X. Zur Theorie selbstthätiger Stromunterbrecher; von V. Dvořák.¹⁾

Die bisherige Theorie des Wagner'schen Hammers und ähnlicher Apparate, wie sie schon im Jahre 1839 von Neeff aufgestellt wurde, ist gänzlich verfehlt. Darauf hat wohl zuerst Rayleigh hingewiesen²⁾ und als Grund der Wirkung die Verspätung des Contactes und die Selbstinduction angegeben. Auf die Rayleigh'sche Erklärung habe ich im Jahre 1884³⁾ aufmerksam gemacht. Weiter benutzte 1886 Silv. P. Thompson die Theorie Rayleigh's.⁴⁾ Im Januar 1889 erschien meine Mittheilung⁵⁾, welche hauptsächlich die Wirkung der Selbstinduction hervorhebt und kurz darauf eine Arbeit von Koppe⁶⁾, worin er die Unrichtigkeit der althergebrachten Theorie nachweist. Auch Gregory's Mittheilung⁷⁾ hat die Rayleigh'sche Theorie zur Voraussetzung. Den Stand der Frage zu Ende 1889 suchte ich in einem kurzen, mit historischen Bemerkungen versehenen Aufsatz⁸⁾ darzustellen. Seitdem habe ich weitere Untersuchungen angestellt, die hier kurz angeführt werden sollen.

Bei der alten Theorie wurde die Wirkung des Electromagnets E auf den Anker K (Fig. 1) während des Zurückgehens von O nach f (in der „ungünstigen Periode“) übersehen, und blos die Anziehung bei der Bewegung von f nach O (in der „günstigen Periode“) beachtet; beide Wirkungen heben sich auf (falls man von weiteren, sehr wichtigen Um-

1) Mit theilweiser Benutzung einer im „Rad jugoslavenske akademije“ veröffentlichten Mittheilung des Verfassers.

2) Rayleigh, Theorie des Schalles, übers. von Neesen, 1877. p. 82.

3) V. Dvořák, Zeitschr. f. Electrotechnik. Wien 1889. p. 33.

4) S. P. Thompson, Phil. Mag. (5) 22. p. 216. 1886.

5) V. Dvořák, Wien. Ber. 98. p. 55. 1889.

6) Koppe, Zeitschr. f. phys. u. chem. Unterr. 2. p. 232. 1889.

7) Gregory, Phil. Mag. (5) 28. p. 490. 1889.

8) V. Dvořák, Zeitschr. f. Instrumentenkunde. 10. p. 43. 1890.

ständen absieht) und können daher nichts zur Unterhaltung der Schwingungen beitragen. Nimmt man an, dass die Blattfeder *b* in der Ruhelage des Ankers etwas eingedrückt ist, so würden bei der Schliessung des Stromkreises zwar durch den ersten Impuls, den der Anker erhält, Schwingungen entstehen, aber zufolge der Reibung bald verschwinden. Der Anker würde sich dann in eine zweite Ruhelage einstellen, in welcher die Feder *b* nur so stark an die Schraube *a* drückt, dass der Contactwiderstand dem Strome eben gestattet, der Federkraft des Ankers Gleichgewicht zu halten.¹⁾ Dieses würde aus der alten Theorie folgen, falls man weitere Umstände nicht berücksichtigt. Diese Umstände, welche die Schwingungen des Hammers erhalten, sollen nun der Reihe nach erörtert werden.

Fig. 1.

A) Contactverzögerung. Trifft nach Rayleigh der Stift einer electromagnetischen Stimmgabel auf die Oberfläche des Quecksilbers, so tritt der Contact nicht sofort ein, sondern eine merkliche Zeit später, wahrscheinlich infolge der anhängenden Luft. Tritt der Stift aus dem Quecksilber heraus, so bleibt dieses noch einen Moment am Stifte hängen, wenn derselbe, wie Rayleigh voraussetzt, amalgamirt ist.

Ich betrachtete die Quecksilberoberfläche, während das Näpfchen langsam durch eine Schraube gehoben wurde, mit einer schwach vergrößernden Lupe; am Spiegelbild des Platinstiftes konnte man beurtheilen, ob derselbe das Quecksilber eben berührte. Im Stromkreis befand sich ein Daniell-element und eine kleine Tangentenbussole. Ich konnte nur soviel mit Sicherheit erkennen, dass die Quecksilberoberfläche beim Senken des Näpfchens an dem blanken Platinstift hängen blieb und dann plötzlich abbriss, ohne Zweifel infolge der Adhäsion. Auch wenn die Oberfläche mit Alkohol bedeckt ist, tritt dasselbe ein.

Ob beim Eintauchen der Contact sofort eintritt, sobald

1) Siehe die Arbeit von Koppe l. c.

die Platinspitze das Quecksilber berührt, konnte nicht ermittelt werden; auch erreichte der Strom stets sofort seine grösste Stärke; ein langsames Anwachsen konnte selbst bei vorsichtigem Heben des Näpfchens nie beobachtet werden.

Schwingt der Platinstift, so bilden sich auf dem Quecksilber stehende Wellen, von deren Phase es abhängt, wann der Strom geöffnet oder geschlossen wird. Aufgiessen von Alkohol dämpft die Wellen, ohne sie ganz zu beruhigen.

Ob bei Platincontacten, wie dieselben sehr oft verwendet werden, auch eine Verzögerung eintritt, ist schwer zu sagen. Es könnte wohl die anhängende Luft den Contact verzögern, jedoch in geringerem Maasse, als beim Quecksilbercontact, weil das Quecksilber unter dem Drucke viel leichter nachgibt, als ein hartes Metallstück, selbst wenn dasselbe an einer elastischen Feder befestigt ist.

Weiter ist der Widerstand des Contactes von der Temperatur abhängig und dürfte die Erwärmung beim Oeffnen des Stromkreises schon wegen dem Oeffnungsextrastrom bedeutend grösser sein, als beim Schliessen. Der Widerstand der Metalle nimmt mit der Erwärmung zu, und es scheint somit, dass der variable Contactwiderstand beim Oeffnen grösser ist, als beim Schliessen; das würde also nicht eine Contactverzögerung geben, sondern das Gegentheil. Andererseits vermittelt der Oeffnungsfunken dem Strom noch einen Moment den Durchgang, was wieder einer Contactverzögerung gleichkommt. Die Verhältnisse sind besonders bei raschen Stromunterbrechungen zu verwickelt, als dass man ein endgültiges Urtheil fällen könnte.

B) Selbstinduction. Wird in einer Spirale ohne Eisenkern der Strom geschlossen, so entsteht ein Extrastrom, dessen Abhängigkeit von der Zeit durch die Helmholtz'sche Gleichung:

$$(1) \quad i = \frac{E}{R} e^{-\frac{R}{L}t}$$

gegeben ist, wo i die Stärke des Extrastroms, E die electromotorische Kraft der Batterie, R den Gesamtwiderstand, L den Selbstinductionscoefficienten, und t die Zeit bedeutet. Schaltet man die Batterie aus und verbindet gleichzeitig die

Enden der Spirale durch einen Draht von gleichem Widerstand, so ist der Oeffnungsextrastrom ebenfalls durch die Gleichung (1) bestimmt. In Fig. 2 bedeutet die Curve Ocb das Anwachsen des Hauptstromes mit der Zeit, die Curve bdf das Abfallen des Oeffnungsextrastromes; und falls man ab als Abscissenaxe nimmt, stellt die Curve Ocb das Abfallen des Schliessungsextrastromes dar. Die Fläche $Oabc$ stellt die Electricitätsmenge Q des Schliessungsstromes, die Fläche $bdfg$ die Electricitätsmenge Q' des Oeffnungsextrastromes dar¹⁾, für die man findet:

$$(2) \quad Q = Q' = \frac{L}{R^2} E = I_0 \frac{L}{R},$$

wo I_0 die Stärke des constanten Hauptstromes bedeutet. Aus der Gleichung (2) folgt, wenn man für Q, E, R die Dimensionen einsetzt, dass L die Dimension einer Länge hat²⁾; da R die Dimension einer Geschwindigkeit besitzt, so würde $L/R = \tau$ eine Zeit bedeuten; man nennt daher τ die Zeitconstante des Stromkreises. Nach (2) ist dann:

$$Q = I_0 \tau.$$

Da der Stromkreis beim Oeffnen unterbrochen wird, so kann der Oeffnungsextrastrom fast gar nicht zur Entwicklung kommen; der Widerstand nimmt beim Oeffnen sehr rasch von R bis ∞ zu, und dem Verlauf des Stromes entspricht eine Curve bhi , die sehr steil abfällt.

C) Einfluss des Eisens. Setzen wir der Einfachheit halber voraus, dass ein dünner Eisenring mit einer Lage von feinem Draht bedeckt sei. Ist der Selbstinductionscoefficient für die Spirale ohne Eisen $= L$, so ist derselbe mit dem Eisen $L' = \mu L$, wo $\mu = 1 + 4\pi k$ die magnetische Permeabilität bedeutet; k ist der Magnetisirungscoefficient. Dieser

1) Streng genommen müsste man die Abscisse $t = \infty$ nehmen, aber für etwas grössere t ist i unmerklich.

2) Dieses ist nach Rücker nicht ganz begründet, weil bei L noch die magnetische Permeabilität des Mediums in Betracht kommt.

ist nur für kleinere Werthe der magnetisirenden Kraft annähernd constant; es ist dann auch L' constant, und man kann für den Verlauf des Stromes nach der Zeit die früher aufgestellten Gleichungen benutzen, nur hat die Zeitconstante einen grösseren Werth.

Befindet sich ein gerader Eisenkern in einer Electromagnetspule gewöhnlicher Form, so wird dadurch L vergrößert, jedoch bei weitem nicht im Verhältnisse von $\mu:1$; μ ist für schwächere magnetisirende Kräfte beiläufig $= 250$; Ledeböer¹⁾ fand für eine Drahtspule, deren Höhlung ein Eisenkern vollständig ausfüllte, $L' = 10L$. Verbindet man die Pole eines Hufeisenelectromagnets durch einen Anker, so nähert man sich dem idealen Fall eines Ringes; L' wird um vieles grösser. Selbst wenn der Anker den Polen nahe steht, hat dies einen grossen Einfluss auf L' . So fand Kenelly²⁾ für ein gewöhnliches Telegraphenrelais $L' = 9$ Henry, wenn der Anker aufgelegt war; ohne Anker bloss 3 Henry. War der Anker in seiner gewöhnlichen Lage nahe vor den Polen, so war $L' = 5$ Henry.³⁾

1) Ledeböer, Journ. de phys. 6. p. 335. 1887.

2) Kenelly, Zeitschr. f. Electrotechn. Wien p. 138. 1891.

3) Was den Selbstinductionscoefficienten betrifft, so sind sowohl Definition als Benennung sehr verschiedenartig. Man findet die Ausdrücke „Selbstpotential“, „electromagnetische Capacität“ (nach Kohlrausch, prakt. Physik, 6. Aufl. p. 283. 1887) Ledeböer, (l. c.) nennt L/R^2 electromagnetische Capacität. Für die Einheit findet man die Namen Quadrant, Secohm und Henry vorgeschlagen. Wie Hr. G. Wiedemann, (Beibl. 15. p. 229. 1891) bemerkt, wäre infolge der Fixirung des Ohm zu 106 cm statt 106,3 cm der Erdquadrant statt 10000 km nur zu 9778 km zu nehmen. Was die Definitionen betrifft, so nennt Kohlrausch (l. c.) L den Factor, mit welchem die Aenderungsgeschwindigkeit der Stromstärke in dem Leiter zu multipliciren ist, um die electromotorische Kraft der Induction (des Extrastromes) zu erhalten. Kittler (Electrotechn. 1. p. 59. 1886) nennt L „die electromotorische Kraft des Integralstromes ($\int e dt = LI_0$ nach Neumann's Benennung), welche dem entstehenden oder verschwindenden Strome Eins entspricht.“ Oder man kann (nach Maxwell) L als die Kraftströmung bezeichnen, welche durch die Summe der Flächen sämmtlicher Windungen hindurchgeht, wenn die Stromstärke $= 1$ ist; $\frac{1}{2}L$ ist zugleich die potentielle Energie des in der Spule circulirenden Stromes von der Stärke $= 1$. Sumpner (Phil. Mag. (5) 25. p. 453) hat gezeigt, dass die verschiedenen Definitionen für L nur für den Fall eines Mediums von constanter Permeabilität (z. B. für

Für stärkere magnetisirende Kräfte ist die Abhängigkeit zwischen Stromstärke I und Magnetisirung A durch die Fröhlich'sche Gleichung:

$$A = \frac{mI}{1 + nI}$$

gegeben, wo m und n Constanten sind; den Verlauf der Extraströme für diesen Fall hat Leduc¹⁾ berechnet.

Ausserdem haben auch die Ströme in der Masse des Eisens Einfluss auf die Entwicklung des Extrastromes. Leduc bestimmte durch Versuche das Anwachsen des Stromes für einen grossen Electromagnet, und fand für dieses die Curve B Fig. 3. Die Curve A würde dem Fall entsprechen, wo keine Ströme im Eisen auftreten; es ist dies dieselbe Curve, die in Fig. 2 mit Ocb bezeichnet ist. Es konnte nämlich innerhalb der Versuchsgrenzen $A = mI$ gesetzt werden; L war also constant. Wie man sieht, wächst der Magnetismus zufolge der Kreisströme im Eisen anfangs rascher und dann langsamer, als ohne diese Ströme geschehen würde, aber im ganzen ist der Unterschied nicht gross. Zu ähnlichen Ergebnissen führten die im Telegraphen-Ingenieur-Bureau des Reichspostamtes in Berlin nach einer anderen Methode (mit Telegraphirströmen) angestellten Versuche.²⁾ Es dürfte daher für das Anwachsen des Stromes keinen grossen Unterschied

Fig. 3.

Luft) identisch sind; sonst führen sie zu verschiedenen Werthen von L . Schon früher hatte Ledeboer (l. c.) durch Messungen nachgewiesen, dass L bei einem Electromagneten für starke magnetisirende Kräfte beträchtlich abnimmt.

1) Leduc, Journ. de phys. 6. p. 238. 1887.

2) Electrotechn. Zeitsch. Berlin 1891. p. 103; Vortrag von Franke. Die Wirkung einer Spirale oder eines Metallcylinders in einer Spule ersieht man aus Wiedemann's Electr. 4. p. 115, 119, 121, 133. Bei einem eisernen Cylinder tritt etwas ähnliches ein, nur ist die Wirkung stärker.

machen, falls man den massiven Eisenkern durch ein gleich schweres Drahtbündel ersetzt.

D) Einfluss der Dimensionen des Eisenkernes. Ledeboer¹⁾ bemerkt, dass die Electricitätsmenge des Extrastromes dem magnetischen Moment des Electromagneten sehr angenähert proportional ist. Eine genaue Proportionalität würde nur dann eintreten, wenn die magnetischen Kraftlinien bei verschieden starken Strömen immer dieselbe Form beibehielten, was nicht genau zutrifft. Weiter fand Ledeboer für eine bestimmte Spule, dass ein Drahtbündel, welches deren Höhlung ganz ausfüllte, bis zu Stromstärken von 15 Ampère dasselbe magnetische Moment ergab, wie ein massiver Eisencylinder von gleichen Dimensionen, trotzdem der Cylinder 431 g, das Drahtbündel bloß 295 g wog.

Tanakadaté²⁾ fand, dass eine Vermehrung der Dicke des Eisenkernes keinen Einfluss auf das magnetische Moment zeigt, sobald das Verhältniss zwischen Dicke und Länge grösser ist als $\frac{1}{15}$. Man wird also die Dicke des Eisenkernes nicht unnöthig zu gross nehmen. Ich habe schon früher durch blosse Versuche gefunden³⁾, dass für sehr kurze gerade Electromagnete, wie sie bei electricen Stimmgabeln zwischen die Zinken gestellt werden, eine plattenförmige Form des Kernes vortheilhaft ist, besonders für sehr hohe Schwingungszahlen. Schiebt man nämlich in eine ziemlich weite Drahtspule immer mehr Eisendrähte hinein, so wird das magnetische Moment anfangs rasch, später aber immer langsamer und zuletzt fast gar nicht wachsen. Dies rührt davon her, dass jeder Draht durch Influenz den Magnetismus der übrigen Drähte umzukehren strebt. Entfernt man nun die einzelnen Drähte in der Spule etwas voneinander (senkrecht zu ihrer Längsrichtung), so wächst das magnetische Moment sofort, wie ich mich durch Ablenkung eines entfernten, mit Spiegel versehenen Magneten überzeugt habe. Dasselbe wird geschehen, wenn man statt einem Eisenkern mit rundem Querschnitt einen solchen mit plattgedrücktem

1) Ledeboer, l. c. p. 320.

2) Tanakadaté, Phil. Mag. 26. p. 450. 1888.

3) V. Dvořák, Wien. Ber. 84. p. 702. 1881.

Querschnitt nimmt (wie ihn etwa die Eisenkerne beim Siemens'schen Hufeisentelephon aufweisen).

Während die Electricitätsmenge des Extrastromes für einen und denselben Electromagnet dem magnetischen Moment proportional ist, ist die anziehende Wirkung des Electromagneten auf den Anker dem Quadrate des magnetischen Momentes proportional.

E) Verspätung des Magnetismus. Dieser seit jeher umstrittene Punkt ist durch die Untersuchungen von Rayleigh¹⁾ und Ewing²⁾ wieder in den Vordergrund getreten. Unterbricht man in einem Electromagneten den Strom, so vergeht einige Zeit, bis der Magnetismus verschwindet. Man erklärt dies gewöhnlich durch Inductionsströme, die in der Masse des Eisens beim Oeffnen des Stromkreises entstehen, und so den Eisenkern noch längere Zeit hindurch magnetisiren. Jedoch wird auch mitunter angenommen, dass nebst dem der Magnetismus des Eisens eine gewisse Zeit bedürfe, um zu verschwinden, auch wenn keine Inductionsströme im Spiele sind; man nennt dieses zuweilen „magnetische Trägheit“, oder „viscose Hysteresis“ nach Ewing. Auch Clausius nimmt bei der Theorie der magneto-electrischen Maschinen eine magnetische Trägheit an³⁾, und die als „Verschleppung des Magnetismus“ bei Dynamomaschinen bezeichnete Erscheinung soll ebenfalls darauf beruhen.⁴⁾ Für das Telephon hingegen behauptet Frölich, dass es keine magnetische Trägheit besitze.⁵⁾ Der Annahme einer magnetischen Trägheit steht der Umstand entgegen, dass ein Eisendrahtbündel bei Unterbrechung des Stromes seinen Magnetismus fast momentan verliert. Man müsste also annehmen, falls man die magnetische Trägheit aufrecht erhält, dass die Structur des Eisenkernes die Erscheinung bedeutend beeinflusst, indem bei einem Eisenstabe die Theilchen im Durchschnitt viel dichter aneinander liegen, als bei einem Drahtbündel.

1) Rayleigh, Phil. Mag. **23**. p. 225. 1887.

2) Diese Arbeit von Ewing ist mir nur aus einem Referat in den Beibl. **14**. p. 63. 1890 bekannt.

3) Siehe Kittler, Electrotech. **1**. p. 400. 1886.

4) Kittler, l. c. p. 121.

5) Frölich, Electrotech. Zeitsch. **10**. p. 108. 1890.

Die älteren Versuche über die Verspätung des Magnetismus sind in einer Arbeit von Beetz eingehend erörtert.¹⁾ Beetz selbst erdachte eine Methode, um das Ansteigen des Magnetismus mit der Zeit bei einem Electromagneten zu bestimmen; die entsprechende Curve hat beiläufig die in Fig. 3 mit *C* bezeichnete Form. Während das Ansteigen des Stromes mit der Zeit neueren Versuchen zu Folge durch die Curve *B* dargestellt wird, sieht man, dass der Magnetismus hinter dem Strome zurückbleibt, und somit wäre eine Verspätung des Magnetismus nachgewiesen. Leider scheint die von Beetz benutzte Methode nicht hinreichend genau zu sein, denn wenn man nach den Beetz'schen Versuchszahlen die Curve für das Ansteigen des Stromes in der Electromagnetspule ohne Eisenkern construirt, so ist dieselbe der Curve *C* ganz ähnlich, während die richtige Curve für diesen Fall die Form *A* besitzt. Es ist also offenbar bei der Curve *C* ein ähnlicher Fehler unterlaufen.²⁾

Beetz hat auch nachgewiesen, dass die Curve für das Ansteigen des Magnetismus fast dieselbe bleibt, falls man statt einem massiven Eisenkern ein Drahtbündel verwendet. Dieses ist, wie aus dem Früheren zu ersehen, mit den neueren Versuchen in Uebereinstimmung, indem die inducirten Ströme im Eisen das Ansteigen des Stromes in der Spule nicht viel beeinflussen. Die Wirkung dieser Ströme zeigt sich hauptsächlich dann, wenn der Strom in der Spule unterbrochen wird; nach den Versuchen von Beetz besteht hier ein grosser Unterschied zwischen einem massiven Kern und einem Bündel, indem letzteres seinen Magnetismus fast momentan verliert.

Rayleigh³⁾ fand, dass bei einem ausgeglühten Drahte von schwedischem Eisen (Dicke 1,6 mm) der Magnetismus,

1) Beetz, Pogg. Ann. 105. p. 497. 1858. Eine sehr vollständige Uebersicht aller hierher gehörigen Versuche (auch derer von Beetz) findet sich in Wiedemann's Electr. 4. p. 253. 1885.

2) Es hat sich übrigens noch ein zweites Versehen eingeschlichen; Beetz nimmt nämlich (nach heutiger Ausdrucksweise) für eine Spule mit Eisenkern dieselbe Zeitconstante an, wie für dieselbe Spule ohne Eisenkern.

3) Rayleigh, l. c.

sobald der Strom geschlossen wurde, durch 3 bis 4 Secunden ziemlich rasch, dann durch 15 bis 20 Secunden langsam anstieg. Unausgeglühter Eisendraht zeigte dieses Verhalten nicht. Ewing fand für Eisenstäbe, die 4 mm dick, 390 mm lang waren, dass der Magnetismus etwa 10 Minuten braucht, um sich auszubilden. Schon Beetz führt an, dass der Magnetismus eines grossen Electromagneten noch nach „einigen Minuten“ nicht verschwunden war.

Es scheint in der That schwer, sich vorzustellen, dass ein Inductions Vorgang in einem kleinen körperlichen Leiter mehrere Minuten in Anspruch nehmen sollte, indem wir sonst sehen, wie rasch die Inductionsströme verlaufen. Andererseits bietet die elastische Nachwirkung ein Beispiel, dass Molecularvorgänge, wenn die von aussen wirkenden Kräfte nachlassen, mehrere Minuten dauern. Es ist also eine eigentliche Verspätung des Magnetismus, die nicht von Inductionsströmen herrührt, nicht unwahrscheinlich. Dafür spricht noch ein Umstand, den schon Beetz ausdrücklich hervorgehoben hat. Bringt man nämlich an einem Ende eines Eisenstabes eine Magnetisirungsspirale an, und schliesst den Strom, so entwickelt sich der Magnetismus beider Enden nicht gleich schnell, sondern es tritt für das andere Ende eine Verspätung ein.¹⁾ Die electrodynamische Wirkung der Spule braucht natürlich nur eine messbare Zeit, um an das andere Ende zu gelangen, aber die magnetisirende Kraft hängt auch von dem Magnetismus des Eisens selbst ab, und die Molecüle des Eisens scheinen eine merkliche Zeit zu brauchen, um sich durch die ganze Länge des Stabes ins Gleichgewicht zu setzen.

Sollte auch eine eigentliche Verspätung des Magnetismus existiren, so wäre es noch immer ungewiss, ob diese beim Wagner'schen Hammer, wo die Aenderungen des Magnetismus sehr rasch erfolgen, von merklichem Einfluss ist, ebenso wie die elastische Nachwirkung eines Drahtes rasche Torsionsschwingungen kaum beeinflusst. Rayleigh vermuthet, dass bei raschen Aenderungen des Magnetismus,

1) Weitere Versuche dieser Art sind in Wiedemann's Electricität 4. p. 264. 1885 beschrieben.

Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. XLIV.

wie sie etwa beim Telephon vorkommen, die magnetische Susceptibilität (Magnetisirungscoëfficient) des ausgeglühten Eisens nur etwa so gross sei, wie bei unausgeglühtem Eisen. Erstere war für die von Rayleigh untersuchte Eisensorte (bei langsamen Veränderungen) = 22, während letztere bloss 6,85 betrug.

Bis jetzt ist der Verlauf des Magnetismus bei raschen Stromunterbrechungen unbekannt¹⁾; vielleicht wäre zur diesbezüglichen Untersuchung die magnetooptische Methode am besten geeignet.

Was den remanenten Magnetismus und die sogenannte Hysteresis betrifft, so ist beides nur in dem Falle merklich, wenn das Verhältniss zwischen Länge und Dicke des Eisenstabes gross ist. Bei den kleinen und ziemlich kurzen Eisenkernen, wie sie beim Wagner'schen Hammer gewöhnlich vorkommen, kann man wohl beides ausser Acht lassen.

Theorie des Wagner'schen Hammers.

Der Einfachheit wegen wird vorausgesetzt, dass die Feder *b* in der Ruhelage des Ankers die Schraube *a* eben berührt, ferner, dass dieselbe die Schwingungen des Ankers fast gar nicht behindert. Bei Quecksilberunterbrechung kann ohnedies der Anker frei schwingen. Erfahrungsgemäss erreicht der Anker bald nach dem Stromschluss bei *S* eine gewisse constante Schwingungsweite.

Schliesst der Anker den Strom bei *b*, so würde der Strom für ein constantes *L'* nach einer Curve ansteigen, ähnlich wie sie in Fig. 3 mit *B* bezeichnet ist. Weil sich der Anker vom Electromagneten entfernt, so wird *L'* immer kleiner, und die Stromcurve müsste zuerst rascher ansteigen, als die Curve *B*. Wenn sich der Anker wieder nähert, so wächst *L'*, und die Curve steigt langsamer an. Die anziehende Wirkung des Electromagneten ist dem Quadrate

1) Bei plötzlicher Stromunterbrechung können sich die beiden vom Extrastrom herrührenden Electricitäten theilweise an den Enden des Stromkreises anhäufen, und dann nach rückwärts entladen, und so eine anomale Magnetisirung verursachen; auch könnten Oscillationen entstehen. Siehe Wiedemann's Electricität 4. p. 237, 267. 1885; weiter G. Wiedemann, Wied. Ann. 37. p. 621. 1889.

der Stromstärke proportional und ausserdem in bedeutendem Maasse von der Entfernung des Ankers abhängig. Zählt man die Zeit von der Gleichgewichtslage O , so würde sich für die Anziehungskraft P eine Curve beiläufig wie Obc in Fig. 4 ergeben. Die Curve ist in der Mitte eingesenkt, weil P für die Lage des Ankers f ein Minimum besitzt. Weil der Magnetismus wegen der Inductionsströme im Eisenkern noch eine Zeit fortdauert, muss man ein Curvenstück cgh hinzufügen. Wegen der Contactverspätung und der magnetischen Trägheit müsste man die ganze Curve etwas nach rechts verschieben, und auch die Form ein wenig verändern.

Fig. 4.

Die Fläche Obf stellt die Wirkung $fPdt$ in der ungünstigen, die Fläche $bcghf$ die Wirkung in der günstigen Periode dar. Die Gesamtwirkung ist gleich der Differenz beider Flächen.

Um nun in erster Annäherung den Einfluss des Electromagneten auf die Schwingungen des Ankers zu übersehen, kann man sich die Curve $Obcgh$ in zwei unvollständige Sinuscurven mno und pqr zerlegt denken; die Curve $m'n'q'r'$ zeigt das Resultat der Zusammensetzung beider, und ist dieselbe im Ganzen der Curve $Obch$ ähnlich.¹⁾

Die Sinuscurve mno bedeutet bekanntlich eine Kraft welche der Entfernung aus der Gleichgewichtslage proportional ist; jedoch wirkt sie nur während der Bewegung von O nach f und zurück, also während einer halben Schwingung. Diese Kraft addirt sich zu der Federkraft des Ankers, und vermindert folglich die Schwingungsdauer für die Hälfte der Schwingung. Zur Unterhaltung der Schwingungen kann die Curve mno nichts beitragen; ihre Wirkung kann man sich

1) Die Form der Curve Obc hängt auch von der Zeit der Stromschliessung ab; ist diese Zeit so klein, dass sich der Strom nur wenig entwickeln kann, so wird die Curve niedriger und die Verbindungslinie von b und c verläuft steiler, als es in Fig. 4 beiläufig verzeichnet ist.

an dem bekannten Galilei'schen Pendelversuch veranschaulichen; schlägt man bei *a* (Fig. 5) einen Nagel ein, so erfolgt die Hälfte der Schwingung *cd* rascher.¹⁾

Die Curve *pqs* hat eine Phasendifferenz von $\frac{1}{4}T$ gegen die vorige; der Theil *pqr* (*rs* fehlt) ist es, der die Schwingungen des Ankers unterhält. Um eine grosse Amplitude zu erhalten, wird man trachten müssen, dass die Curve *pqs* möglichst zur Entwicklung kommt. Dieses kann auf mehrere Arten erreicht werden, wie ich mich durch zahlreiche Versuche überzeugt habe. Zur Ausführung dieser Versuche diente der in Fig. 6 dargestellte Wagner'sche Hammer, der auf Torsionsschwingungen eines elastischen Drahtes beruht.²⁾

Fig. 5.

Fig. 6.

Der messingene Torsionsdraht *fg* war 2 mm dick, 215 mm lang; das eine Ende war bei *f* in eine Bohrung einer Metallplatte gelöthet, bei *g* an ein conisches, mit Kopf versehenes Eisenstück, das von oben durch eine Eisenplatte und zwei Schrauben fest in einen Einschnitt des Fusses *N* gepresst wurde. Auf dem Torsionsdrahte war ein Querarm aufgelöthet, der an einem Ende eine kleine Eisenplatte *K* als Anker trug; der Electromagnet befand sich unterhalb *K*, ist aber in der Figur nicht gezeichnet. Bei *l* und *m* befinden sich Stifte mit Platinspitzen, die in Quecksilbernäpfchen *A* und *B* eintauchen. Jedes Näpfchen ist an einem federnden Messingstreifen befestigt, und kann mit der Schraube *S* gehoben und gesenkt werden, wie aus dem unteren Theile der Fig. 6 ersichtlich ist.

1) Die Feder *b* wirkt in demselben Sinne, wie schon Koppe bemerkt und mit dem Galilei'schen Versuche verglichen hat.

2) Elsas hat zuerst Torsionsschwingungen zur Construction eines Unterbrechers mit langsamem Gang benutzt. Siehe Wied. Ann. 37. p. 675. 1889. Der von Elsas angegebene Stromunterbrecher ist zu manchen Versuchen über Inductionsströme sehr geeignet.

Um die Schwingungsdauer zu verändern, wurden Gewichte auf dem stählernen, verticalen Querdraht cd von 3,3 mm Dicke und 120 mm Länge befestigt. Um Transversalschwingungen des Torsionsdrahtes fg zu vermeiden, sollte der Schwerpunkt möglichst in die Drehungsaxe hineinfallen und der Draht straff gespannt sein.

Die Schwingungsbreite¹⁾ wird mit Hülfe einer dünnen glänzenden Nadel b bestimmt, die vor einer Millimetertheilung λ schwingt; die Ablesung geschieht am Rande der Theilung, und muss als Hintergrund ein Stück geschwärzter Pappe aufgestellt werden. Zur Vermeidung der Parallaxe sieht man durch ein innen geschwärztes Röhrenstückchen, das am Statif des Apparates befestigt ist, auf die Theilung.

Führt man den Strom eines Elementes G durch den Electromagneten, dann durch die Klemmschraube i und das Näpfchen A , so hat man einen Wagner'schen Hammer.

Angenäherte Berechnung der zur Erhaltung der Schwingungen nöthigen Energie. Der Hammer wurde mit einem Danielllement erregt, wobei die Schwingungsbreite 2,55 cm betrug. Sodann wurde der Strom unterbrochen und durch Anhören eines Secundenpendels ermittelt, dass die Schwingungsbreite in einer Secunde von 2,55 cm auf 2,11 cm abnahm. Ausserdem wurde mittelst der graphischen Methode die Schwingungszahl n des Hammers bestimmt; sie war $= 21,3$. Nachdem die Gewichte bei c und d aufgesetzt worden, war die Schwingungszahl $n' = 10,3$. Es ist also sehr angenähert $n' = \frac{1}{2}n$, und das Trägheitsmoment T wird somit durch Aufsetzen der Gewichte vervierfacht, oder das Trägheitsmoment der Gewichte allein ist $= 3T$. Die Gewichte hatten jedes 26,6 g, und ihre Mitte war von der Axe um 5,55 cm entfernt; mithin ist $T = \frac{1}{2} \times 26,6 \times (5,55)^2 = 273,09$.

Die kinetische Energie des Hammers ist (ohne Gewichte) beim Durchgehen durch die Gleichgewichtslage $Z = \frac{1}{2}v^2T$, wo v die Geschwindigkeit eines Punktes bedeutet, der sich 1 cm weit von der Axe befindet. Ist A die Amplitude dieses Punktes, so ist bekanntlich seine Geschwindigkeit $v = 2\pi.n.A$. Da die Entfernung ab von der Drehungsaxe bis zum Rand

1) Bedeutet hier die am Rande der Scale λ abgemessene Breite des Schwingungsfeldes.

der Scale = 7,6 cm und die Schwingungsbreite = 2,55 cm war, so ist $A = \frac{1}{2} \times 2,55 : 7,6 = 0,1675$ cm. Setzt man noch $n = 21,3$, so erhält man $v = 22,42$ cm. Die kinetische Energie $\frac{1}{2} v^2 T$ ist somit: $Z = 71351,6$ Erg.

Die Schwingungsbreite fällt in einer Secunde von 2,55 cm auf 2,11 cm; da die Amplitude nur langsam abnimmt, so kann man voraussetzen, dass diese Abnahme durch eine ganze Secunde gleichmässig erfolgt. Die Energie Z' nach Verlauf einer Secunde erhält man, wenn Z mit $(2,11 : 2,55)^2$ multiplicirt wird; dieses gibt:

$$Z' = 48804,5 \text{ Erg.}$$

Die Energie, welche zur Erhaltung der Schwingungen durch jede Secunde aufgewendet werden muss, ist somit:

$$Z - Z' = 22547,1 \text{ Erg.}$$

Für diese mechanische Energie muss eine äquivalente electricische Energie verbraucht werden; da ein Volt-Ampère = 10^7 Erg. ist, so wäre die entsprechende electricische Energie per Secunde = 0,002 255 Volt-Ampère, also sehr geringfügig.

Es ist bekannt, dass die Stromstärke bei einem electrischen Motor abnimmt, wenn die Geschwindigkeit zunimmt. Beim Wagner'schen Hammer müsste die mittlere, an der Tangentenbussole gemessene Stromstärke zunehmen, falls man die Schwingungen dämpft, denn die Geschwindigkeit ist hier der Amplitude proportional. Klebt man mit Wachs an das

Fig. 7.

eine Ende p des Querarms ein Stück Papier, so sinkt die Amplitude beträchtlich, und ich beobachtete in der That bei meinen ersten Versuchen eine Zunahme der Stromstärke; jedoch hat dieses einen anderen Grund. Es sei in Fig. 7 uu' die Oberfläche des Quecksilbers im Näpfchen A , und der Unterbrechungsstift soll in der Ruhelage etwas eintauchen, sodass sich seine Spitze bei O befindet. Die Amplitude der Schwingungen des Stiftes sei $Os = Ot$. Ist T die Schwingungsdauer und v die Geschwindigkeit in der Nähe von O , so ist die Zeit, während welcher der Strom geschlossen ist:

$$t = \frac{1}{2} T + 2 \frac{rO}{v}.$$

Es soll die Amplitude beispielsweise auf die Hälfte sinken, so ist $v' = \frac{1}{2}v$, und:

$$t' = \frac{1}{2}T + 4\frac{rO}{v}, \quad \text{also ist } t' > t.$$

Da der Strom jetzt jedesmal länger geschlossen ist, so muss die mittlere Stromstärke zunehmen. Das umgekehrte würde eintreten, falls O in der Ruhelage etwas über der Oberfläche des Quecksilbers stehen würde, wovon man sich leicht durch einen Versuch überzeugen kann.

Es müsste also O in der Ruhelage die Quecksilberoberfläche genau berühren, und weiter dürften am Quecksilber keine stehenden Wellen entstehen; besonders die zweite Bedingung ist kaum erfüllbar.

Uebrigens ist schon im Voraus zu erwarten, dass die mittlere Stromstärke bei richtiger Stellung des Stiftes mit Abnahme der Amplitude nur unmerklich zunehmen würde, indem die verbrauchte electriche Energie per Secunde 0,0022 Volt-Ampère beträgt. Die benutzte Gaugain'sche Bussole hatte einen Reductionsfactor $K = 0,36$. Die Ablenkung betrug, während der Hammer im Gange war, 32° ; also war die mittlere Stromstärke $= 0,225$ Ampère. Für eine Ablenkung von 31° würde die Stromstärke um 0,019 Ampère abnehmen. Den Strom lieferte ein Daniellelement von 1,1 Volt. Nimmt die Ablenkung um 1° ab, so wird die electriche Energie um $E = 0,019 \times 1,1 = 0,0209$ Watt kleiner. Würde die Schwingungsbreite von 2,55 cm bis auf Null abnehmen, so müsste die electriche Energie um 0,0022 Watt anwachsen, was etwa $0,1E$ beträgt. Die Ablenkung würde daher blos um $0,1^\circ$ zunehmen, eine Grösse, die durch unvermeidliche Beobachtungsfehler ganz verdeckt wird.

Da die electriche Energie des unterbrochenen Stromes $0,225 \times 1,1 = 0,2475$ Watt beträgt, von welcher nur 0,0022 zur Unterhaltung der Schwingungen verbraucht wird, also beiläufig nur $\frac{1}{100}$, so sieht man, dass von diesem Standpunkte aus der Wagner'sche Hammer zu den schlechtesten electricchen Motoren gehört. Ich bemerke noch, dass der benutzte Electromagnet günstig construirt, und die Schwingungen mit einem Daniellelement sehr energische waren.

Versuche zur Theorie des Wagner'schen Hammers. Vorausgesetzt wird, dass der Unterbrechungsstift in der Ruhelage die Quecksilberoberfläche eben berührt; das lässt sich zwar nur angenähert erreichen (mit Hülfe eines Galvanoskops), aber wenn die Schwingungsbreite gross ist, kann man die Zeit der Stromschliessung der Zeit der Stromunterbrechung gleich setzen. Die Schwingungszahl war, wenn nicht ausdrücklich anders angegeben, $n = 21,3$. Dieselbe variiert etwas, wie aus der Theorie folgt, mit der Stromstärke und Selbstinduction, jedoch nicht viel.

Bestimmt man zuerst die Stärke des constanten Stromes I , während der Hammer ruht, und dann die mittlere Stärke des unterbrochenen Stromes I' , so wäre ohne Selbstinduction $I' = I/2$. Wegen des Schliessungsextrastromes ist aber I' stets kleiner als $I/2$. Der Oeffnungsextrastrom kann sich fast gar nicht entwickeln und kommt also nicht in Betracht; auch die Dauer des Unterbrechungsfunkens hat nach den Versuchen von Cazin¹⁾ keinen merklichen Einfluss auf I' , und es kann auch die Unterbrechung unter Wasser oder Alkohol geschehen.

Nimmt man an, dass sich der Schliessungsextrastrom während einer halben Schwingungsdauer $T/2$ des Hammers fast ganz entwickelt, so müsste man jedesmal von der Electricitätsmenge des Hauptstromes $I \cdot T/2$, diejenige des Extrastromes $I\tau$ abziehen, wo $\tau = I/R$ die Zeitconstante vorstellt; es wäre dann:

$$I' = I \left(\frac{T}{2} - \tau \right) : T.$$

Kann sich der Extrastrom nicht vollständig entwickeln, so wäre seine Electricitätsmenge gleich zu setzen:

$$I \int_0^{\frac{T}{2}} e^{-\tau \frac{T}{2}} dt.$$

Zur Orientirung führte ich einen Versuch²⁾ mit einem oft verwendeten Hufeisenelectromagneten (A) aus. Der Kern war 8,5 mm dick; jede Spule war 50 mm lang, 27 mm dick

1) Siehe Wiedemann's Electr. 4. p. 114. 1885.

2) Die älteren Versuche von Cazin, Bertin und Beetz sind ausführlich in Wiedemann's Electr. 4. p. 111. 251. 1885 beschrieben.

und auf einer geschlitzten Messingröhre aufgewickelt. Der Draht war ohne Umspinnung 1 mm dick, und hatte einen Widerstand von 0,86 Ohm. Den Strom lieferte ein Daniell Element, und zur Messung diente eine Gaugain'sche Bussole. Der Gesamtwiderstand war annähernd 3 Ohm. Vor jeder Versuchsreihe wurde frisches Quecksilber eingegossen, dasselbe mit Alkohol bedeckt, und dann der Hammer längere Zeit im Gange belassen, bevor eine Messung gemacht wurde. Dieses gilt auf für alle folgenden Versuche. Es scheint sich nämlich das Quecksilber anfangs etwas zu verändern, wahrscheinlich infolge der Oxydation durch die Unterbrechungsfunken. Ein Versuch ergab:

$$\frac{I'}{I} = \frac{\operatorname{tg} 19,5}{\operatorname{tg} 41,5} = 0,40.$$

Ohne Selbstinduction wäre $I'/I = 0,5$; also verschwinden hier 10 Proc. des Hauptstromes I .

Um zu erfahren, ob sich der Schliessungsextrastrom hinlänglich entwickelt, wurde durch Aufsetzung der Gewichte c und d die Schwingungsdauer des Hammers verdoppelt. Es war dann:

$$\frac{I''}{I} = \frac{\operatorname{tg} 22,3}{\operatorname{tg} 41,5} = 0,46.$$

Hätte sich im ersten Falle der Extrastrom fast ganz ausgebildet, so würde man für I''/I setzen können:

$$\frac{I''}{I} = \frac{0,4 + 0,5}{2} = 0,45;$$

dieses ist kleiner als die obige Zahl 0,46, obwohl der Unterschied nicht gross ist. Es hat sich also im ersten Falle der Extrastrom nicht ganz entwickelt.

Der besseren Entwicklung des Hauptstromes im zweiten Falle scheint ein Anwachsen der Schwingungsbreite zu entsprechen, dieselbe war im ersten Falle (für $n = 21,3$) 13,8, im zweiten (für $n = 10,7$) 14,5. Jedoch sind beide Fälle nicht streng vergleichbar, indem einerseits die Geschwindigkeit und somit auch der Luftwiderstand für $n = 10,7$ kleiner ist, andererseits aber die Gewichte selbst den Luftwiderstand vermehren.

Ausserdem führte ich noch einen Versuch aus, wo der Widerstand des Schliessungskreises = 1,97 Ohm war, wäh-

rend derselbe früher 3 Ohm betrug; die Zeitconstante ist also beiläufig um ein Drittel grösser. Ich fand (für $n=21,3$):

$$\frac{T}{I} = \frac{\operatorname{tg} 23,75}{\operatorname{tg} 52} = 0,33,$$

also bedeutend weniger wie früher, was auch zu erwarten war, indem die Electricitätsmenge des Extrastromes jetzt grösser ist.

Einfluss eines Nebenschlusses. Die Amplitude des Hammers kann beträchtlich gesteigert werden (unter günstigen Umständen bis auf das Doppelte), wenn man den Oeffnungsextrastrom zur Entwicklung kommen lässt. Dies erreicht man auf mehrere Arten, am einfachsten dadurch, dass man die beiden Enden der Electromagnetwindungen dauernd durch einen inductionsfreien Nebenschluss verbindet (in Fig. 1 durch die punktirte Linie *ghi* angedeutet).¹⁾ Beim Unterbrechen des Hauptstromkreises findet der Oeffnungsextrastrom einen geschlossenen Weg durch den Nebenschluss, und kann sich also entwickeln. Durch den Nebenschluss wird zwar die Stromstärke in der Electromagnet-spule herabgesetzt; ist jedoch der Widerstand der Batterie und der Leitungsdrähte sehr klein gegen den Widerstand des Electromagneten, so bewirkt ein Nebenschluss nur eine geringe Schwächung des Stromes im Electromagneten, wie man sich leicht durch eine einfache Berechnung überzeugen kann. Freilich geht im Nebenschluss ein Theil des Stromes unnütz verloren, aber man hat dafür den Vorthail, dass die Schwingungsbreite grösser ist, und der schädliche Oeffnungsfunke sehr abgeschwächt wird.

1) Schon 1864 gebrauchte Dujardin einen Nebenschluss von sehr grossem Widerstand, um den Oeffnungsextrastromfunken, der die Contacte zu sehr angreift, abzuschwächen. (Du Moncel, Applications de l'électricité, (3) 2. p. 116. 1873.) Den Verlauf des Extrastromes bei vorhandenem Nebenschluss hat schon Helmholtz berechnet. (Wiedemann, Electr. 4. p. 103.) Auch Vaschy hat die Bedingungen untersucht, denen ein Nebenschluss beim Electromagneten entsprechen muss, damit die Spannung des Oeffnungsextrastroms nicht zu gross wird (Compt. rend. 107. p. 780; ich kenne diese Arbeit nur aus einem Referat in Strecker's „Fortschritten der Electrotechnik“, 1888. H. 4. p. 701, und in den Beibl. 13. p. 242. 1889).

Ueber die Wirkung eines Nebenschlusses stellte ich schon früher Versuche mit der electrischen Stimmgabel an.¹⁾ Weitere Versuche wurden mit dem Electromagneten (*A*) ausgeführt; sein Widerstand war 0,86 Ohm, und der Widerstand des Nebenschlusses 6,15 Ohm, also circa sieben Mal so gross. Den Strom lieferte ein Daniell-Element, und der Gesamtwiderstand war (ohne Nebenschluss) = 2 Ohm. Die Schwingungsbreite war:

ohne Nebenschluss . . .	19,5
mit „ . . .	26,3.

Also steigt die Amplitude durch den Nebenschluss um circa 30 Procent. Einen ähnlichen Versuch führte ich mit einem Electromagneten (*B*) aus; derselbe hatte eine viel schwächere Selbstinduction, und auch die Ströme in der Masse des Eisens konnten sich nicht so gut entwickeln, wie beim Electromagneten (*A*). Als Kern diente je ein Messingrohr *ab*, Fig. 8, von 10 mm Dicke, in welchem sich ein ausgeglühter, 39,5 mm langer, 6,5 mm dicker Eisencylinder befand, nebst fünf Eisendrähten von 2 mm Dicke; das Querstück *cd* war von Eisen. Die Spulen von 1 mm dickem Draht waren auf Holz aufgewunden, 37 mm lang, 24 mm dick; der Widerstand betrug 0,51 Ohm. Zur Verstärkung der Selbstinduction war noch eine Spirale (*S*) eingeschaltet; die Wicklung bestand aus zwei parallelen Drähten von 2 mm Dicke mit einem Widerstand von 0,27 Ohm. Die Länge der Wicklung war 190 mm, der äussere Durchmesser 95 mm, der innere 37 mm. Den Strom lieferten zwei Daniell-Elemente.

Fig. 8.

Bei diesem Electromagneten konnte die Amplitude durch einen Nebenschluss fast gar nicht vergrössert werden, wahrscheinlich deswegen, weil die Selbstinduction auch mit der Spirale (*S*) zu schwach war.

Selbstthätige Schliessung der Electromagnet-spule. Ein zweites Mittel, um den Oeffnungsextrastrom sich ausbilden zu lassen, erhält man, wenn man im Momente der Unterbrechung des Hauptstromkreises die Enden der

1) V. Dvořák, Wien. Ber. Januar 1889. p. 55.

Electromagnetspule kurz schliesst.¹⁾ Ich benutzte dazu den zweiten Unterbrechungsstift *m* und das Näpfchen *B*; Fig. 9

Fig. 9.

erläutert näher die Art der Schaltung. Beide Stifte berühren in der Ruhelage die Oberfläche des Quecksilbers; *E* ist der Electromagnet, *G* das Element. *C* ist ein Quecksilbernäpfchen, welches dazu dient, die den Oeffnungsextrastrom auffangende Vorrichtung (den „Extrastromfänger leicht ein-

oder auszuschalten.

Um den Extrastromfänger zu reguliren, stellt man das Näpfchen *B* etwas tief, sodass der Oeffnungsextrastrom nicht passiren kann; man sieht und hört dann im Näpfchen *A* die Oeffnungsfunken. Hebt man das Näpfchen *B* langsam mit der Schraube, so gelangt man zu einem Punkt, wo die Oeffnungsfunken in *A* bedeutend schwächer werden, und unter Umständen fast verschwinden; dann regulirt man noch ein wenig, bis die Schwingungsbreite ein Maximum erreicht. Der Oeffnungsextrastrom geht von *O* über *B* und *i* nach *R*; um denselben gut aufzufangen, müssen die Enden der Spule einen Moment früher geschlossen sein, bevor der Hauptstrom unterbrochen wird. Der Hauptstrom findet dann den Nebenschluss *laBO* von verschwindendem Widerstand vor, und geht an dem Electromagneten vorbei; es entwickelt sich somit der Oeffnungsstrom schon von diesem Momente angefangen, und nicht erst dann, wenn der Strom im Näpfchen *A* unterbrochen wird. In der schon citirten Arbeit habe ich mehrere Versuche mit der electrischen Stimmgabel beschrieben, die mit

1) Dieses Mittel habe ich bei der electrischen Stimmgabel und dem electrischen Läutewerk verwendet, um die Amplitude zu vergrößern (siehe die bereits citirte Arbeit in den Wien. Ber.). Man besitzt schon seit langer Zeit Vorrichtungen, durch welche die Electromagnetspule im Momente, wo der Hauptstrom aufhört, in sich geschlossen wird. Beispiele findet man in Wiedemann's Electr. 4. p. 111. 147. 260. 1885; dann Du Moncel 2. p. 114. 1873. Zumeist hatte man dabei die Unterdrückung des Unterbrechungsfunkens im Auge, so beim electrischen Pendel von Hipp (Pfaundler'sches Lehrbuch 3. p. 678. 9. Aufl.); bei dem Secundär-Contactwerke von Klumák (Fiedler, Die Zeittelegraphen p. 68.)

einem Extrastromfänger versehen war. Zu den Versuchen mit dem Wagner'schen Hammer nahm ich den Electromagneten (A) und ein Daniell-Element; eingeschaltet war ein Widerstand von 2 Ohm. Die Schwingungsbreite war:

ohne Extrastromfänger . . .	14
mit „ . . .	23,7,

also um mehr als die Hälfte grösser.

Verwendung einer zweiten, in sich geschlossenen Spirale. Man kann auf jede Electromagnetspule noch eine zweite Spule aufwickeln, und die Enden dieser Secundärspulen untereinander verbinden. Wenn der Hauptstrom in den Electromagnetwindungen aufhört, so inducirt er in den Secundärspulen einen Strom, der ihm gleichgerichtet ist. Dieser Inductionsstrom magnetisirt den Eisenkern noch eine Zeit lang, und die Wirkung ist ähnlich, wie wenn der Oeffnungsextrastrom zur Entwicklung käme. Auch der Oeffnungsfunke wird schwächer.

Der benutzte Electromagnet hatte einen Draht von 0,7 mm Dicke und 1,4 Ohm Widerstand. Die Spulen waren auf geschlitzte Messingröhren aufgewunden und hatten eine Länge von 36 mm; der Eisenkern war 10 mm dick. Die äusseren Spulen hatten die gleiche Drahtdicke und Windungszahl, und einen Widerstand von 1,9 Ohm. Ein Daniell-element besorgte den Strom. Die Schwingungsbreite war = 12, wenn die Secundärspulen nicht geschlossen waren (I); dagegen 15,4 bei geschlossenen Secundärspulen (II). Man kann die Amplitude noch steigern, wenn man den Extrastromfänger verwendet; die Schwingungsbreite war dann:

für (I) 15,5, für (II) 18,3.

Es scheint, dass man möglicherweise eine bessere Wirkung erzielen könnte, falls man die Secundärspulen einfach hinter die Electromagnetspulen schalten würde; die Windungszahl wäre dadurch verdoppelt. Aber der Versuch zeigt, dass wenigstens für diesen Fall sowohl das magnetische Moment, als die Schwingungsbreite kleiner wird.

Anstatt einer Secundärspule könnte man auch ein Kupferrohr verwenden. Auch Eisendraht wäre vielleicht statt Kupferdraht verwendbar. Betreffs der Wirkung einer Eisenröhre,

habe ich einen Versuch mit einem Electromagneten nach Romershausen angestellt. Der Eisenkern (Fig. 10, alles Eisen ist in der Figur schraffirt) *ab* war 9 mm dick, 57 mm lang; der Draht war 0,8 mm dick und hatte 0,83 Ohm Widerstand. Das Eisenrohr *cdfg* konnte leicht entfernt werden. Die Schwingungsbreite war ohne Eisenrohr 14,1, mit Eisenrohr 15,1, also nur wenig grösser; übrigens übt das Eisenrohr selbst eine anziehende Wirkung aus. Es scheint überhaupt, dass diese Electromagnetform gar keinen Vortheil vor der gewöhnlichen Hufeisenform bietet.

Fig. 10.

Fig. 11.

Hammer mit Selbstausschluss. Fig. 11 stellt die bekannte Schaltung des Hammers mit Selbstausschluss dar.¹⁾ *E* ist der Electromagnet, *K* der Anker, *G* das Element. Man verbindet das eine Ende *O* des Electromagneten mit der Klemmschraube bei *g*, und das andere Ende *R* mit dem Näpfchen *B*. In der Ruhelage soll der Stift unendlich wenig über die Quecksilberoberfläche erhoben sein; der Strom muss die Electromagnetwindungen durchfliessen, und zieht den Anker an; der Stift taucht ein, wodurch für den Strom der Kurzschluss *OgaBR* geschaffen wird, sodass der Strom am Electromagneten vorbeigeht. In diesem Moment beginnt der Oeffnungsextrastrom im Electromagneten, der durch den Kurzschluss eine geschlossene Bahn vorfindet, und sich somit frei entwickelt. Dadurch wird die Amplitude gesteigert,

1) Einen Electromagneten mit Selbstausschluss für eine Spule hat schon im Jahre 1847 Kramer verwendet (Zetsche, Telegraphie 1. p. 249). Auf diesen Umstand hat mich gefälligst Hr. K. Strecker aufmerksam gemacht. Eine electriche Stimmgabel mit Selbstausschluss hat Weinhold construirt (Demonstrationen, 1881. p. 247), um den Oeffnungsfunken zu vermeiden.

ebenso wie durch den Extrastromfänger, nur mit dem Unterschiede, dass durch den Kurzschluss das Element unnütz erschöpft wird. Der Oeffnungsfunken wird fast ganz unterdrückt.

Ich führte einen Versuch aus mit dem Electromagneten (*A*) und einem Daniellelement; eingeschaltet war ein Widerstand von 0,85 Ohm. Die Schwingungsbreite war:

für die gewöhnliche Einrichtung des Hammers	16
für Selbstausschluss	24,6 ¹⁾
mit Extrastromfänger	26,6.

Mit Extrastromfänger ist die Amplitude etwas grösser, als mit Selbstausschluss. Der Grund scheint folgender zu sein. Wie schon früher nachgewiesen wurde, kann sich der Schliessungsextrastrom bei dem Electromagneten (*A*), während einer halben Schwingung nicht ganz ausbilden; die Zeitconstante τ ist $= L/R$, wo R den Widerstand des ganzen Stromkreises vorstellt. R ist nun $= r_1 + r_2$, wo r_1 den Widerstand des Electromagneten, r_2 den übrigen Widerstand bedeutet. Für den Oeffnungsextrastrom ist der Electromagnet kurzgeschlossen, die Zeitconstante τ' ist somit $= L/r_1$, also beträchtlich grösser als τ . Es wird mithin der Oeffnungsextrastrom noch eine ziemliche Stärke besitzen, als schon der Hauptstrom wieder beginnt; *dadurch werden die Stromschwankungen kleiner*, und die Amplitude muss abnehmen.²⁾

Dasselbe tritt beim Extrastromfänger ein, jedoch kann man durch Verstellung des Quecksilbernäpfchens doch ein wenig den Zufluss des Oeffnungsextrastromes reguliren, bis die Amplitude ein Maximum wird, was beim Selbstausschluss nicht angeht.

Mitunter erhält man bei Electromagneten mit passender, nicht zu grosser Zeitconstante mit Selbstausschluss noch etwas grössere Amplituden, als mit Extrastromfänger, vermuthlich, weil der Oeffnungsextrastrom durch diesen nicht so voll-

1) In einem Artikel des „Electrotechniker“ Wien 1889. p. 121, der mit K . . . h unterschrieben ist, findet der Verfasser für das electrische Läutewerk, dass die Amplitude mit Selbstausschluss kleiner ist, als bei gewöhnlicher Anordnung. Wahrscheinlich waren störende Nebenumstände vorhanden, welche das Resultat wesentlich beeinflussten.

2) Aehnliche Fälle kommen noch im Folgenden vor.

ständig aufgefangen wird, indem der Contact im Nöpfchen besonders zu Anfang einen variablen Widerstand bietet. Uebrigens ist es schwer, genau vergleichbare Versuche anzustellen, weil der Stift immer in der Ruhelage die Quecksilberoberfläche berühren müsste, was kaum zu erreichen ist. Taucht aber der Stift nur ein wenig ein, so wird die Amplitude merklich grösser bei gewöhnlicher Anordnung, während dieselbe für Selbstausschluss kleiner wird.¹⁾

Ich führte noch einen Versuch mit dem Electromagnet (*B*) und der Spirale (*S*) aus; die Schwingungsbreite war:

9,7 für gewöhnliche Anordnung,
14,5 mit Extrastromfänger,
15,4 mit Selbstausschluss.

Einfluss des Selbstinductionscoëfficienten *L*. Bei diesen Versuchen wurde der Electromagnet (*B*) verwendet, und zur Verstärkung der Selbstinduction die Spirale (*S*) eingeschaltet; durch einen Gyrotropen konnte die Spirale ausgeschaltet und dafür zwei gerade ausgespannte Neusilberdrähte (= einfaches Rheochord) von gleichem Widerstand eingeschaltet werden. Den Strom lieferte 1 Daniellelement; eingeschaltet war ein Widerstand von 1,3 Ohm. Die Schwingungsbreite war:

ohne (<i>S</i>)	(mit <i>S</i>)	
7	9,2	ohne Extrastromfänger (starke Funken)
11	16,5	mit „

Schiebt man ein Stück Eisen in die Spule (*S*), so wächst *L* und auch die Amplitude; *schon ein einziger Eisendraht (D) von 2,15 mm Dicke und 290 mm Länge verursacht ein Anwachsen der Schwingungsbreite von 16,5 auf 17,5*; zwei Drähte geben fast den doppelten Zuwachs. Schiebt man jedoch einen dicken Eisenstab in die Spule, so wird die Amplitude kleiner, weil der Inductionscoëfficient zu gross ist.

Weiter nahm ich statt der Spirale (*S*) den Electromagnet (*A*), und zwar nur eine Spule; derselbe diente lediglich zur Verstärkung der Selbstinduction. Eingeschaltet war ein Widerstand von 1,54 Ohm. Die Schwingungsbreite war mit Extrastromfänger:

1) Dieser Fall ist im Folgenden näher erörtert.

8,5 ohne den $\frac{1}{2}$ Electromagnet (*A*)
 14,9 mit " " "

Als auf den einen Pol eine kleine quadratische Eisenplatte aufgesetzt wurde, stieg die Amplitude auf 15,8. Als jedoch beide Pole durch einen Anker verbunden wurden, fiel die Amplitude von 14,9 auf 13. Durch Auflegen des Ankers wird nämlich *L* zu gross, und der Strom kann sich nicht recht entwickeln.

Einfluss der Tiefe, bis zu welcher der Unterbrechungsstift eingetaucht ist. Bisher wurde vorausgesetzt, dass der Stift in der Ruhelage die Quecksilberoberfläche eben berührt („normale Stellung“ des Stiftes). Taucht der Stift etwas ein, so ist die Dauer der Stromschliessung grösser als eine halbe Schwingungsdauer $= \frac{1}{2}T$, während die Dauer der Stromunterbrechung kleiner ist. Konnte sich bei normaler Stellung des Stiftes der Strom wegen zu grosser Zeitconstante τ nicht während der Zeit $\frac{1}{2}T$ genügend entwickeln, so wird er sich jetzt bei verlängerter Schliessungsdauer besser entwickeln. Weiter kommt noch in Betracht, dass zur Zeit der Stromunterbrechung der Anker näher zum Electromagnet und die Anziehung stärker ist. Beide Umstände können ein bedeutendes Anwachsen der Amplitude zur Folge haben.

Zu den Versuchen wurde wieder der Electromagnet (*B*) und die Spule (*S*) verwendet; jedoch waren die beiden parallelen Drähte dieser Spule hintereinander geschaltet, wodurch sowohl der Widerstand, als auch der Selbstinductionscoefficient vervierfacht wird.¹⁾ Der Widerstand der Spule war jetzt 1,05 Ohm. Anfangs wurde der Stift mit der Quecksilberoberfläche in Berührung gebracht und dann bei jedem folgenden Versuch um einen Theil der Scala λ tiefer eingetaucht. Dieses wird so ausgeführt, dass man in den Stromkreis ein Galvanometer einschaltet, dann das Näpfchen

1) Bekanntlich haben Spulen von gleichen Dimensionen, aber ungleicher Drahtdicke theoretisch dieselbe Zeitconstante. In der Praxis trifft dies nicht genau zu (wegen der Umspinnung und dem ungleichen specifischen Widerstand verschiedener Kupferdrähte); siehe die schon citirte Arbeit von Ledeboer.

A mit der Schraube hebt, und den Anker *K* sehr langsam mit dem Finger niederdrückt; man sieht dann an der Scala λ , in welcher Stellung der Nadel *b* der Strom unterbrochen ist. Um die Selbstinduction zu verändern, wurden in die Spirale (*S*) entweder zwei Eisendrähte (*D*) oder ein dünner Eisenstab (*F*) (Länge = 370 mm, Dicke = 8 mm) eingeführt. Die Schwingungsbreite war ohne Extrastromfänger.

Tiefe des Eintauchens	(I) (<i>S</i>) allein	(II) 2 Drähte	(III) Stab (<i>F</i>)
0	6,5	7	5,7
1	7,6	8,3	7,4
2	8,9	9,8	8,6
3	10,4	11,3	10,5
3,5	10,7	11,9	11
4	12	13	12,5

Es ist auffallend, wie sich die Amplitude mit der Schliessungsdauer ändert für die Spirale (*S*) ohne Eisen (I), und wenn sich der Eisenstab (*F*) in derselben befindet (III). Für letzteren Fall ist bei normaler Stellung die Selbstinduction zu stark, denn die Schwingungsbreite ist für (III) = 5,7, während sie für (I) = 6,5, also grösser ist als für (III). Ist jedoch der Stift auf vier Theile eingetaucht, so wird dadurch die Schliessungsdauer grösser, und die starke Selbstinduction im Falle (III) schadet nicht mehr, sondern ist von Vortheil; die Schwingungsbreite ist jetzt für (III) grösser als für (I), nämlich 12,5 für (III) und 12 für (I). Dieselben Versuche wurden mit dem Extrastromfänger ausgeführt; die Resultate sind in beifolgender Tabelle verzeichnet:

Tiefe des Eintauchens	(I) (<i>S</i>) allein	(II) 2 Drähte	(III) Stab (<i>F</i>)
0	10,7	11,5	8,9
2	13,2	13,3	10,9
3,5	14,3	14,3	9,9
4	17	17	Ruhe

Die Schwingungsbreite ist für (III) am grössten, wenn der Stift beiläufig auf zwei Theile eintaucht. Taucht derselbe jedoch auf vier Theile ein, so kann man den Hammer nicht mehr in Gang bringen. Es ist nämlich der Widerstand für den Schliessungsextrastrom 3,6 Ohm (= Widerstand des gan-

zen Stromkreises), während derselbe für den Oeffnungsextrastrom nur 1,56 Ohm beträgt (= die kurzgeschlossene Electromagnetspule). Der Oeffnungsextrastrom dauert daher viel länger als der Schliessungsextrastrom, und der erstere ist nur zum Theil abgelaufen, wenn der Hauptstrom wieder beginnt. Die Veränderungen der Stromstärke sind dann zu gering, um den Hammer in Bewegung zu erhalten.

Da es etwas schwer ist, den Extrastromfänger jedesmal genau zu stellen, so führte ich noch Versuche aus, bei welchen derselbe durch einen Nebenschluss von 5 Ohm ersetzt war. Zuerst bestimmte ich die Schwingungsbreite ohne Nebenschluss; dieselbe war:

Tiefe des Eintauchens	ohne (S)	mit (S)	Stab (F) in (S)
0	6,2	8,3	7,6
2	9,9	12,3	11,2
4	13,7	16,8	15,5

Weiter mit Nebenschluss:

Tiefe des Eintauchens	ohne (S)	mit (S)	Stab (F) in (S)
0	5,8	9,3	8
2	9	12,4	11,3
4	12,6	17,3	15,5

Man sieht, dass der Nebenschluss von 5 Ohm nicht in allen Fällen die Amplitude vergrößert, sondern nur in einigen.

Befindet sich kein Eisen in der Spule (S), so ist für eine Eintauchung von vier Theilen die Schwingungsbreite = 17,3; gibt man nach und nach immer mehr Eisen in die Spirale, so nimmt die Schwingungsbreite bis auf 11 Theile ab; *wird noch etwas mehr Eisen eingeführt, so kommt der Hammer zur Ruhe*; kleinere Schwingungsbreiten als 11 sind nicht erreichbar. Der Grund ist ähnlich wie früher; der Oeffnungsstrom dauert zu lange.

Ohne Nebenschluss kommt der Oeffnungsextrastrom gar nicht zur Entwicklung, und man kann die Höhlung der Spirale (S) ganz mit Eisenstäben ausfüllen, ohne dass die Bewegung des Hammers aufhören würde; jedoch wird die Amplitude kleiner.

Bei dem gewöhnlichen electrischen Lätewerk kann man

die Dauer der Stromschliessung dadurch verlängern, dass man die Contactschraube *a* etwas anzieht, besonders wenn die Contactfeder *b* gegen die Ankerfeder schwach ist. Bei dem Hammer mit Selbstausschluss wird die Schliessungsdauer vergrössert, wenn man den Stift etwas über die Quecksilberoberfläche hebt (oder die Contactschraube etwas zurückzieht). Auch hier kann die Amplitude beträchtlich anwachsen; in einem Falle stieg die Schwingungsbreite von 10,5 (normale Stellung) bis auf 17,3.

Bei dem electrischen Lätewerk wird verlangt, dass es von selbst angeht, sobald man den Strom schliesst; deshalb kann man die Schraube *a* nur bis zu einem gewissen Grade anziehen. Die electrische Stimmgabel und andere Unterbrecher werden gewöhnlich durch einen Anstoss in Bewegung versetzt, und kann man, wenn nöthig, die Tiefe des Eintauchens ziemlich gross nehmen.

Einfluss des Widerstandes. Nach der alten Theorie des Wagner'schen Hammers wäre der Widerstand des Stromkreises gleichgültig, wenn nur die Stromstärke unverändert bleibt. Nachdem die Zeitconstante τ und somit auch die Electricitätsmenge der Extraströme dem Widerstande verkehrt proportional ist, muss der Widerstand von Einfluss sein.

Die Versuche wurden so ausgeführt, dass man sowohl die electromotorische Kraft der Batterie, als den Widerstand des Hauptstromkreises ver-*n*-fachte. Bei Versuchen mit dem Extrastromfänger wurde zugleich der Widerstand des in sich geschlossenen Stromkreises für den Oeffnungsextrastrom ver-*n*-facht. Um immer dieselbe Stromstärke bei ruhendem Hammer zu erhalten, wurde ein Rheochord und eine Tangentenbussole (nach Weber) eingeschaltet. Die Schwingungsbreite war bei Verwendung des Electromagneten (*A*):

	Ohne Extra- stromfänger	Mit Extra- stromfänger <i>f</i>
Für 1 Daniell	13,5	22,5
„ 2 „	14,4	25,3
„ 3 „	13,8	22,5

Man sieht, dass die Zeitconstante des Electromagneten (*A*) für ein Daniellelement zu gross ist (was auch mit früheren Versuchen stimmt), indem die Amplitude bei 2 Daniell grösser

ist. Besser würde man den Einfluss des Widerstandes sehen, könnte man die electromotorische Kraft E nach und nach verändern (etwa durch Verwendung von Thermoelementen); hier ändert sich E sprungweise immer um 1,1 Volt.

Weitere Versuche wurden mit dem Electromagneten (B) und der Spirale (S) (Widerstand = 1,05 Ohm) angestellt. Die Schwingungsbreite war ohne Extrastromfänger:

	(S) allein	Stab (F) in (S)
1 Daniell	10,7	8,7
2 „	Ruhe	9,9
3 „	Ruhe	9,5

Bei zwei oder drei Daniellelementen will der Hammer nicht schwingen; verstärkt man jedoch die Selbstinduction durch Einführen des Eisenstabes (F) in die Spirale (S), so schwingt der Hammer ganz gut; die Amplitude ist am grössten bei 2 Daniell. Ausserdem werden noch Versuche mit dem Extrastromfänger ausgeführt; um den Einfluss eines kleinen Zuwachses von L auf die Amplitude zu sehen, wurden zwei Eisendrähte (D) in die Spirale (S) eingeschoben. Die Schwingungsbreite war:

	(S) allein	2 Drähte	Stab (F)
1 Daniell	14,6	14	Ruhe
2 „	11,4	12,7	11
3 „	9,2	10,3	11,2

Steckt man den Eisenstab in die Spirale, so ist für 1 Daniell τ zu gross, und der Hammer geht nicht. Nimmt man 2 Daniell, so sinkt τ auf die Hälfte, und der Hammer kommt in Bewegung.

Nebst dem führte ich noch Versuche aus mit dem Electromagneten (B) allein, ohne die Spirale (S). Die früher beschriebenen Spulenkern ab (Fig. 8) wurden abgeschraubt, und dafür massive Eisenkerne eingesetzt; man hatte dann einen Electromagneten gewöhnlicher Art. Die Schwingungsbreite war:

	Ohne Extr. f	Mit Extr. f
1 Daniell	11,5	22,5
2 „	9,8	18,7
3 „	8,8	14,2

Für 1 Daniell wurde, da der Strom zu stark war, ein Widerstand von 2,2 Ohm eingeschaltet. Man sieht, dass

die Amplitude um so kleiner ist, je mehr man Elemente nimmt.

Zum Schlusse bemerke ich noch, dass ich die Amplitude durch Einschaltung eines Condensators von 0,1 bis 1 Mikrofara^d zu vergrössern strebte, jedoch ohne Erfolg, trotzdem ich mehrere Schaltungsweisen versuchte; ich habe jedoch den Gegenstand nicht weiter verfolgt.

Folgerungen aus der Theorie des Wagner'schen Hammers. Wie früher an einem Beispiele gezeigt wurde, ist die zur Erhaltung der Schwingungen nöthige Energie sehr gering; es geräth daher ein Unterbrecher noch immer ziemlich leicht in Schwingungen, wenn derselbe sehr ungünstig construirt ist. Dieses scheint bei den gewöhnlichen electrischen Läutewerken oft der Fall zu sein; man trifft gewöhnlich kleine Electromagnete mit grossem Widerstande an, deren Zeitconstante für die betreffende Schwingungsdauer viel zu klein ist, als um eine kräftige Wirkung zu erzielen. Bei den Zimmerläutewerken werden gewöhnlich ein oder zwei Leclanché-Elemente verwendet; es dürfte sich empfehlen, ihren Widerstand recht klein zu nehmen. So hatte ein solches Element von Berliner in Hannover nur einen Widerstand von 0,1 bis 0,2 Ohm (gemessen mit der Telephonbrücke). Es geht dann nur ein kleiner Theil der Energie im Element in Form von Wärme verloren, und auch die Zeitconstante des Stromkreises wird dadurch vergrössert. Auch der Widerstand des Electromagneten soll nicht zu gross sein; wenn auch in der Praxis die Regel, den Widerstand des Electromagneten gleich dem Batteriewiderstand zu machen, fast nie zutrifft¹⁾, so ist doch ein grosser Widerstand für das sichere Ansprechen und die kräftige Wirkung der Glocke sehr ungünstig. Es wird zwar bei kleinem Widerstand des Electromagneten das Element etwas früher erschöpft, aber bei Glocken, die nur wenig gebraucht werden, kommt die Erschöpfung des Elementes durch den Strom gegenüber der

1) Siehe darüber Jüllig, *Zeitschr. f. Electrotechnik*. Wien 1887. p. 167 und Handl, ebendas. p. 346; ferner Uppenborn, *Electrotechn. Zeitschr.* Berlin 1891. p. 158. Der Gegenstand wurde schon früher von Auerbach, Weinhold und Niaudet untersucht.

Erschöpfung durch rein locale Wirkungen kaum in Betracht. Ob auch die Construction durch Anbringung eines Nebenschlusses, oder eines Extrastromfängers (bei sehr kräftigen Glocken)¹⁾, oder durch Verwendung von geschlossenen Secundärspulen zu verbessern wäre, darüber will ich nicht entscheiden; ohnehin ist die Wirkung des Läutewerkes für gewöhnliche Zwecke auch bei schlechter Construction noch immer genügend.

Oft ist es jedoch wünschenswerth (z. B. für akustische Zwecke), dass ein Stromunterbrecher möglichst kräftig schwinde; dann kann man die früher erwähnten Mittel mit Vortheil verwenden; besonders muss aber die Zeitconstante τ gebührend berücksichtigt werden. Um sich zu überzeugen, ob τ für die betreffende Schwingungszahl zu gross oder zu klein sei, bestimme man zuerst die Amplitude und Stromstärke²⁾ I für die verwendeten Elemente, z. B. zwei Daniell ($E = 2,2$ Volt). Dann ersetze man ein Daniell durch ein Bunsenelement ($E' = 2,9$ Volt für beide Elemente) und mache die Stromstärke durch Vermehrung des Widerstandes wieder $= I$. Ist jetzt die Amplitude grösser, so war τ früher zu gross. In diesem Falle kann man leicht durch Vermehrung der electromotorischen Kraft und des Widerstandes noch helfen, falls man es nicht vorzieht, den Electromagneten umzuconstruiren. Hatte τ den richtigen Werth, so wird die Amplitude bei Verkleinerung von τ im Verhältnisse von $E:E' = 2,2:2,9$ nur unmerklich abnehmen, indem sich jede Grösse in der Nähe des Maximums wenig ändert. Man kann jedoch, um sich sicher über τ zu orientiren, eine Spirale aus dickem Draht mit kleinem Widerstand r einschalten, dafür aber aus dem Stromkreis einen gleichen Widerstand r ent-

1) Bei Verwendung eines Extrastromfängers müsste man in dessen Stromkreis einen passenden Widerstand einschalten, indem sonst die Glocke bei Stromschliessung kaum von selbst ansprechen würde. Uebrigens würde man dieselbe Wirkung erzielen, falls man die Glocke auf Selbstausschluss schaltet; nur ist dann das Element jedesmal während einer halben Schwingungsdauer kurz geschlossen.

2) Mit einem fast inductionsfreien Galvanometer; für stärkere Ströme mit der Tangentenbussole, für schwächere durch ein empfindlicheres Galvanometer mit Nebenschluss.

fernen; letzteres kann man, wenn es nicht anders angeht, dadurch erreichen, dass man den Widerstand der Batterie verkleinert, indem man z. B. statt je einem Element zwei in Parallelschaltung verwendet. Wächst die Amplitude bei Einschaltung der Spirale, so war τ zu klein; im Gegenfalle zu gross. Die Wirkung der Spirale kann durch Einschieben von Eisendrähten verstärkt werden.

Dass man bei jedem Electromagneten zur Erzielung einer kräftigen Anziehung neben der Zeitconstante auch die Ampèrewindungszahl zu beachten hat, ist selbstverständlich.¹⁾

Agram, 28. Mai 1891.

1) Kurz vor Beendigung dieser Mittheilung erhielt ich von einer Arbeit Heerwagen's Kenntniss, und zwar aus den Beibl. 15. p. 185. 1891 „Studien über die Schwingungsgesetze der Stimmgabel und über die electromagnetische Anregung“. Da mir jedoch das Original der Arbeit (in den Schriften der Naturf. Ges. zu Dorpat, 1890) nicht zugänglich ist, so weiss ich nicht, ob dieselbe mit der meinigen Berührungspunkte bietet.