

auf den Strom äussere, was bei den dermaligen Ansichten über Elektricität und Lichtäther nicht unwahrscheinlich ist. Beabsichtigte Beobachtungen dieser Art sind es, welche mich zu obigen Vorversuchen über elektrische Inductionsströme durch diamagnetische Körper veranlaßt haben.

**VIII. Ueber eine optische Methode, die Schwingungen starrer Körper zu studiren;
von Ogden N. Rood,**

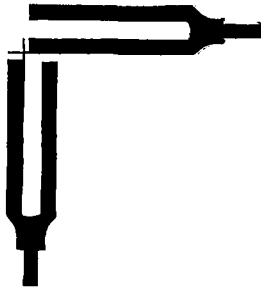
Prof. d. Physik am Columbian College in New-York.

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. *American Journ. of. Science*,
1874, Vol. VIII.)

Im J. 1855 beschrieb Lissajous eine schöne Methode, zwei Stimmgabeln genau in Einklang zu bringen, welche seitdem zur Herstellung genauer Copien von Normalgabeln, die eine bekannte Zahl von Schwingungen in der Secunde machen, von großem Nutzen gewesen ist. Diese Methode ist gegenwärtig so bekannt, daß eine nähere Beschreibung derselben überflüssig seyn würde: ich schreite daher sogleich zur Beschreibung eines analogen Verfahrens, das zwar hinsichtlich der Genauigkeit dem Lissajous'schen etwas nachsteht, dagegen leichter ausführbar ist und eine allgemeinere Anwendung auf das Studium der Schwingungen starrer Körper von sehr verschiedener Form gestattet. Die Natur dieser Methode wird am besten durch ein Paar Beispiele erläutert werden.

Stimmgabeln. Gesetzt, es werde verlangt, zu ermitteln, ob zwei Stimmgabeln im Einklang seyen oder wie groß der Unterschied der von ihnen in der Secunde vollführten Schwingungen sey. Zu dem Ende bringe man zwei Gabeln in solche Stellung, daß sie rechtwinklich gegen einander

schwingen, wie in Fig. 1 angedeutet, und befestige an jede derselben ein kurzes Stück dünnen Stahldrahts. Die Drähte können einen Durchmesser von 0,1 oder 0,2 Millim. und selbst darunter haben und sind mit möglichst wenig weichem Wachs oder Firniß zu befestigen. Sie können einander möglichst nahe oder nöthigenfalls mehrere Zoll auseinander angebracht werden. Versetzt man nun die



Gabeln in Schwingung und betrachtet den Kreuzpunkt der Drähte durch ein kleines Fernrohr gegen einen hellen Hintergrund, so wird man sehen, daß sich eine optische Figur entfaltet, welche zum Theil von denselben bekannten Bedingungen herrührt, die Anlaß zu den Lissajous'schen Figuren geben, zum Theil aber davon, daß die Drähte sich mit geringerer Geschwindigkeit bewegen, wenn sie dem Maximum ihrer Ausbiegung aus der Ruhelage nahe kommen.

Fig. 2.



Fig. 3.



Wenn demnach die Phasendifferenz Null ist, wird eine Figur wie No. 2 gebildet, welche sich in No. 3 verwandelt, wenn die Phasendifferenz auf die Hälfte einer ganzen Vibration angewachsen ist. Schwächere Anzeigen von denselben Figuren zeigen sich in allen Fällen, ausgenommen, wenn die Phasendifferenz ganz oder nahe ein Viertel, drei Viertel, usw. einer Vibration ist. Diese Figur ist dann charakteristisch für unisone Gabeln und läßt sich durch zweckmäßige Anordnung des Lichts und des Fernrohrs leidlich scharf und deutlich machen. Sind die Gabeln wirklich in Unisone, so läßt sich die obige Figur nach einen Paar Versuchen ziemlich sicher erhalten und anderseits giebt ihre Constanz den Beweis vom vollkommenen Unisone. Sind die Gabeln nicht genau im Einklang, so wird, wie angegeben, Fig. 1 sich nach einiger Zeit in Fig. 2 verwandeln und die An-

zahl der zu dieser Veränderung nöthigen Secunden wird die Zeit messen, welche eine der Gabeln gebraucht, um die Hälfte einer vollständigen Vibration zu gewinnen oder zu verlieren.

Wenn die zwei Drähte nur ein Paar Millimeter aus einander stehen, so ist klar, daß das Fernrohr ohne besondere Vorrichtung deutliche Bilder von ihnen beiden liefern wird; allein im Allgemeinen wird der Zwischenraum zwischen den vibrirenden Körpern größer seyn und eine Schwierigkeit für die Focal-Einstellung herbeiführen. Diesem ist leicht dadurch abzuhelpen, daß man die Apertur des Objectivs beschränkt. Die Brennweite des von mir benutzten Fernrohrs betrug für parallele Strahlen 120 Millimeter und wenn die Apertur auf zwei Millimeter verringert wurde, waren beide Drähte hinreichend deutlich zu sehen, selbst wenn auch ihr gegenseitiger Abstand mehrere Centimeter betrug und das Fernrohr ihnen doch so nahe war, daß der Beobachter ohne Aufzustehen alle Manipulationen ausführen konnte. Bei dieser beschränkten Apertur war das Licht einer weißen Wolke vollkommen genügend.

Wenn die Stimmgabeln um eine ganze Octave verschieden sind, entsteht eine fast eben so deutliche und wohl bestimmte Figur, wie man in Fig. 4 u. 5 sieht, welche die charakteristischen Erscheinungen in diesem Falle darstellen. Zum Zwecke der

Fig. 4.



Fig. 5.



Untersuchung ist diese Figur eben so nützlich, wie die des Unisono. Etwas weniger deutliche und mehr complicirte Figuren geben die Quinte, die Duodecime und die Doppel-Octave. Es ist etwas schwieriger, sie auf den Blick von einander zu unterscheiden und sie sind weniger scharf als die des Unisono oder der Octave, welche zu experimentellen Bestimmungen immer den Vorzug verdienen, wenn auch die übrigen Figuren erforderlichenfalls angewandt werden können. Die Beziehung aller dieser Figuren

zu den entsprechenden von Lissajous ist durch den Anblick klar.

Stimmgabeln und schwingende Saiten. Nach dem Vorhergehenden ist es offenbar leicht, mittelst dieser Methode eine schwingende Saite in Einklang mit einer gegebenen Stimmgabel zu bringen oder so abzugleichen, daß das Intervall eine Quinte, Octave, Duodecime oder Doppel-Octave nach oben oder unten wird. Es ist auch leicht, die Anzahl der von einer Saite in einem gegebenen Fall vollführten Schwingungen zu ermitteln mit Hülfe eines Steges und einer geeigneten Gabel, die eine bekannte Anzahl von Schwingungen macht; die Saite wird verkürzt, bis sie eine der oben erwähnten Figuren giebt und folglich eine bekannte Anzahl von Schwingungen macht, worauf dann die Anzahl der von ihrer ganzen Länge vollführten Schwingungen leicht nach einem bekannten Gesetze berechnet werden kann.

Schwingende Saiten. Um zwei Saiten in Einklang zu bringen oder eins der erwähnten Intervalle zwischen ihnen herzustellen, ist es durchaus nicht nöthig, daß sie gegen einander rechtwinklich schwingen. Bei meinen Versuchen bringe ich einfach zwischen die Saiten eines Menochords einen unter 45° geschnittenen Kork und halte unter diesem Winkel ein kleines Stück Brillenglas von guter Beschaffenheit. Das reflectirte und verticale Bild der entfernteren Saite sieht man im Fernrohr gekreuzt von dem horizontalen Bilde der näheren Saite und wenn man nun den Spiegel so dreht, daß er zugleich Licht vom Himmel reflectirt, sind alle Bedingungen erfüllt. Offenbar liefert diese Anordnung ein vortreffliches Verfahren, die Gesetze schwingender Saiten zu studiren, sie mit der Theorie zu vergleichen und die durch Steifheit und ungleiche Dicke herbeigeführten Abweichungen zu untersuchen.

Zu all den Versuchen mit Saiten gebrauchte ich das Marloye'sche *Differential-Sonometer*, so wie es von dem durch seine vortrefflichen Arbeiten wohlbekannten Hrn. König construirt wird; nur fügte ich noch eine Zwinge

zu einem der Stege, um die Saite herabzudrücken. Allein dieses so bewunderswerthe Instrument, wenn das Ohr als Prüfmittel angewandt wird, ergab sich nicht als hinreichend empfindlich, um damit aus der hier beschriebenen Methode allen Nutzen ziehen zu können. Die Vorrichtung zur Veränderung der Spannung war schwerlich hinreichend fein und eine Schraubenbewegung an dem Stege würde von großem Nutzen seyn. Es zeigte sich auch schwierig, eine gegebene Spannung längere Zeit vollkommen genau zu halten. Wahrscheinlich würde eine Abänderung an den älteren Vorrichtungen von Weber und Fischer dem Zwecke besser entsprechen.

Schwingungen von Ruthen, Stäben und Platten. Ruthen oder Stäbe, befestigt an einem Ende oder in zwei Knoten und versehen am anderen Ende mit dünnen Drähten können offenbar nach dieser Methode entweder in Einklang gebracht oder um eins der vorhin erwähnten Intervalle verschieden gemacht werden. Vorzuziehen ist es jedoch, sie in Verbindung mit dem Monochord und einer Stimmgabel zu studiren. Zuvörderst wird die ganze Saite des Monochords mit der Stimmgabel in Einklang gebracht oder ein bestimmtes Intervall zwischen ihnen hergestellt. Dann wird eine Saite rechtwinklich gegen den Stab combinirt und der Steg verschoben bis Einklang erreicht ist, wo es dann möglich ist, die Zahl der von der Saite und dem Stab oder der Platte vollführten Schwingungen zu berechnen. Als Beispiel gebe ich das Resultat zweier rohen Versuche, die mit Hülfe eines Assistenten genauer gemacht worden wären.

Die Saite, ein Meter lang, wurde mit dem *Ut* einer Stimmgabel in Einklang gebracht, machte also 64 Doppelschwingungen in der Secunde. Darauf wurde sie combinirt mit einer Glasplatte von 330 Millimeter Länge, die an zwei Knotenpunkten unterstützt war. Man machte fünf Bestimmungen mit dem Stege und wiederholte dieselben, nachdem die Saite zum zweiten Mal mit der Gabel in Einklang gebracht worden war.

847,0	843,0
846,9	846,5
847,7	846,9
847,1	845,7
847,7	843,0
<hr/> 847,28	<hr/> 845,02

Das Resultat war also im ersten Fall 75,585 und im zweiten 75,738 Schwingungen in der Secunde.

Ein Experiment, mit einem Stück Glas, geschnitten aus derselben Platte und fast eben so lang, gab bei zwei Bestimmungen 77,811 und 77,717 Schwingungen in der Secunde.

Schwingungen von Glocken. Befestigt man den feinen Draht an der einen Seite einer Glocke, so läßt sich die von dieser ausgeführte Zahl von Schwingungen mittelst des Monochords auf angegebene Weise bestimmen. Eine Glasglocke wurde mittelst eines Violinbogens in Vibration gesetzt und combinirt mit einer Saite von 1 Meter Länge, welche eine Octave tiefer als das *Sol*, der Gabel erklang, also 96 Doppelschwingungen in der Secunde machte. Der Steg wurde verschoben, bis die Saite, wenn sie ihren Grundton gab, eine Octave niedriger als die Glasglocke erklang. Die Resultate waren folgende:

802,0	803,0
802,7	803,5
804,5	804,0
804,2	801,7
803,5	802,2
<hr/> 803,38	<hr/> 802,88

Im ersten Fall war die Anzahl der Schwingungen 238,99, im zweiten Fall 239,14, also nur um 0,15 einer Schwingung verschieden.

Bei Versuchen dieser Art hängt offenbar die zu erreichende Genauigkeit zu großem Maasse von der Zeit ab, während welcher die beiden Körper im Schwingen erhalten werden können; jedoch ist es nicht zulässig, die Saite mit Hülfe des Violinbogens in Schwingung zu halten, da die

geringste Veränderung im Druck zugleich die Figur verändert. Andererseits ist der Bogen nützlich, um eine kurze Saite mit einer Stimmgabel usw. in Einklang zu bringen, bloß um den Experimentator zu versichern, daß die dermalig angewandte und von einer *größeren Saitenlänge* gelieferte Figur wirklich die der tieferen Octave, der Duodecime oder doppelten Octave ist. Bei den Versuchen mit dem Monochord wurde die Saite einfach durch eine Federspule seitwärts gezogen und dann sich selbst überlassen. Wenn dieses und das Schwingen der Platte usw. von einem Gehülfen vollzogen wird, wird die Beobachtungszeit am Teleskop vergrößert und es lassen sich genauere Resultate als die angegebenen erhalten. Die Veränderungen in der Schwingungsebene der Saite sind schwerlich eine Quelle von Störungen, wenn Unisono- oder Octav-Figuren angewandt werden, werden es aber mit den übrigen, die complicirter sind, in dem Fall, wo es gewünscht wird, die während einer gewissen Zahl von Secunden in der Figur auftretenden Veränderungen zu zählen.

Schwingende Membranen, finde ich, lassen sich leicht in dieser Weise studiren, wenn man ihnen ein kleines Stück eines zwei Mal rechtwinklich gebogenen feinen Drahtes anheftet und dann in Verbindung mit einem Monochord oder einer Stimmgabel anwendet.

Endlich will ich hinzufügen, daß die wichtigeren dieser Figuren sich leicht einem großen Auditorium sichtbar machen lassen. Drähte von ungefähr Millimeterdicke werden an zwei vor einer Laterna magica aufgestellten Stimmgabeln befestigt; mittelst einer Linse von etwa 80 Millimeter Brennweite wird ein Bild auf dem Schirm entworfen. Die Figuren sind dann gut zu sehen, zugleich mit gewissen Einzelheiten, deren in diesem Aufsatz nicht besonders Erwähnung geschah.

New-York, 21. Mai 1874.
