

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 27/28 (1896)
Heft: 2

Artikel: Der Fränkel'sche Schwingungszeichner
Autor: Ritter, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-82363>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

INHALT: Der Fränkel'sche Schwingungszeichner. — Die Gruppen 17 und 18 an der schweiz. Landesausstellung in Genf. I. — Miscellanea: 79. Jahressammlung der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft in Zürich. Kesselsteinmittel. Nutzbarmachung der Wasserkräfte der Adda bei Paderno. — Konkurrenzen: Bemalung des Terrainbildes der Schulwandkarte der

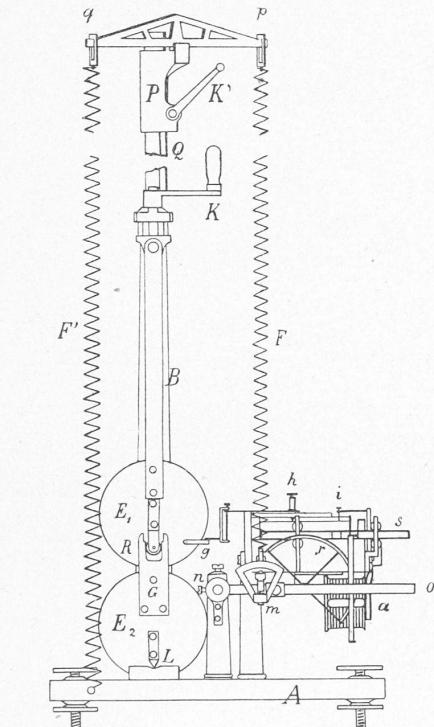
Schweiz. Bau einer festen Eisenbahnbrücke über den Rhein bei Worms. Denkmal zur Erinnerung an die Begründung der Republik Neuenburg. Rathaus in Dessau. — Nekrologie: † John Hardy. — Vereinsnachrichten: Schweiz. Ing.- und Arch.-Verein. Gesellschaft ehemal. Polytechniker: Einladung und Programm zur Generalversammlung in Genf. Stellenvermittlung.

Der Fränkel'sche Schwingungszeichner.

Von Prof. W. Ritter.

Die Schwingungen eines Bauwerkes zu messen, ist eine verhältnismässig leichte Aufgabe, wenn man zu diesem Zwecke über einen dicht dabei befindlichen festen Punkt verfügen kann. So lange das Baugerüst noch steht, oder wenn sich dicht neben dem Bauwerk ein anderes, davon unabhängiges befindet, reichen zum Messen der Schwingungen in der Regel die Vorrichtungen aus, die man zum Messen der Durchbiegungen von Brücken verwendet.

Fig. 1. Schwingungszeichner von Fränkel.



Masstab 1:8.

Wenn aber der feste Punkt fehlt, so gerät man in Verlegenheit. Gewöhnlich nimmt man in diesem Falle zu Visierinstrumenten seine Zuflucht. Man befestigt am Bauwerk einen Masstab und stellt von einem festen Standpunkt aus das Fernrohr darauf ein. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass diese Art der Beobachtung unzuverlässig und ungenau ist, sobald das Bauwerk lebhaft schwingt. Der Masstab bewegt sich zu rasch, als dass eine sorgfältige Ablesung möglich wäre. Oft zittert auch der Boden, auf dem sich das Instrument befindet, mit. Meistens muss man zufrieden sein, wenn es gelingt, den grössten Ausschlag anzugeben.

Handelt es sich um die lotrechten Schwingungen von Brücken und befindet sich unter der Brücke ein zugänglicher fester Boden, so versucht man zuweilen, die Messung mittelst lotrecht gespannter Drähte auszuführen. Auch dieses Verfahren lässt uns vielfach im Stich. Denn wenn der Draht lang ist und die Schwingungen rasch aufeinanderfolgen, so

übertragen sie sich nur unvollkommen oder gar nicht auf den Messapparat.¹⁾.

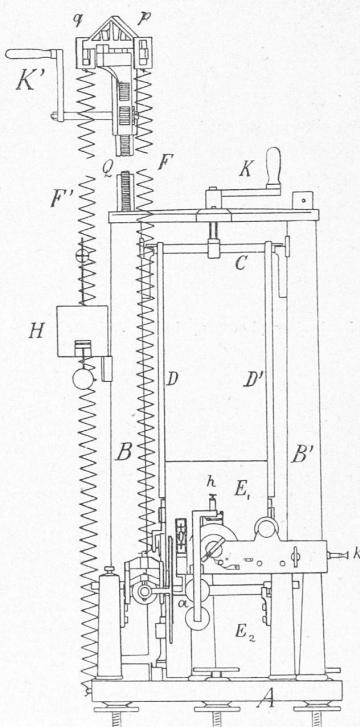
Professor Dr. W. Fränkel hat, nicht lange vor seinem Hinschiede²⁾, der technischen Welt einen Apparat übergeben, der die vorhandenen Schwierigkeiten in überraschend schöner Weise beseitigt. Durch Anwendung langsam schwingender, schwerer Pendel ist es ihm gelungen, für den fehlenden festen Punkt einen Ersatz zu bieten.

Beschreibung des Schwingungszeichners.

Der im Besitze des eidgen. Polytechnikums befindliche Schwingungszeichner ist in den Fig. 1 und 2 in zwei Seitenansichten dargestellt.

Fig. 3 ist die Wiedergabe einer photographischen Aufnahme.

Fig. 2. Schwingungszeichner von Fränkel.



Masstab 1:8.

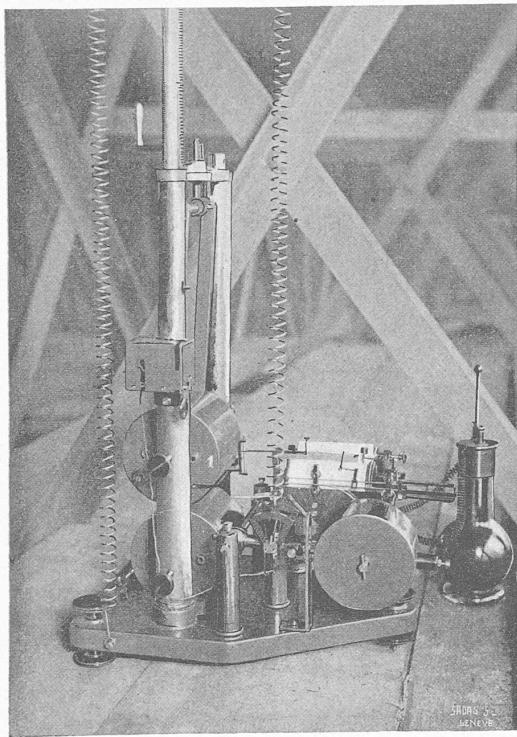
In dieser Anordnung gestattet der Apparat die Aufnahme sowohl von wagrechten als von lotrechten Schwingungen; beide werden von Schreibstiften selbstthätig auf einem Papierstreifen verzeichnet. Der Apparat wird auf dem zu untersuchenden Bauwerk einfach aufgestellt, das Pendel ausgelöst und das den Papierstreifen bewegende Uhrwerk in Gang gesetzt.

¹⁾ Bei der Kirchenfeldbrücke in Bern wurden am 12. Mai 1893 zur Messung der lotrechten Schwingungen 30 m unterhalb der Fahrbahn zwei Fränkel'sche und ein Askenasy'scher Durchbiegungszeichner aufgestellt. Die Messung misslang vollständig. Der Schreibstift der Fränkel'schen Apparate beschrieb einfach eine gerade Linie. Beim Askenasy'schen dagegen verzeichnete er eine Wellenlinie mit Ausschlägen, die fast zehnmal so gross waren, als die Bewegungen der Brücke. Zufällig stimmte nämlich bei letzterem die Schwingungszeit des den Draht spannenden Gewichtes mit derjenigen der Brücke überein, sodass sich die Impulse fortlaufend summierten.

²⁾ S. Schweiz. Bauzeitung, Bd. XXV, S. 118.

Die Grundplatte *A* und die beiden Säulen *B* und *B'* bilden das feste Gestell des Instrumentes. Mittelst dreier Fusschrauben und zweier Libellen kann die Platte wagrecht

Fig. 3. Schwingungszeichner von Fränkel.



Nach einer photographischen Aufnahme.

eingestellt werden. An den oberen Enden der Säulen ist mittelst Schneiden ein Querstab *C* gelagert, der an zwei Armen *D* und *D'* den gusseisernen Cylinder *E*₁ trägt.

Die Teile *C* bis *E*₁ bilden zusammen ein Pendel, dessen Schwingungszeit ungefähr eine halbe Sekunde beträgt. Diese Zeit wäre für die meisten Beobachtungen viel zu klein. Um sie zu vergrössern, ist mit dem ersten Pendel ein zweites, verkehrt stehendes verbunden. Es besteht aus dem Cylinder *E*₂, der mittelst Schneiden im Lager *L* ruht. Am Cylinder *E*₂ ist eine Gabel *G* befestigt, die ein am Cylinder *E*₁ angebrachtes Röllchen *R* umfasst. Dadurch sind die beiden Pendel gezwungen, sich stets gemeinsam zu bewegen, und da das untere sich in unstabilem Gleichgewichte befindet, so wird dadurch die Schwingungszeit des Doppelpendels erhöht. Sie beträgt etwa $2\frac{1}{2}$ Sekunden.

Um den Cylinder *E*₁ greift, in Spitzen drehbar, eine Gabel *g*, die an einer lotrechten Achse einen wagrechten Arm mit dem Schreibstifte *b* trägt. Der Stift gleitet zwischen zwei Führungsstäben. Durch diese eigentümliche Anordnung wird bezweckt, dass der Schreibstift trotz der Erschütterungen stets am Papiere anliegt und sich zugleich genau geradlinig bewegt.

Das Diagrammpapier wird mittelst eines Uhrwerks in langsame Bewegung versetzt. Die verschiedenen Rollen, über die es hierbei gleitet, sind in der Zeichnung nur undeutlich zu erkennen.

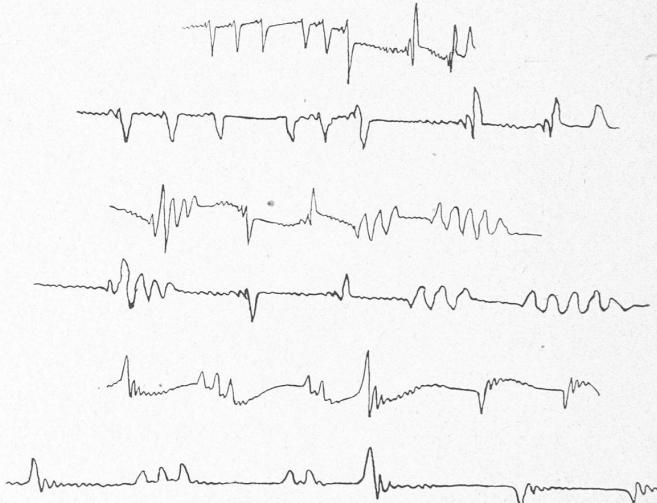
H ist das Gehäuse eines Uhrwerkes, das ein kleines Sekundenpendel antreibt. Auf elektrischem Wege wird dessen Bewegung auf den Schreibstift *i* übertragen. Bei den Schräubchen *k* werden nämlich die Drahtenden eines elektrischen Elementes eingespannt. Von da geht ein isolierter Draht bis zum Gehäuse *H*, während die Rückleitung durch das Gestell besorgt wird. Durch das Sekundenpendel wird der Strom abwechselnd geschlossen und unterbrochen und dadurch der Anker *a* abwechselnd angezogen und gelassen. Der Schreibstift verzeichnet somit die Sekunden

in Form einer rechtwinkligen Zackenlinie. (Vergl. Fig. 5.) Auf der Fig. 3 sieht man rechts die Flasche mit der stromerzeugenden Flüssigkeit.

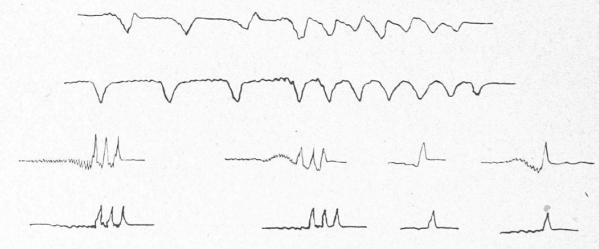
Beim Transport werden die beiden Pendel unbeweglich festgeklemmt. Dazu dienen zwei Klammern, die beidseitig mittelst Stiften in die beiden Cylinder *E*₁ und *E*₂ eingreifen und mittelst vier Schrauben fest angepresst werden können. (In der Zeichnung sind diese Klammern weggelassen.) Bevor die Klammern angesetzt werden, wird das obere Pendel mittelst der Kurbel *K* etwas gehoben. Nach Einsetzen der Klammern hebt man auch das untere Pendel aus seinem Lager und hierauf zieht man die Schrauben an.

Wird der Apparat in Thätigkeit gesetzt, so gerät in der Regel auch das Doppelpendel in eine langsame,

Fig. 4.
Horizontale Schwingungen.



Vertikale Schwingungen.



Natürliche Grösse.

schwingende Bewegung. Der Schreibstift verzeichnet diese Bewegung in Form einer langgestreckten Wellenlinie, auf die sich die zu messenden Bewegungen des Bauwerkes aufzulagern. Hieraus folgt, dass letztere Bewegungen nur dann zum deutlichen Ausdruck gelangen, wenn sie wesentlich schneller vor sich gehen, als die Eigenschwingungen des Pendels. Nähert sich die Schwingungszeit des Bauwerkes derjenigen des Pendels, oder liegt sie sogar höher als diese, so entsteht ein ganz verschwommenes, für die Beurteilung der zu messenden Schwingungen vollkommen unbrauchbares Bild.

Es geht hieraus zugleich hervor, dass man die zu messenden Bewegungen im allgemeinen nicht unmittelbar ablesen kann. Man muss vielmehr in die vom Stifte gezeichnete Linie zuerst eine langgestreckte Wellenlinie, gleichsam als Abscissenachse einzeichnen, was mehr oder weniger nach Schätzung zu geschehen hat. Je rascher die zu messenden Schwingungen verlaufen, desto sicherer gelingt es, ihre Grösse und Zeitdauer zu bestimmen.

Der Gedanke, der dem Doppelpendel zu Grunde liegt, wurde bereits früher von Professor Ewing zur Herstellung

von Seismographen verwendet.¹⁾ Doch galt es dort, wagrechte Bewegungen überhaupt zu messen, nicht solche, die in einer bestimmten Richtung vor sich gehen. Mit einem solchen Apparat wurden unter andern die Schwingungen der neuen Tay-Brücke in Schottland beobachtet. Das Bild, das der Schreibstift verzeichnete, fiel aber so verworren aus, dass es nicht möglich war, daraus sichere Schlüsse auf die Schwingungen der Brücke abzuleiten.

Professor Fränkel änderte deshalb den Apparat dahin ab, dass er blos die Schwingungen in einer bestimmten Richtung aufnimmt, und führte überdies den sich bewegenden Papierstreifen ein. Für die Beobachtung von Brücken ist diese Anordnung ohne Zweifel die richtigere.

In Japan wurden vor einigen Jahren ähnliche Apparate, wie die Fränkelschen gebaut. Man beabsichtigte damit, die Schwankungen der Eisenbahnfahrzeuge zu beobachten. Die Beobachtungen sollten dazu dienen, Unregelmässig-

verwendet.¹⁾ Bald darauf vervollständigte Fränkel den Apparat derart, dass er auch zur Messung von *lotrechten* Schwingungen benutzt werden kann. Zu diesem Zwecke musste eine schwere Masse angebracht werden, die bei lotrechten Bewegungen des Apparates in langsame Schwingungen gerät.

Diese schwere Masse besteht in einer gusseisernen Scheibe, die auf den Stab *no* aufgeschoben wird. In den Figuren 1 und 2 ist diese Scheibe nicht dargestellt; dagegen lässt sie sich in der Figur 3 leicht erkennen. Der Stab *no* dreht sich in *n* um eine wagrechte Achse. Im Punkte *m* ist die Spiralfeder *F* befestigt, die an ihrem oberen Ende an einem Querbalken *p q* hängt. Am andern Ende des Querbalkens greift eine zweite Feder *F'* an, die bis zur Grundplatte *A* hinunterreicht und dort festgehalten wird. Der Querbalken ruht in seiner Mitte mittelst einer Schneide auf der Hülse *P*, die an der Zahnstange *Q* auf- und abgeschoben werden kann. Beim Transporte sitzt die

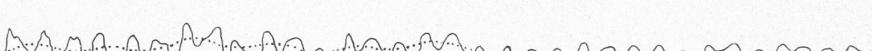
Fig. 5. Horizontale Schwingungen.

Guggenloch-Brücke. — Pfeilerkopf.



Sitterbrücke bei St. Gallen.

Pfeilerkopf.



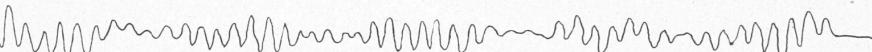
Oberes Drittel des Pfeilers.



Unteres Drittel des Pfeilers.



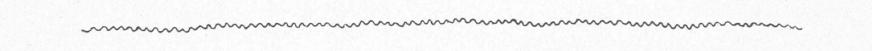
Kirchturm in Enge.



Spinnerei-Gebäude.



Dampfschwalbe auf dem Zürichsee.



keiten im Geleise aufzufinden. In einigen Einzelheiten sehen diese Apparate den Fränkelschen überraschend ähnlich. Doch sind sie offenbar unabhängig davon hergestellt worden.²⁾ Auch lassen die damit aufgenommenen Diagramme wohl erkennen, an welchen Stellen der Bahn die Schwingungen des Fahrzeuges grösser und an welchen sie kleiner sind; dagegen geben sie über die wirkliche Grösse dieser Schwingungen und über deren Periodicität nur unvollkommene Aufschlüsse; nach den veröffentlichten Diagrammen zu urteilen, gelangten bei diesen Beobachtungen die Eigenschwingungen des Pendels viel zu sehr zum Ausdruck.

In der oben beschriebenen Anordnung wurde der Fränkelsche Schwingungszeichner im Mai 1893 zu den an der Berner Kirchenfeldbrücke angestellten Beobachtungen

¹⁾ Vgl. Proceedings of the Royal Society, Vol. 44, S. 394, Engineering, 1889, S. 180 und Civilingenieur 1894, S. 223.

²⁾ Vgl. Milne and McDonald: On the Vibratory Movements of Locomotives, Proceedings of «The Institution of Civil Engineers», 1890—91.

Hülse am oberen Ende der Säule *B* auf, die Feder ist lose und der Stab *no* mit dem an seinem Ende hängenden Gewichte ruht auf einer (in der Zeichnung nicht sichtbaren) Stütze. Soll der Apparat benutzt werden, so wird die Hülse *P* mit Hülfe der Kurbel *K'* hinaufgeschoben, bis das Gewicht zur Schweben gelangt.

Gerät der Apparat, beziehungsweise das Bauwerk, auf dem er steht, in rasche lotrechte Schwingungen, so bleibt das Gewicht im Raum fest. Denkt man sich umgekehrt den Apparat fest, so schwingt scheinbar das Gewicht auf und ab. Seine Bewegungen werden mittelst Stahlbändchen auf den leichtgebaute Halbkreis *r* und von diesem auf einen Schlitten *s* übertragen, an dem sich der Schreibstift befindet.

In der Figur 3 sind die drei Schreibstifte deutlich zu erkennen. Der linke verzeichnet die wagrechten, der mittlere, etwas nach unten liegende die lotrechten Schwingungen und der rechte die Sekunden.

¹⁾ Vgl. Schweiz. Bauzeitung Bd. XXI S. 137.

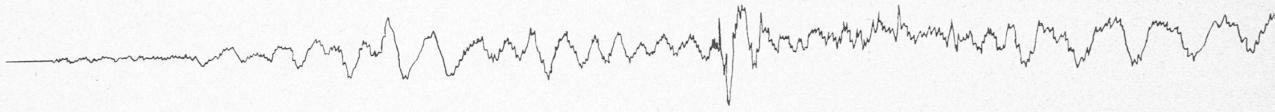
Beispiele.

Zunächst ist es selbstverständlich von grosser Wichtigkeit, zu prüfen, ob der Schwingungszeichner richtig arbeitet und in welchem Maßstabe er die Bewegungen seiner Unterlage verzeichnet.

Zu dem Zwecke habe ich den Apparat, der sich im Besitze der Ingenieurschule des eidg. Polytechnikums befindet, auf einer Unterlage aufgestellt, die man leicht in wagrechte und lotrechte Schwingungen versetzen kann und an einem feststehenden Gegenstande zu gleicher Zeit einen Askena-

Die nächste Kurve wurde auf dem Dachboden eines Spinnereigebäudes gewonnen. Sie zeigt, wie das Gebäude jedesmal in Erschütterungen versetzt wird, wenn eine der Spinnmaschinen (Selfactors) am Ende ihres Weges angelangt, auf die Wand des Gebäudes einen Stoß ausübt. Die Sekundenzackenlinie ist hier ebenfalls beigegeben.

Die letzte Kurve veranschaulicht die wagrechten Längsschwingungen einer der grösseren, auf dem Zürichsee fahrenden Dampfschwalben. Die Bewegungen sind sehr regelmässig und entsprechen genau den Stößen der Dampfmaschine.

Fig. 6. **Vertikale Schwankungen.***Quaibrücke in Zürich.**Wagen der Centralen Zürichberg-Bahn.**Dampfschwalbe auf dem Zürichsee.*

sy'schen Durchbiegungsmesser angebracht, der die willkürlich erzeugten Bewegungen ebenfalls verzeichnete. Die Figur 4 zeigt die Kurven, die hierbei erhalten wurden. Von je zwei Parallelkurven ist die obere vom Fränkelschen, die untere vom Askenasyschen Apparate verzeichnet worden. Man sieht, dass die Uebereinstimmung eine recht gute ist. Sie wäre ohne Zweifel noch besser, wenn die zur Prüfung dienende Einrichtung vollkommener gewesen wäre. Leider arbeitete der Stift des Askenasyschen Apparates infolge von Reibungswiderständen und andern Störungen nicht mit genügender Genauigkeit. Was das Verhältnis oder den Massstab betrifft, in dem die Schwingungen verzeichnet werden, so sieht man, dass die wagrechten Schwingungen etwas vergrössert, die lotrechten annähernd in natürlicher Grösse wiedergegeben werden.

Die Figuren 5 und 6 stellen einige Muster von Schwingungskurven dar, die mit dem Apparate aufgenommen wurden.

Die erste Kurve wurde am oberen Ende des schmiedeisenen Pfeilers der Guggenloch-Brücke (Toggenburger-Bahn) erhalten, während zwei Lokomotiven von 28 Tonnen über die Brücke fuhren. Die unterhalb befindliche Zackenlinie stellt die Sekunden dar. Die Schwingungen nahmen an Grösse rasch zu, sobald die Lokomotiven auf die Brücke gelangten und verschwanden langsam wieder, nachdem die Fahrzeuge die Brücke verlassen hatten.

Die zweite Kurve wurde an der Sitterbrücke bei St. Gallen (Spannweiten = $38,6 + 42,0 + 42,0 + 38,6$ m) aufgenommen und zwar am oberen Ende eines der 46,5 m hohen gusseisernen Pfeiler, während zwei schwere Lokomotiven mit etwa 55 km Geschwindigkeit über die Brücke fuhren. Die punktierte Linie stellt die nach Schätzung eingezeichnete Abscisse dar. Der grösste Ausschlag beträgt mit Rücksicht auf das Verzerrungsverhältnis etwa 4,2 mm. Gleichartige Kurven wurden im oberen und untern Drittel des Pfeilers aufgenommen. Es ergab sich, dass die Ausschläge, wie zu erwarten stand, nach unten hin abnahmen, und zwar im Verhältnisse 9 : 7 : 4. Ferner zeigte sich, dass die Ausschläge fast genau der Geschwindigkeit des Belastungszuges proportional sind. Für ein und denselben Zug ergaben sich die Ausschläge

bei 25 40 55 km Geschwindigkeit
gleich 1,8 2,8 4,2 mm.

Die folgende Kurve veranschaulicht die Schwingungen des neuen Kirchturms in Enge (Zürich II) beim Läuten der Glocken. Die Ursachen dieser Schwingungen und ihr Einfluss auf die Festigkeit des Mauerwerkes sollen in einem späteren Aufsatze näher besprochen werden.

Die Figur 6 enthält drei Beispiele von vertikalen Schwingungen.

Die erste der drei Kurven giebt die Schwingungen der Quaibrücke in Zürich bei gewöhnlichem Verkehr wieder. Diese Schwingungen sind außerordentlich klein, werden aber nichtsdestoweniger vom Apparate mit grosser Treue verzeichnet.

Die zweite Kurve wurde bei einer Fahrt mit der elektrischen Strassenbahn nach Oberstrass (Zürich IV) erhalten. Hier geriet das Pendel in lebhafte Eigenschwingungen, sobald der Wagen seine normale Geschwindigkeit angenommen hatte. Die wirklichen, kurzzeitigen Schwingungen des Wagens werden durch die kleinen Zacken der Kurve dargestellt und sind stellenweise nicht ganz sicher von der grossen Wellenlinie zu unterscheiden. Für so starke Erschütterungen, wie sie Eisenbahn- und Tramwagen erleiden, ist der Fränkelsche Apparat allzu empfindlich.

Die dritte Kurve veranschaulicht die lotrechten Schwingungen der Dampfschwalbe. Sie erfolgen genau in gleichen Zeiträumen wie die wagrechten und sind auch nahezu gleich gross.

Theorie des Schwingungszeichners.

Einige theoretische Betrachtungen mögen die Beschreibung des Apparates ergänzen.

Sowohl für die wagrechten, wie für die lotrechten Schwingungen ersetzt eine langsam schwingende, schwere Masse den fehlenden festen Punkt. Es ist hiernach klar, dass mit dem Apparate keine Schwingungen gemessen werden können, die ebenso langsam oder noch langsamer vor sich gehen, wie die Schwingungen dieser Gewichte. Einstellungen von Brückenträgern zum Beispiel gehen für den Apparat spurlos verloren. Blos die Erschütterungen, welche Brücken beim Befahren erleiden, das Zittern oder Vibrieren von Gebäuden, also Bewegungen, die rasch hintereinander sich folgen, werden vom Schreibstift verzeichnet.

Es lohnt sich aus diesem Grunde, die Zeittäler der Eigenschwingungen rechnerisch zu bestimmen.

Die Massen der beiden Cylinder seien m_1 und m_2 , die Trägheitsmomente dieser Massen, bezogen auf die Drehpunkte, J_1 und J_2 . Das Doppelpendel entferne sich nach rechts um eine kleine Strecke aus seiner Gleichgewichtslage und fange an zu schwingen, (Fig. 7). An der kleinen Rolle, welche die beiden Cylinder zu gemeinsamer Bewegung zwingt, tritt hierbei eine wagrechte Kraft H auf, die in Bezug auf das obere Pendel nach rechts, in Bezug auf das untere nach links gerichtet ist.

Der Ausschlag des Doppelpendels, in der Höhe der Rolle gemessen, sei a . Dann ist der Ausschlag des Schwerpunktes des oberen Cylinders $\frac{a r_1}{c_1}$ und das statische Moment der auf das obere Pendel einwirkenden Kräfte $M_1 = \frac{m_1 g a r_1}{c_1} - H c_1$. Nennt man die Winkelbeschleunigung β_1 , so ist $M_1 = \beta_1 J_1$ woraus folgt

$$\beta_1 = \frac{m_1 g a r_1 - H c_1}{J_1 c_1}$$

In gleicher Weise ergibt sich die Winkelbeschleunigung des unteren Pendels

$$\beta_2 = \frac{-m_2 g a r_2 + H c_2}{J_2 c_2}$$

Eliminiert man aus diesen beiden Gleichungen H und berücksichtigt, dass die Längenbeschleunigung in der Höhe der Rolle $p = \beta_1 c_1 = \beta_2 c_2$ ist, so ergibt sich die Schwingungszeit des Pendels

$$t = \pi \sqrt{\frac{a}{p}} = \pi \sqrt{\frac{J_1 c_1^2 + J_2 c_2^2}{(m_1 r_1 c_1^2 - m_2 r_2 c_2^2) g}}$$

Bei dem Apparate, den die Ingenieurschule des eidg. Polytechnikums besitzt, ist $m_1 = m_2 = m$ und in Metern ausgedrückt $r_1 = 0,308$, $r_2 = 0,053$, $c_1 = 0,347$, $c_2 = 0,149$, ferner der Radius der beiden Cylinder $g = 0,065$. Vernachlässigt man bei der Berechnung die Stäbe D und D' (Fig. 2), sowie die sonstigen Nebenteile, so ist $J = (r^2 + \frac{1}{2} g^2)$ m somit

$$J_1 = (0,308^2 + \frac{1}{2} \cdot 0,065^2) m = 0,0970 \cdot m$$

$$J_2 = (0,053^2 + \frac{1}{2} \cdot 0,065^2) m = 0,00492 \cdot m$$

$$m_1 r_1 = 0,308 \cdot m$$

$$m_2 r_2 = 0,053 \cdot m$$

$$c_1^2 = 0,1204 \cdot m$$

$$c_2^2 = 0,0222 \cdot m$$

$$t = \pi \sqrt{\frac{0,002153 + 0,000592}{(0,006838 - 0,006381) 9,81}} = 2,47 \text{ Sekunden.}$$

Versuche mit dem Apparate ergeben eine Schwingungszeit von 2,5 Sekunden, was mit der berechneten Zeit vollkommen übereinstimmt.

Wie man sieht, ist die Zeit t wesentlich von der Differenz $m_1 r_1 c_1^2 - m_2 r_2 c_2^2$ abhängig. Sie lässt sich durch verhältnismässig kleine Änderungen am Apparate stark beeinflussen. Senkt man zum Beispiel den Aufhängepunkt des oberen Pendels bloss um 1 mm, so wird $c_2 = 0,148$, während c_1, r_1 und r_2 sich gleich bleiben. Infolgedessen wird obige Differenz bedeutend kleiner und $t = 2,75$ Sekunden. Senkt man den Aufhängepunkt um 5 mm, so wird t unendlich gross und bei noch grösserer Senkung würde das Doppelpendel unstabili.

Eine weitere theoretische Frage ist die nach dem *Massstab*, in welchem die Bewegungen vom Schreibstift verzeichnet werden.

Bewegt man die Aufhängepunkte C_1 und C_2 des Doppelpendels rasch nach C_1' und C_2' (Fig. 8), so dreht sich das obere Pendel um einen Punkt D_1 , das untere um einen Punkt D_2 . Die in C_1 und C_2 wirkenden Kräfte seien H_1 und H_2 , die an der Rolle wirkende wie früher H . Dann wirkt in Bezug auf den Schwerpunkt des oberen Pendels das Moment $H(c_1 - r_1) + H_1 r_1$. Das Massenträgheitsmoment in Bezug auf den Schwerpunkt ist $J_1 - m_1 r_1^2$, folglich die Winkelbeschleunigung des oberen Pendels

$$\beta_1 = \frac{H(c_1 - r_1) + H_1 r_1}{J_1 - m_1 r_1^2}$$

und die Längenbeschleunigung im Schwerpunkte

$$\beta_1 (r_1 - d_1) = \frac{H - H_1}{m_1}$$

Eliminiert man aus diesen Gleichungen H_1 , so folgt

$$\beta_1 = \frac{H c_1}{J_1 - m_1 r_1 d_1}$$

Für das untere Pendel ergibt sich in gleicher Weise

$$\beta_2 = \frac{-H c_2}{J_2 - m_2 r_2 d_2}$$

Eliminiert man nun H und berücksichtigt, dass die Punkte C_1' und C_2' lotrecht übereinander liegen, $\beta_1 c_1 = \beta_2 c_2$ und $d_1 : c_1 = d_2 : c_2$ ist, so ergibt sich

$$d_1 = \frac{J_1 c_2^2 + J_2 c_1^2}{m_1 r_1 c_1^2 + m_2 r_2 c_2^2}$$

Für den Apparat des Polytechnikums wird

$$d_1 = \frac{0,0970 \cdot 0,022 + 0,0049 \cdot 0,120}{0,308 \cdot 0,022 + 0,053 \cdot 0,347 \cdot 0,149} = 0,285 \text{ m.}$$

Die Gabel, welche den Schreibstift trägt, habe von C_1 die Entfernung e ; dann ist das Verhältnis, in welchem die Bewegungen vergrössert werden $n = \frac{e}{d_1}$ oder für $e = 0,339 \text{ m}$,

$$n = \frac{0,339}{0,285} = 1,19.$$

Der Fabrikant des Apparates, Herr Oskar Leuner in Dresden, hat das Vergrösserungsverhältnis experimentell bestimmt und dafür 1,18 gefunden, also fast genau eben so viel wie die Rechnung ergiebt.

Mit der langsamten Eigenschwingung hängt eine grosse Empfindlichkeit des Pendels hinsichtlich der wagrechten Lage der Unterlagsplatte zusammen. Schon eine ganz kleine Drehung der Unterlage um eine Achse parallel den Pendeldrehachsen hat einen starken Ausschlag des Pendels zur Folge.

Giebt man (Fig. 7) dem Doppelpendel in der Höhe der Rolle einen Ausschlag a und verschiebt zugleich den Punkt C_1 nach rechts um die Strecke c , während C_2 an seiner Stelle verbleibt, so wird die Winkelbeschleunigung des oberen Pendels

$$\beta_1 = \frac{m_1 g (a - c) r_1 - H c_1^2}{J_1 c_1}$$

während sich die des unteren Pendels wie früher

$$\beta_2 = \frac{-m_2 g a r_2 + H c_2^2}{J_2 c_2}$$

ergiebt. Eliminiert man hieraus wiederum H und setzt die Längenbeschleunigung in der Rollenhöhe $p = \beta_1 c_1 = \beta_2 c_2$, so wird

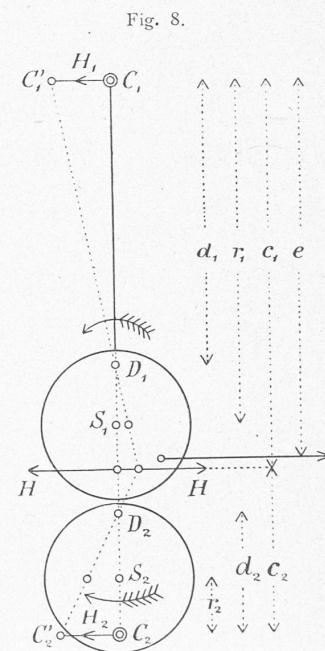
$$p = \frac{m_1 g (a - c) r_1 - m_2 g a r_2 c_1^2}{J_1 c_1^2 + J_2 c_2^2}$$

Diese Beschleunigung wird null, das heisst das Pendel befindet sich in seiner Gleichgewichtslage, wenn

$$\frac{a}{c} = \frac{m_1 r_1 c_1^2}{m_1 r_1 c_1^2 - m_2 r_2 c_1^2} = \frac{0,006838}{0,006838 - 0,006381} = 15.$$

Eine kleine langsame Verschiebung des Punktes C_1 hat somit einen 15 mal grösseren Ausschlag des Pendels zur Folge. Geht die Verschiebung mit einem Ruck vor sich, so wird der Ausschlag fast doppelt so gross und das Pendel gerät in Schwingungen, bis seine lebendige Kraft durch die Reibungswiderstände aufgezehrzt ist.

Aus diesem Grunde lässt sich der Apparat nicht gut zur Messung von wagrechten Schwingungen verwenden, wenn sich zu diesen rasche Drehungen der Grundplatte um



Achsen parallelen Pendeldrehachsen gesellen.¹⁾ Der Apparat ist von Haus aus zur Messung der wagrechten Schwingungen von Brücken und Gebäuden bestimmt, und hierfür eignet er sich vorzüglich. Auch Vibrationen von Schiffen und Maschinen lassen sich unter Umständen mit vollem Erfolge damit aufnehmen.

Wesentlich einfacher ist die theoretische Untersuchung der Einrichtung zur Messung der *lotrechten* Schwingungen.

Die Masse der schwingenden Scheibe sei m , ihr Halbmesser q und ihr Abstand vom Drehpunkt r . Dann ist (Fig. 9) ihr statisches Moment mr und ihr Trägheitsmoment $J = m(r^2 + \frac{1}{2}q^2)$, folglich der Abstand des Schwingungsmittelpunktes

$$d = \frac{J}{mr} = r + \frac{q^2}{2r}.$$

Die Masse des Stabes, auf dem die Scheibe sitzt, darf vernachlässigt werden.

Ferner ist die Kraft, mit der die Feder gespannt wird,

$$F = \frac{gmr}{a}.$$

Die Strecke, um die sich die Feder unter dieser Kraft verlängert hat, sei v .

Giebt man dem wagrechten Pendel einen Ausschlag α , so vergrössert sich die Kraft F um $\Delta F = \frac{a\alpha F}{v}$.

Diese Kraft erteilt dem Pendel eine Winkelbeschleunigung

$$\beta = \frac{a\Delta F}{J} = \frac{a\alpha g}{vd}.$$

Hiernach ergiebt sich die Schwingungszeit

$$t = \pi \sqrt{\frac{a}{\beta}} = \pi \sqrt{\frac{vd}{g\alpha}}.$$

Bei dem uns vorliegenden Apparate ist $r = 0,165$ m, und $q = 0,060$ m. Hieraus folgt $d = 0,176$ m. Ferner ist $v = 0,28$ m²) und $a = 0,050$ m, somit

$$t = \pi \sqrt{\frac{0,28 \cdot 0,176}{9,81 \cdot 0,050}} = 0,99 \text{ Sekunden.}$$

Versuche mit dem Apparat ergaben eine Schwingungszeit von 0,9 — 1,0 Sekunden. Genauer lässt sich diese Zeit nicht messen, da das Pendel schon nach 1—2 Hin- und Herbewegungen zur Ruhe gelangt.

Den festen Punkt im Raum bildet hier der Schwingungsmittelpunkt D . Die Stelle, wo der Schreibstift angebunden ist, wird in der Figur durch einen Doppelpfeil bezeichnet. Ihre Entfernung vom Drehpunkt e , dann ist das Vergrösserungsverhältnis

$$n = \frac{e}{d} = \frac{0,163}{0,176} = 0,93.$$

Der Verfertiger des Apparates hat durch Versuche die Zahl 0,92 gefunden.

Störungen durch Drehungen der Grundplatte, wie wir sie beim Horizontalschwingungszeichner besprochen haben,

¹⁾ Der Verfasser versuchte, auf einer Fahrt von Zürich nach Effretikon und zurück die Schwankungen des Eisenbahnwagens zu messen. Die Messung der wagrechten Schwankungen misslang gänzlich. Die Konicität der Räder, Unregelmässigkeiten in der Höhenlage der Schienen, sowie die zahlreich vorkommenden Kurven versetzten das Pendel in fortwährende lebhafte Eigenschwingungen, sodass die wirklichen wagrechten Bewegungen im Gesamtbilde ganz verloren gingen. Besser gelang die Messung der lotrechten Bewegungen des Wagens. Hier prägte sich in der Kurve jeder Schienentoss durch einen kleinen Zacken aus, obgleich der Stift auch hier lebhaft hin- und herwanderte.

²⁾ v wurde auf Umwegen bestimmt, nämlich dadurch, dass man das Gewicht der Scheibe durch Anhängen kleiner Gewichte vergrösserte und die entsprechenden Verschiebungen des Schreibstiftes mass.

kommen beim Vertikalschwingungszeichner keine vor. Dagegen ist die kurze Schwingungszeit des Pendels in manchen Fällen ein Uebelstand. Um ihn zu beseitigen, müsste man die Entfernung d des Schwingungsmittelpunktes vergrössern, das heisst die Stange bedeutend verlängern und das an ihr hängende Gewicht entsprechend verkleinern. Freilich wird hierbei auch der Masstab, in dem die Schwingungen verzeichnet werden, ein um so kleinerer.

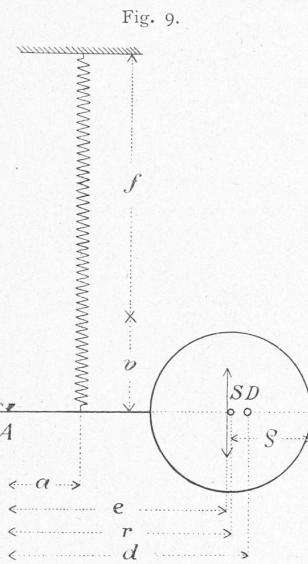


Fig. 9.

Die Gruppen 17 und 18 an der schweizer. Landesausstellung in Genf.

I.

Den Abteilungen für *Unterricht, Erziehung, Litteratur und für berufliches Bildungswesen* ist an der Landesausstellung sehr grosser Raum gewährt. Das erklärt sich für Gruppe 17 daraus, dass *Erziehung und Unterricht* in der Schweiz von unseren 22 Kantonen selbstständig geleitet werden und es deshalb notwendig ist, an der Ausstellung jedem derselben Gelegenheit zur Darstellung der von ihm eingeschlagenen Wege, benutzten Mittel und erreichten Ziele zu geben. In Gruppe 18 war es hauptsächlich der Bund, welcher wünschten musste, dass die von ihm immer reichlicher unterstützten Anstalten für *berufliches Bildungswesen* dem Volke ihre Bestrebungen und Leistungen darthun. Der erste Eindruck, welchen den Besucher der ausgedehnten, für diese Abteilungen bestimmten Hallen erhält, nämlich, dass die vielen scheinbaren Wiederholungen hätten vermieden werden können und dass mit dem Raum und auch mit der Zeit des Besuchers haushälterischer hätte umgegangen werden sollen, ist deshalb bei dem Laien erklärlich und bei jenen, deren Zeit oder deren Verständnis zu einlässlichem fachlichem Studium dieser Abteilungen nicht reichen. Aber auch für diese Besucher bieten dieselben des Anregenden und Belohnenden viel, wie im Folgenden angedeutet werden soll.

Der geehrte Leser wird es uns nicht verübeln, wenn wir die Mehrzahl der Bauzeitungs-Abonnenten zu solchen Laien rechnen und in unserem Berichte deshalb nicht sowohl auf das Wesen dieser Abteilungen eingehen, als vielmehr uns darauf beschränken, jene allgemeinen Eindrücke hervorzuheben und auf jene Teile dieser Ausstellung hinzuweisen, die uns für die Technikerschaft besonderes Interesse zu bieten scheinen. Mit dem Gesagten soll deshalb niemandem von dem Besuche dieser Abteilung der Ausstellung abgeraten werden; im Gegenteil; es ist ein aufmerksamer Gang durch dieselbe und namentlich durch die Gruppe des beruflichen Bildungswesens allen, welche auf irgend einem technischen Gebiete thätig sind oder ihre Bildung auf einer technischen Hochschule genossen haben und besonders auch den an einer solchen Lehrenden angelegentlich zu empfehlen.

Wir treten nicht ein auf das gesamte Unterrichtswesen, wie es in den Kindergärten, der Volksschule, Sekundarschule und Fortbildungsschule zur Anschauung gebracht wird durch Vorführung der Lehrmethoden, der Lehrmittel und von Schülerarbeiten aus allen Kantonen; sondern wir wenden uns gleich den Ausstellungen der höheren Lehranstalten zu. Zunächst interessiert uns das *eig. Polytechnikum*. Wie billig, ist seine Ausstellung im Centrum der Unterrichtsabteilung placierte. Ein einfacher, quadratischer Pavillon enthält, auf seinen Aussen- und Innenwänden verteilt, Diplomarbeiten und andere Arbeiten Studierender aus allen Fachschulen und im Centrum ein Tourniquet mit Proben der „Dekorations-Kunst.“ Geschmückt ist der Pavillon aussen an den vier Ecken durch allegorische Figuren in halber Lebensgrösse*) und innen durch die Büsten von Kappeler, Semper, Culmann und Bolley. Im Innern sind auf Tischchen die auf das Polytechnikum bezügliche Gesetze, Reglemente

*) Es sind dies genaue, von Prof. *Graf* modellierte Nachbildungen der Entwürfe von *Natale Albisetti* für den Figurenschmuck der Hauptfassade des Polytechnikums, die im Wettbewerb von 1894 mit dem ersten Preis gekrönt wurden (vide Bd. XXIII S. 142).

Die Red.