingeschaltet wird; den dritten zu 7 und 8 gehörigen Contact lassen wir ebenso wie den dritten Schreibelectromagneten bei der als Beispiel gebrauchten Versuchsanordnung außer Betracht. Während der psychologischen Versuche bleibt nun der Hammer in seiner erhobenen Lage, die Ströme gehen also ungehindert durch die Contacte hindurch. Zum Zwecke der Controlversuche dagegen werden beide Telegraphentaster durch Gewichte in ihrer niedergedrückten Lage erhalten, so dass sie von den Strömen passirt werden können. Nun lässt man den Hammer fallen und registriert auf der Chronographenwalze die erfolgenden Contactlösungen. Nach dem, was oben gesagt ist, wird man im allgemeinen eine Zeitdifferenz zwischen beiden Ausbiegungspunkten erhalten, obwohl man sicher weiß, dass die entsprechenden Stromunterbrechungen gleichzeitig stattgefunden haben. Diese »scheinbare« Zeitdifferenz, berechnet als Mittel aus mehreren Versuchen, hätte man offenbar bei den psychologischen Reactionsversuchen nur in Abrechnung zu bringen, um fehlerfreie Resultate zu erhalten.

Die genaue Bestimmung der Ausbiegungspunkte macht begreiflicherweise Schwierigkeiten, unter denen auch die Präcision der Zeitbestimmungen leidet. Es lag daher der Gedanke nahe, bei Ablesung der beschriebenen Bogen sich nicht auf jene Ausbiegungspunkte, sondern auf die sehr viel schärfer markirten Ecken der Schreibcurven zu beziehen, welche beim Anprallen der Anker gegen ihre oberen Wider-

halte entstehen<sup>1)</sup>. (Vergl. die beigegebene Reproduction, in welcher die erwähnte Ecke durch eine auf die untere Wellenlinie gezogene Senkrechte markirt ist.) Möglicherweise sind die Zwischenzeiten zwischen dem Moment dieses Anpralles und der wirklichen Contactlösung für alle Fälle constant genug; und Controlversuche muss man ja doch einmal machen. In der That wird diese Vermuthung bestätigt.

Um zu zeigen, wie genau Chronograph und Controlapparat zu arbeiten vermögen, theile ich zwei Reihen von Controlversuchen mit, die ich eigens zum Zwecke der Prüfung beider Apparate angestellt habe. Man kann die Schreibelectromagnete und ebenso die Controlcontacte ein für allemal in einfacher Weise numeriren. In der Versuchsreihe *A* wurde nun der Controlcontact *I* in den Stromkreis des Elektromagneten *1*, der Controlcontact *II* in den Stromkreis des Elektromagneten *2* eingeschaltet. In der Versuchsreihe *B* dagegen wurde *I* mit *2* und *II* mit *1* verbunden. Sonst waren während aller Versuche beider Reihen die Umstände unveränderlich dieselben. Bei Ablesung aller registrirten Versuche wurde die größte Genauigkeit erstrebt. In den mitgetheilten Versuchstabellen (f. S.) gibt nun die

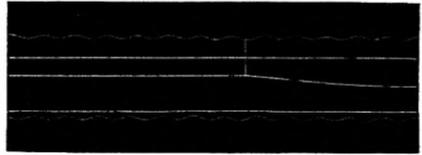


Fig. 2.

mit  $\delta$  überschriebene Spalte an, um wie viel Millimeter im einzelnen Versuche die in beiden Curvenecken errichteten Normalen (zur geradlinigen Fortsetzung) von einander abstehen. Die Spalte  $10\sigma$  theilt ferner die Länge der bei dem betreffenden Versuch zunächst liegenden zehn einfachen Stimmgabelschwingungen mit. Der Quotient beider Zahlen bedeutet demnach so viel, als den in einfachen Stimmgabelschwingungen ausgedrückten Zeitabstand der Aufprallmomente; er ist unter  $v$  oder  $h$  zu finden, je nachdem die Commutatoren der Schreibelectromagneten bei dem betreffenden Versuche nach vorn oder hinten umgelegt wurden. Endlich ist noch zu bemerken, dass der Anker des Elektromagneten *1* stets eher als derjenige des Elektromagneten *2* aufgeprallt ist.

Für die Versuchsreihe *A* ergibt sich als »wahrscheinlicher Fehler des einzelnen Versuchesresultates«:  $\pm 0,11$ , als wahrscheinlicher Fehler

1) Diese Wiederhalte bestehen einfach in streng verstellbaren Schraubenmuttern.

des arithmetischen Mittels« sogar nur  $\pm 0,03$ . Analog folgen für die Versuchsreihe *B* die Zahlen  $\pm 0,08$  bzw.  $\pm 0,03$ . Alle diese Zahlen bedeuten ebenso wie die unter *v* und *h* verzeichneten Zahlen der Tabelle einfache Stimmgabelschwingungen, m. a. W. (nahezu genau) Tausendstelsekunden.

Versuchsreihe <i>A</i>				Versuchsreihe <i>B</i>			
$\delta$	10 $\sigma$	<i>v</i>	<i>h</i>	$\delta$	10 $\sigma$	<i>v</i>	<i>h</i>
(mm)	(mm)						
6,3	25,2	2,50		6,7	26,6	2,52	
5,3	23,1		2,29	7,3	29,2		2,50
6,2	27,2	2,28		7,9	30,6	2,58	
6,7	30,1		2,23	7,3	31,3		2,33
6,1	25,0	2,44		8,2	32,0	2,56	
8,0	29,8		2,69	7,2	31,7		2,27
7,2	32,3	2,23		7,8	31,2	2,50	
8,2	33,5		2,45	7,4	31,4		2,36
7,7	34,3	2,24		7,9	29,7	2,66	
7,7	34,5		2,23	7,6	29,6		2,57
Summa		11,69	11,89	Summa		12,82	12,03
Summa		23,58		Summa		24,85	
		ar. Mittel: 2,36				ar. Mittel: 2,48	

Man bemerkt weiterhin, dass die arithmetischen Mittel beider Reihen eine Differenz von nur 0,12 einfachen Schwingungen aufweisen. Diese Thatsache ist nicht ohne Interesse. Eine einfache Ueberlegung zeigt nämlich, dass, wenn (trotz aller bei der Einstellung verwandten Sorgfalt) die Lösungen der beiden Controlcontacte doch nicht gleichzeitig, sondern um eine Zeit  $\tau$  getrennt stattfinden, dass dann die Resultate der Versuchsreihen *A* und *B* theoretisch um  $2\tau$  abweichen müssen. Man erkennt also ohne weiteres, dass im vorliegenden Falle die Zeit  $\tau$  unbedingt vernachlässigt werden kann.

In Anbetracht der außerordentlichen Constanz obiger Controlzeiten wird es bei der zum Beispiele gewählten Versuchsanordnung vollständig genügen, wenn jedesmal am Anfang und am Ende des beruhten Bogens je ein Controlversuch (beide womöglich mit entgegengesetzten Commutatorlagen) registriert wird. In der Mitte werden dann noch sehr wohl 20 bis 25 Reactionsversuche Platz finden.