2. *Über eine neue Methode zur Dämpfung oszillierender Galvanometerausschläge; von W. Einthoven.*

(Hierzu Taf. II, Figg. 1—8.)

(Aus dem physiologischen Laboratorium der Universität Leyden.)

Bei einer Anzahl von Untersuchungen, welche die Anwendung eines Galvanometers oder eines Elektrometers erfordern, ist es erwünscht, die oszillierenden Ausschläge, welche die meisten dieser Instrumente unter vielen Umständen zeigen, zu dämpfen. Man verwendet entweder eine mechanische oder eine elektromagnetische Dämpfung, oder aber man kombiniert beide, um desto mehr Effekt zu erzielen.

Bei einigen Werkzeugen, z. B. beim Galvanometer von Deprez-d'Arsonval mit beweglicher Spule in einem festen magnetischen Felde, kann die elektromagnetische Dämpfung, ohne absichtlich angebracht zu werden, schon so bedeutend sein, daß die Ausschläge ihren oszillierenden Charakter verloren haben und ganz aperiodisch geworden sind. Die Bewegungen sind dabei verlangsamt. Die Verlangsamung kann sehr groß sein und dadurch hinderlich werden, sogar in solchem Maße, daß das Instrument praktisch unbrauchbar wird. Man wendet dann Mittel an, die Dämpfung zu verringern, z. B. indem man den Galvanometerwiderstand vergrößert.

Um in einem Nadelgalvanometer eine elektromagnetische Dämpfung anzubringen, umhüllt man das bewegliche Magnetsystem mit einer Masse von gut leitendem Kupfer, worin während der Bewegung der Nadeln dämpfende Wirbelströme erweckt werden.

Mechanische Dämpfung wird in der Form von Flüssigkeits oder Luftdämpfung angebracht, wobei öfters dünne Aluminium- oder Micaplatten, oder auch Insektenflügel Verwendung finden.

Die in diesem Aufsatze näher zu beschreibende Dämpfungsweise weicht gänzlich von den oben erwähnten Methoden ab.

Man erhält sie bei Verwendung eines Kondensators, der, wie in Fig. 1 gezeigt wird, mit den Enden des Galvanometerdrahtes leitend verbunden wird. In der Figur bedeutet E einen Stromgeber, mit Hilfe dessen ein willkürlicher Potentialunterschied zwischen den Punkten P und P_1 angebracht werden kann. G ist das Galvanometer und C der Kondensator.

Man stellt sich die Wirkung des Kondensators am einfachsten vor, wenn man annimmt, daß die Masse des bewegenden Teiles im Galvanometer gleich Null ist, und daß die eventuellen Ursachen für die Dämpfung der Bewegung sich Null nähern. Ist unter diesen Umständen die Kapazität des Kondensators gleich Null, so wird beim plötzlichen Anbringen

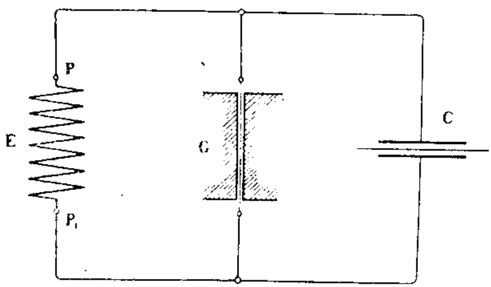

Fig. 1.

eines Potentialunterschiedes zwischen P und P_1 das Galvanometer auch plötzlich die entsprechende Gleichgewichtslage einnehmen. Ist dahingegen eine gewisse Kapazität vorhanden, so wird für die Erzielung eines Ausschlages eine bestimmte Zeit erforderlich sein.

Die Weise, worauf das Spiegelbild — oder im Saitengalvanometer der Quarzfaden — sich bewegt, wird dabei gänzlich bestimmt durch die Weise, auf die ein Kondensator sich ladet oder entladet. Nennt man a den Ausschlag des Galvanometers zur Zeit t nach dem Anbringen des Potentialunterschiedes, und A den bleibenden Ausschlag, so ist

$$a = A\left(1 - e^{-\frac{t}{wc}}\right),$$

worin e die Grundzahl der natürlichen Logarithmen, c die

Kapazität des Kondensators und w' einen Widerstand bedeutet, der leicht näher definirt werden kann.

Im geschlossenen Kreise, der den Stromgeber und das Galvanometer enthält, sei der äußere Widerstand gleich W_a, der Widerstand des Galvanometers sei W_i, während wir annehmen, daß der Widerstand der Drähte, die den Kondensator mit dem Galvanometer verbinden, vernachlässigt werden darf; dann ist

$$w' = \frac{W_i\, W_a}{W_i + W_a}. \tag{1}$$

Der Wert $w'c$ ist die Zeitkonstante des Ausschlages

$$w'c = T.$$

Drückt man w' in Ohm und c in Farad aus, so wird T in Sekunden wiedergegeben.

Wird der Galvanometerausschlag auf einer Fläche registriert, die sich gleichförmig bewegt, so erhält man eine Kurve, die den Ausdruck einer exponentiellen Funktion darstellt und mit den bekannten Normal- oder Eichungskurven des Kapillarelektrometers übereinstimmt.[1])

Die Konstanten der Kurve werden dabei außer durch die Bewegungsgeschwindigkeit der Schreibfläche und die Größe des Ausschlages nur noch allein durch den Wert von T bestimmt. Indem man w' und c verändert, ist man imstande, den Betrag von T willkürlich zu regulieren, woraus folgt, daß man imstande ist, den Galvanometerausschlag in jedem willkürlichen Maße zu verlangsamen oder zu dämpfen.

Obenstehende Voraussetzungen werden durch die unmittelbaren Beobachtungen bestätigt. Als Beispiel reproduzieren wir hier drei Kurven — Figg. 1—3, Taf. II —, die mit dem Saitengalvanometer[2]) geschrieben worden sind. Die Drahtverbindungen sind schematisch in nachstehender Fig. 2 dargestellt. Hierin bedeutet E eine Batterie von Elementen, S einen Stromschlüssel, G das Galvanometer und C den Kon-

1) Vgl. u. a. W. Einthoven, Pflügers Archiv f. d. gesamte Physiol. **56.** p. 528. 1894; „Onderzoekingen", Physiol. Laboratorium Leiden, 2. Reihe I.

2) Vgl. W. Einthoven, Ann. d. Phys. **12.** p. 1059. 1903; **14.** p. 182. 1904.

densator, während A, B und R Widerstände darstellen. Die Empfindlichkeit des Galvanometers ist in den drei Fällen ungefähr dieselbe, und zwar so, daß 1 mm Ausschlag einer Stromstärke von 2×10^{-7} Amp. entspricht, während die elektromotorische Kraft der Batterie E und die Widerstände A, B und R so gewählt worden sind, daß man bei Stromdurchführung eine bleibende Abweichung von 20 mm erhält. Die Bewegungsgeschwindigkeit der Schreibfläche beträgt 500 mm pro Sekunde. In der Netzteilung von Quadratmillimetern auf den Photogrammen[1]) ist also Absz. 1 mm = 0,002 Sek. und Ordin. 1 mm = 2×10^{-7} Amp. Die Schließung und Öffnung des

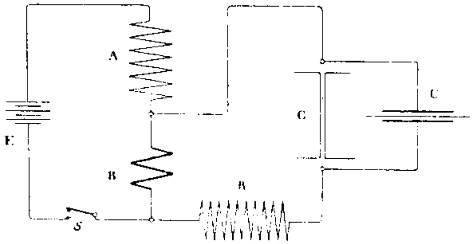

Fig. 2.

Kreises in S fand mittels einer mit der bewegenden Schreibfläche verbundenen Vorrichtung automatisch statt.

Für R nahmen wir einen Kohlenrheostat mit großem Widerstande, und B war im Verhältnis zu R sehr klein. Ohne merklichen Fehler durfte $W_a = R$ gesetzt werden. In Figg. 1 und 2, Taf. II war $W_a = 1{,}11$ Megohm, während in Fig. 3 W_a 117000 Ohm betrug. Der Galvanometerwiderstand war $W_i = 8600$ Ohm.

In Fig. 1, Taf. II ist die Kapazität des Kondensators gleich Null. Man sieht, daß die Saite schwingende Bewegungen macht mit einer Periode von ungefähr 1,3 mm = 2,6 σ.[2]) Diese Bewegungen werden gedämpft, indem man eine gewisse Kapazität in den Kondensator einschaltet. In Fig. 2, Taf. II ist die Kapazität gleich 0,94 Mikrof., in Fig. 3, Taf. II gleich 0,2 Mikrof.

1) Über die Registriermethode und über die Netzteilung in Quadratmillimetern vgl. W. Einthoven, l. c.

2) $1\,\sigma = 0{,}001$ Sek.

Berechnet man den Wert von w' aus W_i und W_a nach Formel (1), und weiter die Zeitkonstante $T = w' c$, so findet man für die Zeitkonstante von Fig. 2, Taf. II 8,0 σ, für die von Fig. 3, Taf. II 1,6 σ, und es ist deutlich, daß das Maß der Verlangsamung oder der Dämpfung der Bewegung durch den Betrag der Zeitkonstante bestimmt wird.

Im Obigen sind wir deutlichkeitshalber vom einfachsten Fall ausgegangen, und haben wir angenommen, daß die Masse m der Saite und die Kräfte, die auch ohne Anwendung des Kondensators wirksam sind, ihre Bewegung zu dämpfen, und die wir sämtlich mit r andeuten wollen, vernachlässigt werden dürfen. Dieser angenommene Fall wird sich um so mehr der Wirklichkeit nähern, je größer unter übrigens gleichen Umständen T genommen wird. Fig. 2, Taf. II genügt also in dieser Hinsicht den gestellten Forderungen besser als Fig. 3, aber die große praktische Bedeutung der Methode liegt gerade in der Möglichkeit, die Schwingungen bei minimaler Verlangsamung des Ausschlages zu dämpfen. Man wird bei der Ausführung verschiedener Messungen immer versuchen, T so zu wählen, daß man gerade die Grenze zwischen der oszillierenden und der aperiodischen Bewegung erhält. In diesen Umständen ist T relativ klein und dürfen m und r nicht mehr vernachlässigt werden.

Die Frage taucht jetzt auf, wie bei bekannten Werten von m und r der Betrag von T berechnet werden muß, um den erwähnten Grenzfall zu erzielen.

Gelegentlich dürfen wir hier daran erinnern, daß beim Kapillarelektrometer die Dämpfung der Bewegung des Quecksilbermeniskus auch aus mechanischer Reibung und Verlangsamung durch Kapazität zusammengesetzt ist.[1] Und die Zusammenwirkung dieser beiden Einflüsse hat eine Bewegung zur Folge, die entweder ganz genau oder mit nur geringen Abweichungen durch eine einfache exponentielle Funktion aus-

1) Einige Forscher haben zwar gemeint, daß die Bewegung im Kapillarelektrometer nur durch die Ladung des Quecksilbermeniskus beherrscht werde, aber in Wirklichkeit spielt hier die Dämpfung durch mechanische Reibung eine viel größere Rolle. Vgl. Pflügers Arch. f. die gesamte Physiol. **79.** p. 1. 1900; „Onderzoekingen", Physiol. Labor. Leiden II. 4.

gedrückt wird. Der Widerstand der Luft- oder Flüssigkeitsdämpfung, ebenso wie derjenige der elektromagnetischen Dämpfung, üben auf die Bewegung eines Objektes mit einer gewissen Masse gerade denselben Einfluß aus wie der Leitungswiderstand auf die Elektrizitätsbewegung bei der Ladung oder Entladung eines Kondensators.

Es liegt jedoch auf der Hand, daß die Verbindung eines Kondensators mit dem Galvanometer die Saitenbewegungen nicht immer auf dieselbe Weise beeinflußt wie eine Vergrößerung der mit r angedeuteten dämpfenden Kräfte. Denn die Verbindung mit dem Kondensator wirkt wie eine zeitliche Veränderung der angewendeten Kraft. Und die Weise, auf welche die Kraft von Augenblick zu Augenblick vermehrt oder verringert wird, wird dabei nicht — wie die mechanische und elektromagnetische Dämpfung — durch die Bewegung der Saite, wohl aber durch das Produkt aus Leitungswiderstand und Kapazität, $w'c = T$, bestimmt.

Bei der Anwendung der Kondensatormethode kann die Art und Weise der Saitenbewegung nahe beim Grenzfall der Aperiodizität nur durch eine relativ komplizierte Formel wiedergegeben werden. Ich habe es darum unterlassen, für diesen Grenzfall den Wert von T zu berechnen, und unmittelbare experimentelle Bestimmungen vorgezogen.

Als Beispiel mögen hier einige Kurven reproduziert werden, welche die Saitenbewegung im erwähnten Grenzfall näher demonstrieren.[1]) Die Figg. 4, 5 und 6, Taf. II sind mit derselben Saite angefertigt wie die früheren Figuren. Für die Drahtverbindung erinnern wir an Textfigur 2. Der Ausschlag ist jetzt 30 mm. Wieder ist Absz. 1 mm = 0,002 Sek. und Ordin. 1 mm = 2×10^{-7} Amp.

$$R = 1300 \text{ Ohm},$$

$$B = \quad 27 \quad ,,$$

$$W_i = 8600 \quad ,,$$

1) Die reproduzierten Photogramme der Taf. II können die Kurven nicht in feinen Einzelheiten genau wiedergeben. Ich werde darum die unmittelbaren Kopien der ursprünglichen Negative den Fachgenossen gerne auf Anfrage übersenden.

woraus man berechnet, daß

$$W_c = 1327 \quad \text{und} \quad w' = 1148 \text{ Ohm.}$$

In Fig. 4 ist die Kapazität des Kondensators = 0, also $T = 0$.
In Fig. 5 „ „ „ „ „ = 0,6 μf, „ $T = 0{,}69\ \sigma$.
In Fig. 6 „ „ „ „ „ = 0,7 μf, „ $T = 0{,}80\ \sigma$.

Man sieht, daß die schwingende Bewegung, deren Periode ungefähr 2,7 σ beträgt, durch Anwendung der Kondensatormethode gedämpft wird und daß die Zeitkonstanten T von 0,69 und 0,80 σ, die mit Hilfe der Kapazitäten 0,6 und 0,7 μf erzielt wurden, erforderlich sind, um den erwünschten Grenzwert der Aperiodizität zu erreichen.

In Fig. 5, Taf. II ist bei Anwendung der Kapazität 0,6 μf der Grenzwert noch nicht ganz erreicht, in Fig. 6, Taf. II ist bei Anwendung der Kapazität 0,7 μf der Grenzwert schon überschritten.

Die beiden letztgenannten Photogramme zeigen, daß die Saitenbewegung bei diesem Grenzwert nicht sehr einfach ist. Bei der kleinen Schwingung, die in Fig. 5, Taf. II übrig geblieben ist, überschreitet die Saite, nachdem sie einen Ausschlag von 30 mm gemacht hat, die neue Gleichgewichtslage um 0,5 mm, und schlägt danach zurück bis auf einen Punkt, der noch 0,3 mm unter der genannten Gleichgewichtslage liegt. Das Verhältnis der Größen dieser Ausschläge stimmt nicht zu den Gesetzen, durch welche überhaupt gedämpfte Schwingungen beherrscht werden. Außerdem wird der erste Wendepunkt nach 2 σ, der zweite nach 1 σ erreicht, während bei gedämpften Schwingungen, wie sie gewöhnlich vorkommen, die genannten Zeiten übereinstimmen.

In Fig. 6, Taf. II kommt die Saite nach ungefähr 0,002 Sek. auf einer Distanz von 0,3 mm von der neuen Gleichgewichtslage zum Stillstand, macht jetzt eine kleine Bewegung in entgegengesetzter Richtung, und erreicht dann erst die Gleichgewichtslage. Begnügt man sich bei der Messung einer Stromstärke mit einer Genauigkeit von 2 Proz., so ist das Resultat in ungefähr 1,5 σ bekannt.

Ein anderes Beispiel findet man in Figg. 7 und 8, Taf. II. Diese Photogramme sind auf ähnliche Weise angefertigt worden wie die unmittelbar vorhergehenden, aber die Saite ist hier leichter, hat einen größeren Leitungswiderstand und ist etwas stärker angespannt.

Absz. 1 mm = 0,002 Sek., Ordin. 1 mm = 3×10^{-7} Amp., $W_i = 17800$, $W_a = 20000$, also $w' = 9420$ Ohm.

In Fig. 7, Taf. II ist die Kapazität gleich Null, in Fig. 8 ist dieselbe gleich 0,05 μf, also $T = 0{,}47\,\sigma$. Im letzgenannten Photogramm zeigt die Saite nach ungefähr 1,1 σ, gerade in der neuen Gleichgewichtslage, einen Wendepunkt. Sie schlägt noch 0,9 mm rückwärts, und nimmt danach aufs neue, aber jetzt bleibend, die genannte Gleichgewichtslage ein.

Begnügt man sich bei der Messung einer Stromstärke mit einer Genauigkeit von 3 Proz., so ist das Resultat in 0,8 σ bekannt. Verlangt man eine Genauigkeit von 0,3 Proz., so wird das Resultat erst nach 2,2 σ erhalten.

Diese Beispiele mögen genügen, um zu zeigen, was man von der Methode erwarten kann. Konnten wir auch nicht über eine strenge Formel verfügen, so haben wir uns doch selbstverständlich durch theoretische Erwägungen leiten lassen, jedesmal als wir den richtigen Betrag von T zu finden suchten. Eine dieser Erwägungen lief unter anderem darauf hinaus, daß bei einer gegebenen Saite und unveränderlichen Widerständen, die für den Grenzwert der Aperiodizität erforderliche Kapazität um so geringer sein muß, je nachdem die Saite stärker gespannt ist. Denn bei größerer Saitenspannung wird die Schwingungsperiode t kleiner, und man darf erwarten, daß der zu findende Betrag der Zeitkonstante T im gleichen Sinne wie die Periode t veränderlich sein wird.

Diese Erwägung führt zu einigen paradoxal klingenden Schlüssen. So muß man z. B. erwarten, daß die durch Anwendung der Kondensatormethode aperiodisch gemachte Bewegung einer stark gespannten Saite wieder oszillierend wird, sobald man die Spannung verringert und dadurch die Bewegung verlangsamt. Eine derartige Erwartung scheint mit der Erfahrung im Widerspruch zu sein, die wir immer bei anderen Galvanometern, ja man darf sagen, die wir ohne Ausnahme bei allen denjenigen Instrumenten machen, wobei schwingende Bewegungen beobachtet werden.

Ich war gespannt auf das Ergebnis der Untersuchung und in der Tat wurden meine Erwartungen bestätigt. Ein Quarzfaden, dessen Spannung so reguliert wurde, daß 1 mm bleibender Ausschlag einer Stromstärke von 2×10^{-7} Amp. entsprach, zeigte beim plötzlichen Durchleiten oder Abbrechen eines Stromes (vgl. die Textfigur 2) eine Anzahl von Schwingungen. Durch Einschaltung einer Kapazität gleich $0{,}135\,\mu f$ wurde die Bewegung gedämpft, und zwar dermaßen, daß die Grenze der Aperiodizität erreicht wurde. Darauf wurde die Saitenspannung genau viermal abgeschwächt, so daß 1 mm Ausschlag durch 5×10^{-8} Amp. erzeugt wurde. Die Schwingungen kamen jetzt wieder zum Vorschein. Und erst nachdem die eingeschaltete Kapazität bis auf $0{,}40\,\mu f$ vergrößert war, konnten die Schwingungen wieder zum Verschwinden gebracht werden. Bei viermal geringerer Spannung, d. h. bei viermal größerer Empfindlichkeit, mußte die Kapazität und damit der Betrag von T 2,96 mal vergrößert werden, um den Grenzwert der Aperiodizität zu erreichen.

Die Beobachtungen mit anderen Quarzfäden, deren Spannungen in verschiedenem Maße variiert wurden, ergaben immer ähnliche Resultate: bei starker Spannung wird ein geringer Betrag, bei einer schlafferen Saite ein größerer Betrag von $w'c$ erfordert, um eventuelle Schwingungen zu beseitigen.

Hält man w' unverändert, so hat man in einem Kondensator, worin man mittels Stöpsel verschiedene Kapazitäten einschaltet — ähnlich wie die Widerstände eines Stöpselrheostaten — ein leichtes Mittel, den Grad der erwünschten Dämpfung genau zu regulieren. Und es ist merkwürdig, daß man eine um so geringere Menge des dämpfenden Mittels nötig hat, je weiter die Schwingungen über den Nullpunkt hinüberschlagen und je länger sie anhalten, je größer also das Bedürfnis, zu dämpfen ist. Die Erscheinung, daß man — ohne irgendwelche Veränderung in den übrigen Umständen anzubringen — nur durch eine Verringerung der Spannung, d. h. — wenn der Ausschlag gleich groß bleibt — durch eine Verkleinerung der bewegenden Kraft eine aperiodische Bewegung in eine schwingende verwandelt, steht ganz isoliert da, und hat, soweit mir bekannt ist, kein Analogon weder elektrisch noch mechanisch und ebensowenig in wissenschaftlichen Instrumenten wie in der Industrie oder Technik.

Wir wünschen jetzt noch einige Messungsresultate mitzuteilen, die, obgleich sie den Mangel einer einfachen Formel nicht ersetzen können, doch dazu beitragen dürften, die Methode in ihrer Anwendung besser kennen zu lernen.

1. Vergrößert man die schon vorhandenen dämpfenden Einflüsse, z. B. verstärkt man die elektromagnetische Dämpfung, indem man den Widerstand im Galvanometerkreise verringert, so genügt beim selben Quarzfaden und bei unveränderter Spannung ein geringer Betrag von T, um den Grenzwert der Aperiodizität zu erzielen.

2. Bringt man die Veränderung der elektromagnetischen Dämpfung, die durch einen Unterschied im Betrage von W_a erzeugt wird, in Rechnung, so ist es weiter gleichgültig, wie man die einzelnen Faktoren w' und c wählt. Wenn ihr Produkt $w' c = T$ nur einen unveränderlichen Betrag beibehält, wird auch der dämpfende Einfluß unverändert bleiben. Dieser wird also nur durch das Produkt T bestimmt.

3. Ist die Quarzfadenbewegung schwingend und wendet man die Kondensatormethode an, indem man mit kleinen Beträgen von T anfängt und allmählich mehr nimmt, bis man den Grenzwert der Aperiodizität erhält, so wird man beobachten, daß die Vergrößerung von T nicht immer eine regelmäßige Vermehrung der Dämpfung zur Folge hat. Namentlich bei schwacher Quarzfadenspannung, wobei sich doch schon nicht mehr als ein paar kleine Schwingungen zeigen, sieht man eine Unregelmäßigkeit zum Vorschein kommen. Die Hinzufügung einer sehr geringen Kapazität kann dann sogar die vorhandenen Schwingungen ein wenig vergrößern.

Ist einmal ein solcher Betrag von T angewendet, daß die Grenze der Aperiodizität erreicht ist, so braucht man T nur wenig zu vergrößern, um eine regelmäßige Kurve zu bekommen. Bei weiterer Vergrößerung von T wird die Bewegung dann immer mehr verlangsamt, wobei die regelmäßige Form der Kurve beibehalten bleibt.

4. Um einigermaßen über den Betrag der Zeitkonstante T urteilen zu können, die in verschiedenen Umständen für die Erreichung des Grenzwertes der Aperiodizität erforderlich ist, geben wir in untenstehender Tabelle die Ergebnisse einiger oben schon teilweise erwähnter Messungen.

W_i in Ohm	W_a in Ohm	w' in Ohm	c in Mikrof.	$T = w'c$ in Tausendstel einer Sekunde	t in Tausendstel einer Sekunde	k Dämpfungsverhältnis
8600	117000	8000	0,40	3,2	7,7	7,6
8600	117000	8000	0,135	1,08	2,7	3,1
8600	$1{,}11 \times 10^6$	8520	0,12	1,02	2,64	3,1
8600	1327	1148	0,65	0,75	2,7	4,5
17800	20000	9420	0,05	0,47	1,41	3,16

Die fünf ersten Kolumnen obenstehender Tabelle bedürfen keiner näheren Erklärung: sie geben die Leitungswiderstände, die Kapazitäten und die Werte der Zeitkonstanten T an. Bei den genannten Werten von T wurde gerade die Grenze der Aperiodizität erreicht.

In den beiden letzten Reihen ist angegeben worden, auf welche Weise die Saite schwingt, wenn die Kapazität des Kondensators und damit also auch $T = 0$ ist. In der vorletzten Kolumne findet man die Periode t in Tausendstel einer Sekunde ausgedrückt, während in der letzten Kolumne das Dämpfungsverhältnis k eingetragen ist. Die Beobachtungsreihen sind nach den Werten von T angeordnet.

Schließlich mögen hier einige Bemerkungen über die Umstände folgen, unter welchen die Kondensatormethode praktisch mit Erfolg angewendet werden kann. Vorläufig wird diese Anwendung wohl auf solche Meßinstrumente beschränkt bleiben, die einen großen inneren Widerstand besitzen und eine kurze Schwingungsperiode zeigen. Ein Galvanometer für Thermoströme mit kleinem inneren Widerstande und großer Schwingungsperiode würde für die Dämpfung nach der Kondensatormethode einen Kondensator von enormer Kapazität erfordern. Die leicht regulierbaren Mica oder Papierkondensatoren kämen dafür nicht in Betracht, weil sogar die größten Modelle, welche sich im Handel befinden, noch hunderttausendmal zu klein sein würden. Man müßte also seine Zuflucht zu einer anderen Art von Kondensatoren, z. B. elektrolytischen nehmen, und man müßte noch besonders untersuchen, inwiefern diese tatsächlich für den beabsichtigten Zweck praktisch brauchbar gemacht werden können.

Der Anforderung einer kurzen Schwingungsperiode bei relativ hohem inneren Widerstande genügt, soweit mir bekannt, außer dem Saitengalvanometer nur noch *ein* anderes Instrument: der Oszillograph. Hierin findet die Dämpfung mit warmem Öl statt. Die Temperatur des Oles bestimmt seine Viskosität, und die Regulierung der Dämpfung wird im Oszillograph denn auch durch die Regulierung der Öltemperatur erzielt.

Man verwendet auch wohl ein Gemisch von zwei Flüssigkeiten, von welchen die eine eine große, die andere eine geringe Viskosität besitzt. Man wählt das Gemisch so, daß gerade die erwünschte Viskosität erzielt wird. Wir müssen es bezweifeln, ob das Werkzeug an praktischer Brauchbarkeit gewinnen würde, wenn man die visköse Flüssigkeit wegließe und durch einen Kondensator ersetzte.

Im Saitengalvanometer wird die Kondensatormethode dort mit Erfolg angewendet werden, wo man Stromänderungen von sehr kurzer Dauer zu messen wünscht. Nimmt man einen sehr kurzen, stark gespannten Quarzfaden als Saite, so wird man tatsächlich Ausschläge bekommen können, die an Geschwindigkeit nur wenig zu wünschen übrig lassen. Diese wären ohne Kondensator wegen der vorhandenen Schwingungen für viele Zwecke unbrauchbar, während sie jetzt durch eine zweckentsprechende Dämpfung für viele physische und elektrotechnische Untersuchungen Nutzen haben können. Und dabei wird sich das Saitengalvanometer bei gleicher Ausschlagsgeschwindigkeit als ein viel empfindlicheres Instrument zeigen als der Oszillograph.

Auch bei einer Anzahl von elektro-physiologischen Untersuchungen wird man aus der Kondensatormethode Nutzen ziehen können, während sie namentlich das Studium des Schalles erleichtern wird. Darüber hoffe ich in einem späteren Aufsatze eine nähere Mitteilung zu machen.

(Eingegangen 23. Oktober 1904.)