

Über die Wirkung der Selbstinduction bei elektromagnetischen Stromunterbrechern

(Vorläufige Mittheilung)

von

Dr. V. Dvořák,

Professor an der k. Universität in Agram.

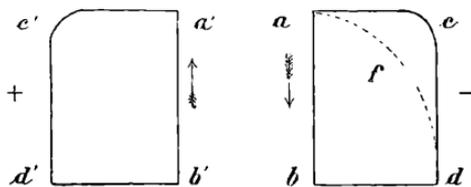
(Mit 3 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 10. Jänner 1889.)

Es ist bekannt, dass die elektromagnetische Stimmgabel, der Wagner-Neef'sche Hammer und ähnliche Apparate hauptsächlich nur durch die Wirkung der Extrastrome in Bewegung versetzt werden.

Es sei a die Gleichgewichtslage der Stimmgabelzinke (Fig. 1), wobei der Unterbrechungsstift die Quecksilberoberfläche (bei einer Gabel mit Quecksilberunterbrechung) eben berühren soll; ab sei der Weg der Zinke beim Herabgehen, $a'b'$ der Weg beim Heraufgehen zur Gleichgewichtslage. Die Stromstärke soll als Senkrechte aufgetragen werden. Falls man von der Selbstinduction absieht, so wäre die + zu rechnende Fläche $a'b'c'd'$

(Fig. 1.)



gleich der — zu rechnenden Fläche $abcd$, die Wirkung daher Null.

Durch den Einfluss des Schliessungsextrastroms wird aus $acdb$ die Fläche $a'fbd$; was aber den Öffnungsextrastrom betrifft, so wird er durch das Öffnen des Stromkreises fast ganz abgeschnitten.

Um eine gute Wirkung zu erzielen, müsste man die Fläche $afdb$ möglichst klein, die Fläche $a'b'c'd'$ möglichst gross machen.

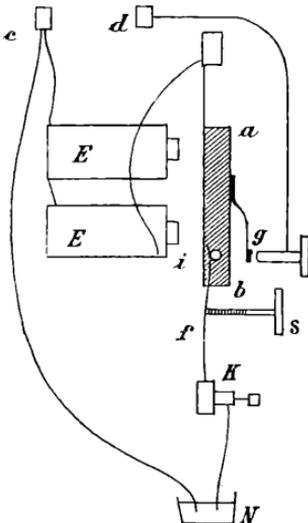
Das erste Mittel dazu wäre eine Vergrösserung des Selbstinductionscoëfficienten L , jedoch nur bis zu einer gewissen Grenze. Wächst nämlich L , so steigt der Strom immer langsamer an und die $-$ Fläche $afdb$ wird daher kleiner; wird aber L zu gross, so wird auch die $+$ Fläche klein werden, indem der Strom während der Zeit, als er geschlossen ist, gar nicht zur vollen Entwicklung kommt.

Bei hohen Stimmgabeln, wo die Schwingungsdauer klein ist, wird man mit grossem L , also grossen Spulen und viel Eisen gar keine Wirkung erzielen, während dieselben Spulen bei tiefen Gabeln sehr gut wirken können.

Das zweite Mittel wäre, dass man den Öffnungsextracurrent sich voll entwickeln liesse; da derselbe mit dem Hauptstrom gleichgerichtet ist, so müsste er die Wirkung verstärken.

Ich habe nun eine Einrichtung getroffen, durch welche im Momente, als der Hauptstrom aufhört, die Elektromagnetspule in sich geschlossen wird, so dass der Öffnungsextracurrent den Weg frei hat; die Wirkung wird in der That dadurch beträchtlich gesteigert, und zwar nicht nur bei der elektrischen Stimmgabel, sondern auch z. B. beim gewöhnlichen Lätewerk.

(Fig. 2.)

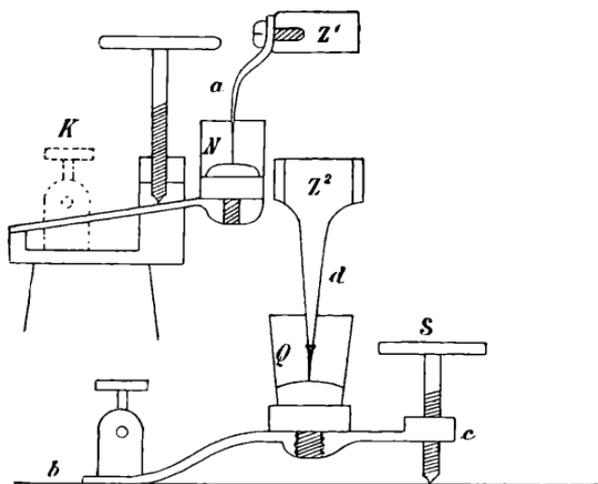


Es sei ab der Anker (Fig. 2), E der Elektromagnet des Lätewerks; die Stromzuleitung erfolgt bei c und d .

Man bringe bei i einen (zur Zeichnungsebene senkrechten) Platinstift an, neben welchem sich die stellbare Blattfeder f befindet; die Feder wird mittelst der Schraube S so gestellt, dass im Momente der Stromunterbrechung (bei g) die Feder den Stift eben berührt. Weiters führe man von der Klemmschraube K und von c je einen Draht vom Quecksilbernäpfchen N ; sind beide Drähte im Näpfchen, so ist der Öffnungsextracurrent der Drahtspule

in sich geschlossen; hebt man einen Draht heraus, so ist der Extracurrent, wie gewöhnlich, abgeschnitten. Auf diese Art kann man sich überzeugen, dass bei geschlossenem Öffnungsextracurrent die Schwingungsamplitude des Ankers etwa um $\frac{1}{3}$ grösser ist als gewöhnlich: somit wäre eine wesentliche Verbesserung des Läutewerkes und ähnlicher Apparate erreicht.¹

Um dieselbe Wirkung bei der Stimmgabel zu erreichen, verfährt man in ähnlicher Weise; nur muss man anstatt des Platincontactes den viel verlässlicheren Quecksilbercontact nehmen (besonders für stärkere Ströme). An die obere Zinke Z_1 (Fig. 3.) ist 8 cm vom Ende ein kleiner Ansatz a von Messing-



¹ Vorausgesetzt, dass sich die richtige Justirung der Feder f auf lange Zeit erhalten würde, was wohl nicht schwer zu erreichen ist; die Feder bekommt bei i ebenfalls ein Platinplättchen und steht in Wirklichkeit senkrecht zur Zeichnungsebene, weil sich bei b der Hammer und weiter unten die Glocke befindet. Um die Vergrößerung der Amplitude zu sehen, muss man die Glocke etwas losschrauben und bei Seite drücken. Ist die Glocke so weit, dass sie für gewöhnlich der Hammer noch nicht erreicht, so fängt dieselbe sofort zu läuten an, falls man die Drähte bei N eintaucht. Eine genaue Justirung mit der Schraube S ist jedoch unbedingt nöthig. Ein weiterer Vortheil wäre die Aufhebung des Unterbrechungsfunkens bei g . Als Stromquelle verwendete ich ein einzelnes gewöhnliches Leclanché-Element. Vielleicht liesse sich dasselbe Princip auch bei anderen Apparaten, wo der Extracurrent auftritt, mit Nutzen verwenden.

blech angeschraubt, der unten in eine Platinspitze ausläuft. Das Quecksilbernäpfchen *N* aus Stahl befindet sich an dem Ende einer Messingfeder, die durch eine feine Schraube mit grossem Kopfe herabgedrückt werden kann.

Auch das Quecksilbernäpfchen *Q*, in welchem der Strom in gewöhnlicher Weise unterbrochen wird, kann mittelst der Schraube *S* gehoben und gesenkt werden, jedoch denke man sich den ganzen Theil *cb* um 90° in der Horizontalebene gedreht. Der Unterbrechungstift *d* befindet sich am Ende der Zinke. Das Quecksilber in beiden Näpfchen wird mit Alkohol bedeckt; beide können zum Zwecke der Reinigung leicht abgeschraubt werden.

Um die Gabel, deren Schwingungszahl 128 ganze Schwingungen betrug, in Bewegung zu setzen, verwendete ich eine auf Messingblech aufgewickelte Spule von 1 mm dickem Kupferdraht, dessen Länge bloss 4·8 m war; der innere Spulendurchmesser war 20 mm, die Höhe 11 mm, der Widerstand 0·143 Ohm.

Ich wählte mit Absicht eine so kleine Spule, damit auch der Selbstinductionscoefficient *L* klein ausfiele; jedoch genügte sie, selbst ohne Eisenkern, zur Unterhaltung ausgiebiger Schwingungen.

Weiters konnten in den Stromkreis, um den Selbstinductionscoefficienten zu verändern, noch andere Drahtspulen hinzugefügt werden; wurde eine solche Spule ausgeschaltet, so wurde mittelst eines Umschalters sofort ein an Widerstand gleicher gerade ausgespannter Neusilberdraht dafür eingeschaltet, um den Gesamtwiderstand nicht zu verändern.

Ich verwendete hauptsächlich 3 Spulen, und zwar:

- | | |
|--------|---|
| Nr. 1. | Drahtdicke 1·6 mm, innerer Durchmesser 16 mm, |
| | äusserer „ 36 mm, |
| | Höhe 57 mm, |
| | Widerstand 0·14 Ohm. |
| Nr. 2 | 1·2 mm, innerer Durchmesser 44 mm, |
| | äusserer „ 50 mm, |
| | Höhe 67 mm, |
| | Widerstand 0·22 Ohm. |
| Nr. 3 | 1·7 mm, innerer Durchmesser 11 mm, |
| | äusserer „ 28 mm, |
| | Höhe 40 mm, |
| | Widerstand 0·06 Ohm. |

Als Stromquelle benutzte ich eine Tauchbatterie (Kohle mit Chromsäure, Zink in verdünnter Schwefelsäure mit Diaphragma. Zuerst wurde ein Galvanoskop in den Stromkreis eingeschaltet und hierauf das Nöpfchen Q so weit gehoben, bis das Galvanoskop einen Ausschlag gab; dann berührt die Unterbrechungsspitze eben die Quecksilberoberfläche. Hierauf wurde das Galvanoskop durch Kurzschluss ausgeschaltet.

Um die Excursionen der Stimmgabel zu messen, benützte ich ein schwach vergrösserndes Mikroskop mit Ocularmikrometer ($1mm = 10.6$ Theilen).

Um zuerst den Einfluss des Öffnungsextracurrents zu untersuchen, wurde (um die Wirkung zu verstärken) noch die Spule Nr. 1 in den Stromkreis eingeschaltet; dann wurde vermittelt eines Quecksilbernöpfchens und zwei Drähten, ähnlich wie in Fig. 2, die zur Schliessung des Extracurrents nöthige Verbindung hergestellt, und weiters das Nöpfchen N soweit gehoben, bis das Geräusch der Extracurrentfunken im Nöpfchen Q verstummte; das ist ein Zeichen, dass der Öffnungsextracurrent in sich geschlossen ist.

Die auf Filzstücken ruhende Gabel schwingt dann fast vollkommen lautlos.

Die Vergrösserung der Amplitude ist bei guter Justirung beträchtlich; so stieg dieselbe einmal, falls sich kein Eisenkern in der Elektromagnetspule befand, von 24 auf 31 Theile. War die Elektromagnetspule mit ihrem Eisenkerne versehen, so stieg die Amplitude von 31.5 auf 40.5 Theile. (Die zur Verstärkung des Extracurrents miteingeschaltete Spule Nr. 1 hatte keinen Eisenkern.)

Die Schliessung des Extracurrents kann auch durch einen Zweigdraht (Shunt) erfolgen; jedoch geht ein Theil des Batteriestromes dadurch verloren.

Dieser Verlust jedoch wird durch die Ausbildung des Extracurrents mitunter ganz compensirt, eine Thatsache, die man meines Wissens bis jetzt noch nicht bemerkt hat. Gewöhnlich bedient man sich des Shunt zur Vermeidung des Extracurrentfunken, und man findet mitunter die Ansicht ausgesprochen, dass der Widerstand des Shunts, um Stromverlusten vorzubeugen, sehr gross sein solle. Dem ist nicht so. Die früher erwähnten

zwei Spulen, die Elektromagnetspule und die Spule Nr. 1, hatten sammt den Verbindungsdrähten einen Widerstand von circa 0·33 Ohm. Verbindet man die Enden der Spulen durch einen Stöpselrheostaten als Shunt, so wird der Extracurrentfunken schon bei 5 Ohm sehr hörbar, und steigert sich immer mehr, wenn man den Widerstand (bei meinen Versuchen bis auf 10 Ohm) wachsen lässt.

War der Widerstand des Shunt's 1 Ohm, so sank bei der Einschaltung des Shunts die Amplitude von 28 kaum auf 27; bei 5 bis 10 Ohm blieb die Amplitude ganz unverändert. Bei 1 Ohm Widerstand verbraucht der Shunt etwa $\frac{1}{4}$ der Stromstärke (da der Widerstand der Spulen circa $\frac{1}{3}$ Ohm beträgt), aber dieser Verbrauch an Strom wird durch die günstige Wirkung des Extracurrents fast ganz compensirt.

Man kann sogar mit dem Shunt trotz des durch ihn herbeigeführten Stromverlustes die Wirkung verstärken, falls der Inductionscoëfficient nicht zu gross ist. Den Widerstand des Shunt nimmt man dazu etwa dreimal so gross, als den Widerstand des anderen Stromzweiges, der die Spulen enthält.

Dieses zeigte sich schon bei dem früher erwähnten Läutewerk; verbindet man die Enden der Elektromagnetspule, deren Widerstand 7·5 Ohm betrug, durch einen inductionsfreien Widerstand von 20 Ohm, so wird die Amplitude merklich vergrössert. Vielleicht würde es sich empfehlen, zur Schonung der Contacte, die durch den Öffnungsextracurrentfunken corrodirt werden, einen solchen Widerstand von dünnem Neusilberdraht beizuschalten; die Wirkung leidet dadurch nicht, sondern wird noch besser.

Noch leichter lässt sich die Vergrösserung der Amplitude durch den Shunt bei der elektrischen Stimmgabel zeigen. Bei diesen Versuchen hatte die Elektromagnetspule der Stimmgabel einen Kern, bestehend aus drei 3·5 mm dicken, 14 mm langen Eisenplatten, welche die Höhlung der Spule nicht ganz ausfüllten; der Widerstand des Shunt war dreimal so gross, als der Widerstand des Elektromagnets. Es wurde nur ein Element verwendet; die Stromstärke war vor Einschaltung des Shunt 2·5 Ampère; durch Einschaltung desselben stieg die Amplitude von 27·3 Theilen auf 28·3 Theile. Die Stromstärke im anderen Zweige sank durch den Shunt von 2·5 auf 2·02.

Wurde noch die Spirale Nr. 2 zu dem Elektromagneten beigeschaltet und mehr als zur Hälfte mit Eisendrähten ausgefüllt, so stieg die Amplitude bei Einschaltung eines Shunt's von dreifachem Widerstande von 32·3 auf 34·3. Die Stromstärke hingegen fiel in den Spulen von 2·5 auf 2·18.¹

Um weiters den Einfluss des Selbstinductionscoëfficienten zu studiren, wurde der Shunt entfernt und der Öffnungsextracurrent durch die schon besprochene Vorrichtung, die wir der Kürze wegen „Extracurrentfänger“ nennen wollen, geschlossen. Bei Einschaltung einer Spule wird der Selbstinductionscoëfficient vergrössert; jede einzelne von den drei früher erwähnten Spulen bewirkte eine Vermehrung der Amplitude², falls in dieselben kein Eisen eingeführt wurde; dieses bewirkt nämlich ebenfalls eine Steigerung des Selbstinductionscoëfficienten. Bei der Spule Nr. 1, deren Selbstinductionscoëfficient schon ohne Eisen ziemlich gross war, bewirkte Einlegen von Eisen eine Abnahme der Schwingungsamplitude; bei Nr. 3 (und auch bei Nr. 2), wo dieser Coëfficient klein war, hingegen eine Zunahme.

In die Spule Nr. 2 konnte ein Kupfercylinder (Durchmesser 42mm, Höhe 70mm) eingeschoben werden, um den Einfluss der Foucault'schen Ströme zu untersuchen.

Folgende Tabelle gibt eine Übersicht der erhaltenen Resultate, falls kein Eisenkern in der Elektromagnetspule war. *A* bezeichnet die Amplitude ohne die betreffende Spule, wenn ein an Widerstand gleicher Neusilberdraht statt derselben eingeschaltet war.

B bezeichnet die Amplitude bei eingeschalteter Spule, *C* die Amplitude, wenn in die Spule ein 3 mm dicker Eisendraht, *D*

¹ Die Stromstärken in den beiden Zweigen verhalten sich zwar so wie 1:3, aber durch die Einschaltung des Shunt wird der Gesamtwiderstand des ganzen Stromkreises geringer; es ist dann die Stromstärke im Hauptstromkreise grösser als 2·5 Ampère.

² Schon vor einigen Jahren machte ich folgenden Versuch:

In den Stromkreis einer elektromagnetischen Stimmgabel ($n=128$ Schwingungen) wurde eine lose gewickelte Drahtrolle (65 Windungen von 5cm Durchmesser, Drahtdicke = 1 mm) eigeschaltet. Beim Ausziehen der Drahtspirale sank die Amplitude, beim Zusammenlegen erreichte sie wieder den früheren Werth. Die verstärkende Wirkung der Spulen zeigt sich nämlich schon, wenn auch nicht so auffallend, ohne den Extracurrentfänger.

wenn ein Drahtbündel (von 1mm dicken Drähten) von 7.5mm Durchmesser eingeführt wurde. E bezeichnet die Amplitude bei Einführung des Kupfercylinders. Die Stromstärke wurde, falls die Gabel nicht im Gange war, durch Einschaltung eines Widerstandes jedesmal auf 4 Ampère gebracht. Es wurden zwei Elemente verwendet.

	A	B	C	D	E
Nr. 1	29.3	32.5	30.3	29.3	
Nr. 2	29.3	32.2	32.2	32.8	30.4
Nr. 3	29.3	32	32.6	33	

Die Einführung des Kupfercylinders bewirkte bloss ein Sinken der Amplitude von 32.8 auf 30.4; ich hatte eine viel stärkere Wirkung erwartet.

Die nächste Tabelle gibt eine Übersicht für den Fall, als in die Elektromagnetspule der früher erwähnte Eisenkern eingesteckt war. Die Stromstärke betrug 2.5 Ampère. Die Zahlen sind übrigens nur angenähert, da die Amplitude mitunter etwas schwankt.

	A	B	C	D	E
Nr. 1	41.2	44	41	39.2	
Nr. 2	41.2	44.2	44.2	44.8	39
Nr. 3	41.2	42.5	42.5	42.7	

Besonders auffallend zeigt sich der Einfluss des Eisens bei der Spule Nr. 1; schon ein einzelner 1mm dicker Eisendraht bewirkt eine Abnahme der Amplitude von 44 auf

42·2; hier zeigt sich schlagend der grosse Einfluss des Selbstinductionscoëfficienten auf die Amplitude der Stimmgabel.

Übrigens kann man ähnliche Versuche auch ohne den Extracurrentfänger machen, wenn man selben durch einen Shunt ersetzt. Ein solcher Versuch mit der Spule Nr. 2 wurde schon früher erwähnt. Die Zahlenwerthe waren: für den Fall *A* 24·6, für *B* 31·3, für *D* 33·6; füllte man die Spule mit Eisendrähten fast ganz aus, so war die Amplitude 34·3. Gibt man successive immer mehr Eisendrähte in die Spule, so wächst die verstärkende Wirkung im Anfange rasch, später aber sehr langsam. Bei der Spule Nr. 1 zeigte sich wieder, wie früher, die schwächende Wirkung des Eisens; ein einzelner, 1 mm dicker Eisendraht konnte die Amplitude um 1·5 Theilstriche erniedrigen; übrigens waren die Amplituden: für *A* 27·8, für *B* 31·9, für *C* 27·9, für *D* 27·2.

In dem Falle *D* ist bei der Spule Nr. 1¹ der Inductionscoëfficient viel zu gross; der Strom kann sich während der kurzen Schliessungszeit nicht voll entwickeln. Man kann jedoch diese Zeit etwas verlängern, wenn man das Quecksilbernäpfchen *Q* etwas hebt; der Strom bleibt dann länger geschlossen und die Amplitude wird, wie der Versuch zeigt, grösser.

Verwendet man weder Shunt noch Extracurrentfänger, so kann man die Amplitude dadurch etwas vergrössern, dass man keinen Alkohol auf das Quecksilber bringt; es kann sich dann der Öffnungsfunken besser entwickeln und so der Öffnungsextracurrent einigermassen zur Geltung kommen.

Nach den Helmholtz'schen Gleichungen für den Einfluss der Selbstinduction auf das Anwachsen der Stromstärke *C*,

nämlich $C = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t})$, wo *E* die elektromotorische Kraft der Batterie, *R* den Widerstand des Stromkreises, *e* die Basis der

¹ Diese Spule wurde von einem Elektromagneten genommen, der sich ursprünglich bei der Stimmgabel befand; solcher Spulen besass der Elektromagnet, der die Stimmgabelzinken nach alter Weise von aussen umfasste, zwei, die auf massiven Eisenkernen aufgeschoben waren; offenbar glaubte der Constructeur, die Wirkung durch Anbringung eines so starken Elektromagneten zu fördern; dieselbe war aber (wegen zu grossem Inductionscoëfficienten) nur schwach.

natürlichen Logarithmen, L den Selbstinductionscoefficienten und t die Zeit (vom Anfang des Stromschlusses gerechnet) bedeutet; weiters für die Gesamtintensität des Extrastromes $\frac{LE}{R^2}$, müsste der Widerstand R von beträchtlichem Einflusse sein. Ich stellte deshalb in dieser Hinsicht mehrfache Versuche an, jedoch zeigte sich der Einfluss des Widerstandes nur in geringem Maasse, aus Gründen, die erst näher zu untersuchen wären. Ist der Selbstinductionscoefficient zu gross, wie im Falle D bei der Spule Nr. 1, so müsste durch Vermehrung des Widerstandes bis zu einer gewissen Grenze die Amplitude wachsen; das Gegentheil müsste bei zu kleinem Inductionscoefficienten eintreten, wie im Falle A , wo bloss die kleine Elektromagnetspule (mit ihrem Eisenkerne versehen) sich im Stromkreise befindet. Diese Erwartung hat sich auch bestätigt, aber die Unterschiede der Amplituden sind selbst in dem Falle, wo der Widerstand verdreifacht wurde, nicht sehr gross.

Die Stromstärke wurde immer 2·5 Ampère genommen. Zuerst wurde nur ein Element genommen; dessen Widerstand betrug (mit der Telephonbrücke gemessen) gegen 0·25 Ohm, der Widerstand des übrigen Stromkreises war 0·5 Ohm. Dann wurde die Amplitude gemessen. Hierauf wurden zwei Elemente genommen und zu der Spule, die durch den Extracurrentfänger immer in sich geschlossen wird, ein ihr an Widerstand gleicher Neusilberdraht hinzugeschaltet; dann wurde bei der Batterie noch so viel Neusilberdraht eingeschaltet, dass die Stromstärke wieder 2·5 Ampère betrug; es war somit die elektromotorische Kraft, als auch der Widerstand verdoppelt. Ein weiterer Versuch wurde in der Art noch mit drei Elementen ausgeführt. Der Extracurrentfänger wurde immer so regulirt, dass die Amplitude ein Maximum war. Beifolgende Tabelle gibt eine Übersicht der erhaltenen Resultate; die Fälle B und D beziehen sich auf die Spule Nr. I, die zur Elektromagnetspule eingeschaltet wurde; der Widerstand, der zum Beispiel bei drei Elementen in den Stromkreis des Extracurrentfängers beigeschaltet wurde, war doppelt so gross, als der Widerstand der beiden Spulen zusammen.

Zahl der Elemente	A	B	D
1	37·7 ¹	41	34·3
2	37	40·2	36·3
3	35	38·4	36·5

Ähnliche Versuche kann man auch machen, wenn man den Extracurrentfänger durch einen Shunt ersetzt.

Es wären noch weitere Untersuchungen über den Einfluss des Widerstandes des ganzen Stromkreises, sowie Messungen des Inductionscoëfficienten am Platze; ebenso Untersuchungen über den Einfluss der Schwingungsdauer. Meine Versuche darüber sind noch nicht beendet; der zu erreichende Zweck wäre unter anderem eine möglichst vortheilhafte Dimensionirung des Elektromagneten für eine bestimmte Schwingungszahl², um einen möglichst hohen Nutzeffect zu erreichen. Schaltet man ein Galvanometer in den Stromkreis einer möglichst stark schwingenden Stimmgabel ein und dämpft dann die Schwingungen mit dem Finger, so steigt die Stromstärke; es ist dies derselbe Fall wie bei elektrischen Motoren. Wenn sie schnell umlaufen, ist die Stromstärke (zufolge der Induction) kleiner als bei langsamem Gange. Ich beabsichtige auch den Nutzeffect der elektrischen Stimmgabel, als Motor betrachtet, zu bestimmen.

¹ Diese Amplitude für A ist etwas kleiner, als bei den früheren Versuchen, wo selbe 41·2 betrug; es wurde nämlich der Elektromagnetskern, da die Gabel bei zu grossen Excursionen an ihn zuweilen anschlug, etwas abgefeilt (von 14 mm auf 13 mm).

² Einige Versuche darüber finden sich in meiner Mittheilung „Über akustische Bewegungserscheinungen, insbesondere über das Schallradiometer, dieser Sitzber. Bd. 84, S. 702, 1881.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1889

Band/Volume: [98_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Dvorák V.

Artikel/Article: [Über die Wirkung der Selbstinduction bei elektromagnetischen Stromunterbrechern 55-65](#)