

**12. Über eine neue Methode  
zur Erzeugung von Schwingungsfiguren und  
absoluten Bestimmung der Schwingungszahlen;  
von S. Mikola.**

Vor einigen Jahren habe ich eine optische Erscheinung beschrieben, welche sich zeigt, wenn weißgestrichene geometrische Drahtfiguren vor einem dunklen Hintergrund rotieren.<sup>1)</sup> Eine ähnliche Erscheinung hat auch später Prof. Dr. P. Czermak beschrieben und führte einige Literaturangaben von Beobachtungen an, welche sich auf verwandte Erscheinungen beziehen.<sup>2)</sup>

In meinem Aufsätze habe ich bemerkt, daß es auf Grund dieser Erscheinung möglich ist, die Schwingungszahlen einer Saite zu bestimmen. Seitdem ist es mir gelungen, eine Versuchsmethode zusammenzustellen, welche in der Akustik nicht nur zu Demonstrationszwecken, sondern auch zu wissenschaftlichen und praktischen Messungen benutzt werden kann.

Die Methode erfordert als wichtigsten Apparat eine rotierende Zylinderfläche, welche abwechselnd mit weißen und schwarzen Streifen versehen ist (*K*, Fig. 1).

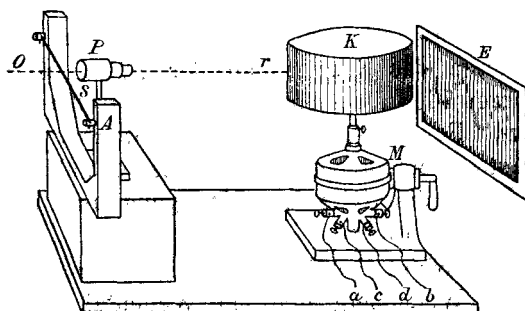


Fig 1

Rotiert das Streifensystem, so erzeugt es infolge des Nachwirkens ihres Lichteindrucks einen schleierartigen grau-

1) S. Mikola, *Mathematikai és Fizikai Lapok* p. 165. 1902.

2) P. Czermak, *Zeitschr. f. phys.-chem. Unterr.* p. 341. 1904.

weißen Schirm. Auf diesen Schirm kann man ebensogut ein Bild projizieren, wie auf eine weiße Wand.

Projiziert man also die Saite  $S$  mit der Projektionslinse  $P$  auf das rotierende Streifensystem  $K$ , so sieht man eine schwarze Schattenlinie. Diese Linie ist gerade, wenn die Saite ruht. Wird sie aber in Schwingungen gesetzt, so bekommt man bei

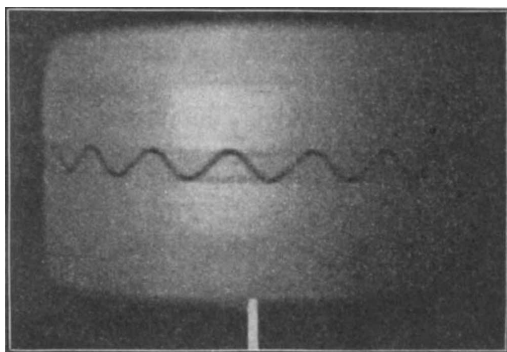


Fig. 2.

passender Rotationsgeschwindigkeit eine Wellenlinie, wie sie aus Fig. 2 ersichtlich ist.

Wie entsteht diese Wellenlinie? Nehmen wir an, daß die schwarze Zylinderfläche nur einen weißen Streifen enthält. Fällt auf diesen das Schattenbild der Saite, so sehen wir einen schwarzen Fleck, dessen Breite nicht größer ist, wie die des Streifens. Bewegt sich der Streifen weiter, so sinkt der Fleck oder steigt entsprechend der Phase, in welcher die Saite schwingt. Kehrt die Saite ihre Bewegung um, so folgt ihr auch der schwarze Fleck.

Auf diese Weise beschreibt er in einer Schwingungsperiode einen Wellenberg und ein Wellental. Infolge der Nachwirkung des Lichteindrucks sehen wir diese Wellenlinie nicht in der Zeit nacheinander beschrieben, sondern es vereinigen sich die einzelnen Lichteindrücke zu einer stehenden Wellenlinie.

Nehmen wir jetzt an, daß auf der schwarzen Zylinderfläche nicht ein, sondern mehrere weiße Streifen sind; nennen

wir ihre Zahl  $a$ , und die Tourenzahl der Maschine pro Sekunde sei  $f$ : so wechseln die weißen Streifen an jedem Orte

$$N = a \cdot f \text{ mal pro Sekunde.}$$

Wir nennen diese Zahl die *Frequenz* der weißen Streifen. Nehmen wir weiter an, daß die Frequenz der weißen Streifen so groß ist wie die Schwingungszahl ( $n$ ) der Saite, daß also

$$N = n.$$

In diesem Fall fällt der schwarze Fleck des zweiten, dritten, vierten etc. Streifens an denselben Ort, wo auch der erste Streifen einen schwarzen Fleck zurückgelassen hat. Die nachkommenden Streifen verstärken also die Wellenlinie, welche der erste gebildet hat. Diese Auslegung wird bestätigt durch den Versuch. Die Wellenlinie nämlich, welche nur von einem Streifen gebildet wird, ist so schwach, daß man sie kaum wahrnehmen kann. Je größer die Zahl der Streifen, desto intensiver wird die Wellenlinie. Es ist einleuchtend, daß die Wellenlänge mit der Distanz der Streifen zusammenfällt.

Wird die Frequenz der weißen Streifen verdoppelt, so daß

$$N = 2n,$$

dann bilden sich zwei Wellenlinien, welche gegeneinander mit  $\frac{1}{2}$  Wellenlänge verschoben sind. Es bildet nämlich der

1., 3., 5. etc. Streifen

und der 2., 4., 6. etc. „

je eine Wellenlinie (II, Fig. 3).

Ist  $N = 3n$ ,

so sehen wir drei Wellenlinien, welche gegeneinander mit  $\frac{1}{3}$  Wellenlänge verschoben sind. Es werden nämlich die verschiedenen Wellenlinien durch folgende Streifengruppen gebildet:

1., 4., 7. . .

2., 5., 8. . .

3., 6., 9. . . (III, Fig. 3).

Und so geht es weiter. Die Fig. 3 zeigt die photographischen Bilder der auf diese Art gefundenen Wellenlinien; IV bezieht sich auf den Fall, wenn  $N = 4n$ , V wenn  $N = 5n$ .<sup>1)</sup>

1) Die Aufnahme geschah mit einem Skioptikon. Die Lampe wurde mit 15 Ampère gespeist. Die Dauer der Exposition betrug ca.  $\frac{1}{100}$  Se-

Man sieht also, daß man  $k$  zusammengeflochtene Wellenlinien erhält, wenn  $N = k \cdot n$ . Die Wellenlänge ist immer  $= k \cdot d$ , wenn  $d$  die Distanz der benachbarten Streifen bedeutet.

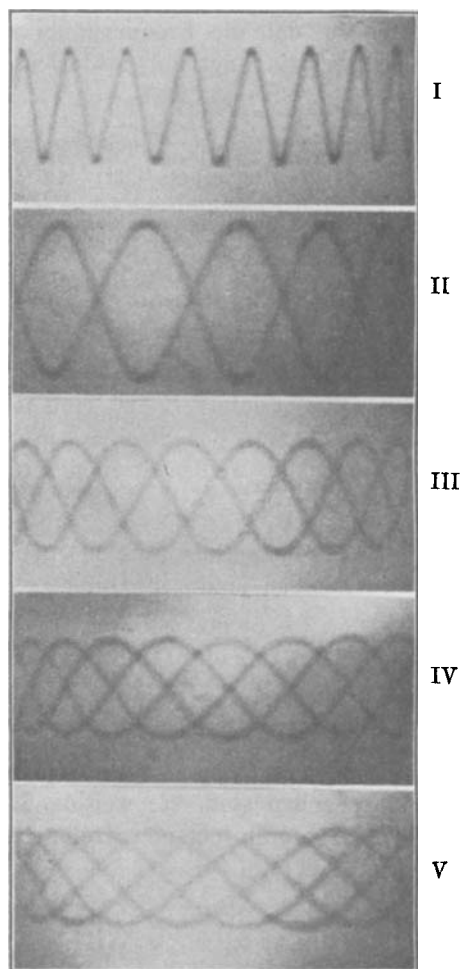


Fig. 3.

kunde. Der Verfasser ist in der Photographie nicht sehr bewandert und konnte nur mit einem Apparat minderer Sorte arbeiten. Es können auch bessere Bilder erzeugt werden.

Ist

$$N = k \cdot n \pm \delta,$$

wo  $\delta$  eine sehr kleine Größe bedeutet, so bekommt man auch die vorher beschriebenen Wellenlinien, sie sind aber jetzt keine stehenden, sondern fortschreitende Wellen. Die Geschwindigkeit des Fortschreitens wächst mit  $\delta$  bis zu einer gewissen Grenze und erfolgt in einer oder anderen Richtung, je nachdem  $\delta$  positiv oder negativ ist. Erreicht  $\delta$  eine gewisse — bisher noch nicht näher bestimmte — Grenze, so ändert sich die Erscheinung und es treten Wellenlinien höherer Ordnung auf. Der Verfasser ist der Meinung, daß diese Grenze mit der Dauer des Lichteindruckes in Zusammenhang steht.

Ist

$$N < n,$$

so bekommt man eine Wellenlinie, deren Länge kleiner ist als die Entfernung der benachbarten Streifen.

*Die Messung der Schwingungszahlen.* Auf Grund obiger Ausführungen ist die Methode der Messungen bereits gegeben. Es empfiehlt sich, die Wellenlinie nach Fall I (Fig. 3) zu erzeugen ( $N = n$ ); man mißt einfach die Tourenzahl ( $f$ ), so wird die Schwingungszahl

$$n = N = f \cdot a,$$

wo  $a$  die Zahl der weißen Streifen bedeutet. Man kann dann zur Kontrolle den Fall II, III oder höherer Ordnung erzeugen, wo

$$n = \frac{N}{k} = \frac{1}{k} \cdot f \cdot a.$$

Diese Methode ist eine Nullmethode und gibt sonach die möglich größte Genauigkeit. Die Wellenlinie ist nämlich nur dann stehend, wenn

$$N = k \cdot n$$

genau zusammentrifft, sonst wird sie in der einen oder anderen Richtung fortschreitend. Dieser Umstand ist aber zugleich ein Nachteil der Methode. Es ist nämlich immer schwer, die Tourenzahl so zu regulieren, daß jene Bedingung erfüllt sei.

Die Bestimmung der Tourenzahl ist am leichtesten, wenn ein Tourenzähler mit dem Motor verknüpft ist. Solche Motoren sind jetzt im Handel. Der Verfasser arbeitete mit einem Tourenzähler von James Jaquet, welcher mit einer Sekunden-

uhr versehen ist und gleichzeitig die Anzahl der Touren und der Sekunden andeutet.

Zum Bestimmen der Schwingungszahlen von Stimmgabeln, Glocken oder Platten klebt man ein kleines Holzstäbchen an den Schwingungsbauch und projiziert dessen Bild auf das rotierende Streifensystem. Man kann auch sehr bequem die *Meldeschen* Fadenwellen benutzen. Nach der Erfahrung des Verfassers kann man in diesem Fall anstatt des Fadens eine Stahlsaite an die Zinke der Stimmgabel befestigen. Diese gibt viel schärfere Bilder als Faden. Es ist selbstverständlich, daß die Stimmgabel auch elektromagnetisch erregt werden kann. Die Wellen der Fig. 3 wurden auf diese Art erzeugt.

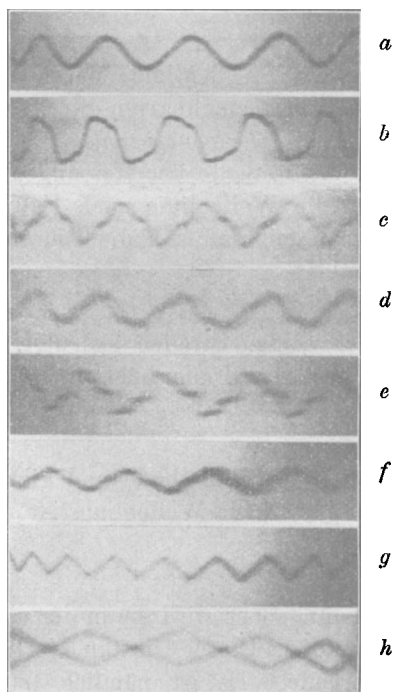


Fig. 4.

*Die Analyse der Schwingungen.* Fig. 4 zeigt die verschiedenen Schwingungen einer Stahlsaite (Länge: 1 m, Durchmesser: 0,5 mm). Die Länge und Spannung der Saite war immer

dieselbe, es mußte also auch die Schwingungszahl immer dieselbe bleiben. Es wurde die Tourenzahl immer so geregelt, daß die Frequenz der weißen Streifen mit der Schwingungszahl zusammenfällt, und die Saite wurde auf verschiedene Weise in Bewegung gesetzt. *a* ist die Schwingungsfigur, wenn die Saite in der Mitte mit dem Finger gezupft wird. Man sieht die reinste Sinusschwingung, keine sichtbaren Obertöne entwickeln sich. Zupft man aber die Saite immer näher gegen das Ende, so sind *b*, *c*, *d*, *e* die Schwingungsfiguren. Wird die Saite mit dem Bogen gestrichen, so sieht man *f*, *g*, *h*. Man kann auch andere sehr interessante Einzelheiten der Saitenschwingungen zum Vorschein bringen und auch größerem Publikum projizieren. Der Verfasser behält es sich vor, über diesen Gegenstand in einem besonderen Aufsatz zu referieren.

*Bemerkungen über den Motor.* Zur Rotation kann man zwar auch die Zentrifugalmaschine benutzen, aber es ist am bequemsten ein Elektromotor, dessen Tourenzahl zwischen weiten Grenzen variiert werden kann. Der Verfasser arbeitet mit einem Gleichstromshuntmotor von  $\frac{1}{8}$  PK-Leistung. Wird 110 Volt-Spannung direkt eingeschaltet, so ist die Tourenzahl 2500 pro Minute. Durch Vorschalten von Ruhstrattschen Widerständen (200  $\Omega$  bez. 600  $\Omega$ ) sowohl in Anker-, als in Magnetwickelungen, konnte man die Tourenzahl zwischen den Grenzen 5—2500 fast ohne Stufen variieren. Es war auch beständig ein Windrad auf der Achse montiert, da es sich herausgestellt hat, daß der Motor nur dann zuverlässig rotiert, wenn er Arbeit leistet.

Der Träger des Streifensystems ist eine aus Messing gepreßte Zylinderfläche von 25 cm Durchmesser und 15 cm Höhe. Auf diese wurde mattschwarzes Tuch aufgezogen, welches als Grundfläche der weißen Streifen diente. Diese wurden aus weißem Papier ausgeschnitten und in gleichen Abständen aufgeklebt. Die Breite der Streifen richtet sich nach der Schattenbreite der Saite (1—5 mm). Man bekommt die schärfsten Bilder, wenn beide gleich sind. Die Entfernung der Streifen voneinander wählt man so groß, als man die Länge der einfachen Wellenlinie erhalten will (1—5 cm).

Als Ergebnis dieser Untersuchungen kann festgestellt werden, daß die Methode in folgenden Fällen gute Dienste leistet:

1. zum Projizieren von Schwingungsfiguren, welche der Lissajousschen ähnlich, aber einfacher sind,
2. zum Projizieren von stehenden, fortschreitenden und zusammengesetzten Wellen,
3. zur absoluten Bestimmung der Schwingungszahlen,
4. zur Klanganalyse der Saiten.

Ich hoffe, diese Methode so weit zu vervollkommen, daß auch andere sehr kleine Zeitintervalle meßbar werden.

Budapest, ág. ev. főgimnázium.

(Eingegangen 18. Mai 1906.)

---