Die Schwingungen des neuen Kirchturms in Enge

Autor(en): **Ritter, W.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **29/30 (1897)**

Heft 7

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-82440

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

INHALT: Schwingungen des neuen Kirchturms in Enge. — Les ponts des chemins de fer électriques. — Miscellanea: Die Thalsperre bei Cold Spring, New-York. Hydraulische Versuchsstation der Universität in Ithaca, N.-Y. II. Kraft- und Arbeitsmaschinen-Ausstellung in München 1898. Elektrische Bahn Stansstad-Engelberg. Schweiz. Südostbahn. — Nekrologie: † Galileo Ferraris. — Litteratur: Série des Prix des Travaux du Bâtiment à Neuchâtel. Die Turbinen und deren Regulatoren auf der Schweiz. Landesausstellung in Genf 1896. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. Stellenvermittelung.

Die Schwingungen des neuen Kirchturms in Enge.

Von Prof. *W. Ritter.*

I. Die Messung der Schwingungen.

Der schlanke Turm der vor drei Jahren, nach den Plänen des Herrn Prof. F. Bluntschli, in Enge (Zürich, II. Kreis) erbauten Kirche[1]) gerät jeweilen in leichtes Schwingen, sobald die Glocken in Bewegung gesetzt werden. Man nimmt diese Schwingungen deutlich wahr, wenn man sich während des Läutens in der Glockenstube befindet. Dabei schwingt der Turm nicht nur in der Richtung Nord-Süd, in der sich die Glocken bewegen, sondern meistens auch quer dazu, in der Richtung Ost-West.

Am 4. August 1894 wurden die Bewegungen des Turmes mittelst des dem eidgen. Polytechnikum gehörenden Fränkel'schen Schwingungszeichners[2]) beobachtet. Es handelte sich einesteils darum, die Leistungsfähigkeit des neuen Instrumentes zu erproben, andernteils darum, über die Grösse und Natur der Schwingungen sichere Auskunft zu erlangen und, darauf gestützt, wenn möglich die Frage zu beantworten, ob die Schwingungen im Stande seien, die Festigkeit des Mauerwerks zu beeinträchtigen.

Der ins Auge gefasste Zweck wurde vollkommen erreicht. Der Fränkel'sche Apparat verzeichnete nicht nur die Bewegungen des Turmes mit grosser Schärfe und Sicherheit, sondern es gelang auch, aus den verzeichneten Kurven das Entstehen der Schwingungen näher zu erklären und den Nachweis zu leisten, dass die Bewegungen hinsichtlich der Festigkeit des Turmes vollkommen unbedenklich sind.

Das Geläute der Kirche besteht aus 5 Glocken mit folgenden Gewichten:

Die	1.	Glocke wiegt	425 *kg.*
„	2.	„ „	705 „
„	3.	„ „	1000 „
„	4.	„ „	1745 „
„	5.	„ „	3430 „
Gesamtgewicht =			7305 *kg*

Die drei kleineren Glocken sind in gewöhnlicher Weise, die beiden grösseren nach dem Pozdech'schen System aufgehängt.

Die Schwingungszeiten der Glocken ergaben sich nach mehrmaligen Zählungen wie folgt:

Die	1.	Glocke	macht	57	Schwingungen	in	der	Minute
„	2.	„	„	53	„	„	„	„
„	3.	„	„	52	„	„	„	„
„	4.	„	„	48	„	„	„	„
„	5.	„	„	43	„	„	„	„

Unter dem Worte Schwingung ist hier und in der Folge jeweilen die Bewegung aus der einen Grenzlage in die andere verstanden.

Die Schwingungs*zeiten* ergeben sich hiernach wie folgt:

1.	Glocke	T =	1,05	Sekunden
2.	„	T =	1,13	„
3.	„	T =	1,15	„
4.	„	T =	1,25	„
5.	„	T =	1,39	„

Die am 4. August 1894 vorgenommenen Messungen dauerten etwa 50 Minuten. Die Glocken wurden sowohl einzeln als gemeinsam geläutet. Der Schwingungszeichner wurde im südlichen Fenster der Glockenstube aufgestellt, und zwar bald in der Richtung Nord-Süd, bald in der Richtung Ost-West. Das eine mal wurden somit die Längs-, das andere mal die Querschwingungen gemessen.

In den Figuren 1 und 2 auf S. 43 ist ein Teil der Beobachtungsergebnisse dargestellt. Der Schwingungszeichner verzeichnet die wagrechten Bewegungen im Verhältnis 1 : 1,18 also um 18 % vergrössert. Die Originalkurven wurden bei der Wiedergabe in gleichem Verhältnisse verkleinert, so dass die Figuren die Bewegungen des Turmes in natürlicher Grösse wiedergeben.

Jeder Schwingungskurve ist eine Zickzacklinie mit Sekundenteilung beigefügt, so dass sich den Figuren nicht nur die Ausschläge, sondern auch die Zeiten entnehmen lassen.

Die nachstehende Tabelle enthält die grössten Ausschläge und die Anzahl Turmschwingungen pro Minute, die sich bei den einzelnen Glocken, sowie beim Gesamtgeläute ergeben haben. Unter Ausschlag ist jeweilen der halbe Gesamtausschlag, das heisst die Abweichung des Turmes aus der Mittellage verstanden.

Turmschwingungen.

Glocke No.	Längsschwingungen		Querschwingungen	
	Grösster Ausschlag	Anzahl pro Minute	Grösster Ausschlag	Anzahl pro Minute
	mm		*mm*	
1	1,4	145	0,9	160
2	1,8	160	1,2	160
3	1,6	160	0,9	160
4	0,3	140	0,1	?
5	0,3	120	0,1	?
1—5	2,9	140—170	2,2	150

Da wo der Turm regelmässig schwingt, beträgt die Zahl der Schwingungen stets 160; die Schwingungszeit des Turmes ist demnach T = 0,375 Sekunden.

An den Schwingungskurven, sowie an den Zahlen dieser Tabelle fällt vor Allem auf, dass die drei kleineren Glocken grössere Ausschläge ergeben, mit andern Worten, den Turm in stärkere Schwingungen versetzen, als die zwei grössern Glocken. Der Grund dieser eigentümlichen Erscheinung liegt zum Teil darin, dass die Glocken ungleich aufgehängt sind. Durch die Pozdech'sche Aufhängung wird bei den Glocken 4 und 5 der wagrechte Schub an den Zapfenlagern bedeutend abgeschwächt. Noch wesentlicher aber ist, dass die Schwingungszeiten der drei kleinern Glocken nahezu das dreifache der Schwingungszeit des Turmes betragen, so dass sich die Wirkungen der Stösse, die von der Glocke auf den Turm ausgeübt werden, fortlaufend summieren.

Am deutlichsten tritt dies bei den Glocken 2 und 3 zu Tage. Diese Glocken machen in der Minute 52 bis 53 Schwingungen, der Turm als schwingender Stab 160, also fast genau dreimal so viel. Bewegt sich die Glocke nach der einen Seite, sagen wir vorwärts, so bewegt sich auch der Turm nach dieser Seite. Bewegt sich die Glocke rückwärts, so fällt ihre Bewegungsrichtung wiederum mit der des Turmes zusammen; denn dieser hat inzwischen zwei Bewegungen, eine Rück- und eine Vorwärtsbewegung vollzogen. Auf diese Weise wird der Ausschlag des Turmes fortwährend vergrössert, bis infolge der innern Reibung des Mauerwerks eine Art Gleichgewichtszustand eintritt oder infolge unregelmässigen Anziehens der Glocke eine Verschiebung zwischen Impuls und Schwingung entsteht.

Bei den Glocken 4 und 5 beträgt das Verhältnis der Schwingungszahlen von Glocke und Turm etwa 1 : 3,3 bzw. 3,7. Infolgedessen findet bei diesen Glocken keine Steigerung des Ausschlages statt; die Wirkung eines einzelnen Stosses

[1]) Vergl. Bd. XVIII Nr. 23 u. 24; Bd. XXV Nr. 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 und 12.

[2]) Vgl. Bd. XXVIII S. 12.

Schwingungen des Kirchturmes in Enge. (Natürliche Grösse.)

Fig. 1. *Längsschwingungen (Nord-Süd).*

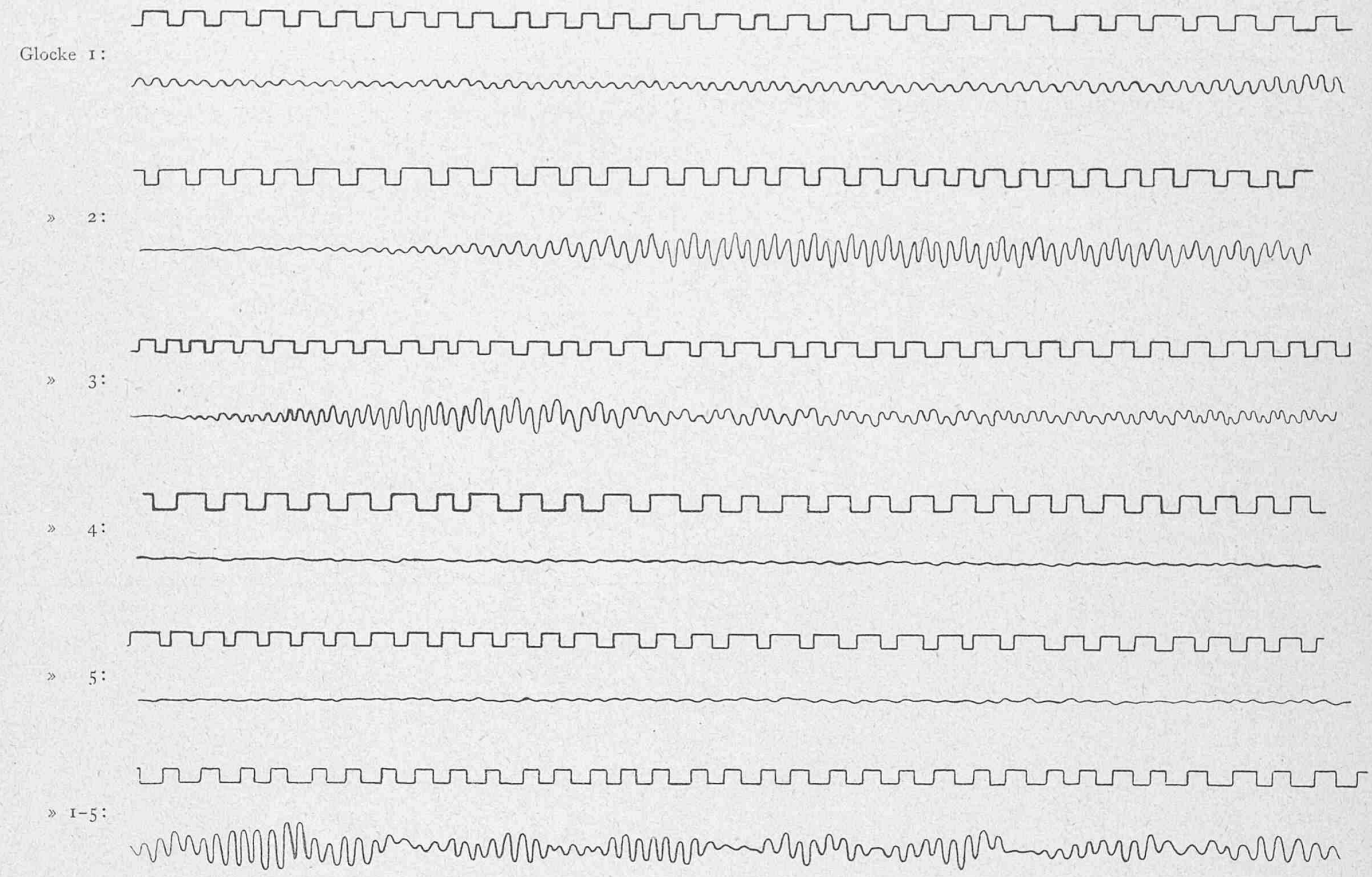
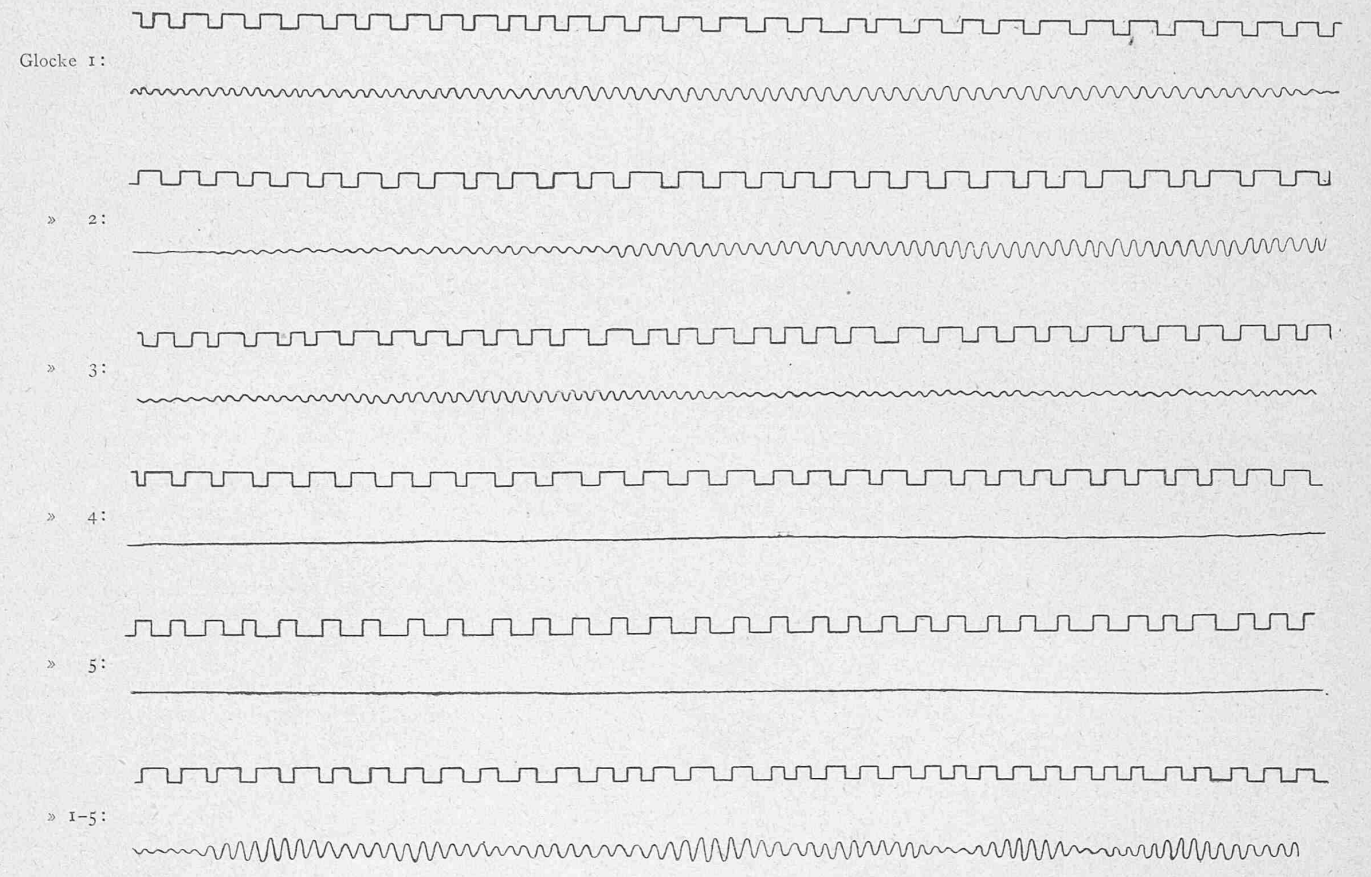


Fig. 2. *Querschwingungen (Ost-West).*



dauert nur kurze Zeit an und geht gleich darauf in den Wirkungen der folgenden Stösse verloren. Die Schwingungen des Turmes stimmen deshalb auch zeitlich nicht mit der Eigenschwingung des Turmes überein, sondern passen sich mehr der Schwingungszeit der Glocken an.

Dass sich beim Läuten *sämtlicher* Glocken keine regelmässige Bewegung des Turmes ergeben kann, ist nach dem Vorangegangenen selbstverständlich. Hier wo die Stösse ganz unregelmässig vor sich gehen, wo die verschiedenen Glocken bald in gleichem, bald in entgegengesetztem Sinne schwingen, muss notwendig eine verwickeltere Kurve mit sehr ungleichen Ausschlägen entstehen. Nur auf kürzere Strecken zeigen sich regelmässige Wellenbewegungen. Die Anzahl der Schwingungen ergibt sich da, wo die Ausschläge gross sind, meistens gleich 150—170, im Durchschnitt also wieder gleich 160.

Was die Querschwingungen betrifft, die der Turm beim Läuten der Glocken ausführt, so lassen sie sich durch ein bekanntes physikalisches Gesetz erklären. Wenn ein eingespannter Stab von kreisförmigem oder quadratischem Querschnitte in einer bestimmten Richtung in Schwingungen versetzt wird, so geht die Schwingung nach kurzer Zeit aus der geradlinigen in eine elliptische über. Die kleinsten Störungen genügen, um dem Stabe neben seiner Längsschwingung eine Querschwingung beizubringen. Dabei nimmt diese Querschwingung periodisch ab und zu.

Dass solche Störungen beim Kirchturm in Enge auftreten, ist leicht einzusehen. Einerseits sind die Glocken nicht alle in der Achse des Turmes aufgehängt. Andrerseits hängt der Turm in seinem untern Teile einseitig mit dem Hauptgebäude zusammen.

Wie die Figuren 2 zeigen, verlaufen die Querschwingungen beim Läuten der Glocken 1 bis 3 und selbst beim Gesamtgeläute ziemlich regelmässig, mit deutlichem An- und Abschwellen der Ausschläge. Stets bleiben jedoch die Ausschläge der Querschwingung kleiner als die der Längsschwingung. Bei den Glocken 4 und 5 dagegen sind diese Querschwingungen nahezu null, was ebenfalls darauf hindeutet, dass der Turm hier nicht in sich steigernde Eigenschwingungen versetzt wird, sondern jeweilen nur dem augenblicklichen Einzelstosse nachgibt. —

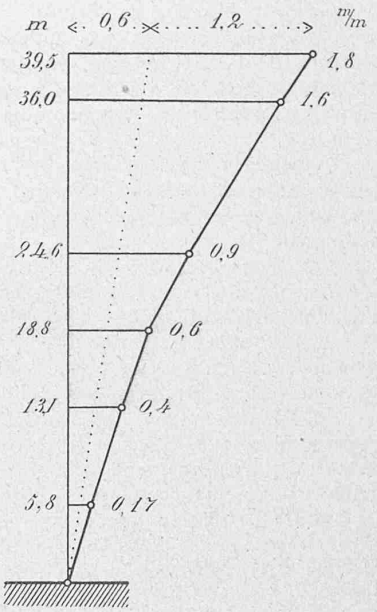
Am 22. Juli 1895 wurde unter der Leitung des Herrn Ingenieur Ed. Locher, unter Mitwirkung des Herrn Ingenieur R. Koechlin, eine zweite Reihe von Schwingungsmessungen vorgenommen. Der Zweck dieser Messungen bestand darin, zu untersuchen, in welchem Verhältnisse die Schwingungsausschläge von der Spitze des Turmes bis zum Fusse abnehmen und ob nicht das Fundament des Turmes bei den Bewegungen mit beteiligt sei. Der Schwingungszeichner wurde während des Läutens der zweiten Glocke in sechs verschiedenen Höhen aufgestellt. Die Treppenpodeste boten hierzu günstige Gelegenheit. Auf Erdbodenhöhe aufgestellt zeigte der Apparat nicht die geringste Bewegung. Aber schon 5,8 *m* höher fing der Schreibstift an, sich merklich zu bewegen.

Als grösste Ausschläge wurden für die 2. Glocke (unter Zuziehung der früheren Beobachtungen) folgende Werte gefunden:

Höhe über dem Erdboden	= 39,5 *m*:	Ausschlag	= 1,8 *mm*
„ „ „ „	= 36,0 „	„	= 1,6 „
„ „ „ „	= 24,6 „	„	= 0,9 „
„ „ „ „	= 18,8 „	„	= 0,6 „
„ „ „ „	= 13,1 „	„	= 0,4 „
„ „ „ „	= 5,8 „	„	= 0,17 „
„ „ „ „	= 0,0 „	„	= 0,0 „

Trägt man diese Zahlen graphisch auf (Fig. 3), so erkennt man, dass die Ausschläge nicht nur nach unten hin stetig abnehmen, sondern dass sich die Schwingungen bis in das Fundament hinein fortsetzen. Wenn auch die Messungsergebnisse, wie es nicht anders sein kann, mit Ungenauigkeiten behaftet sind, so erkennt man doch deutlich, dass die Verbindungslinie der aufgetragenen Punkte am Fusse nicht eine lotrechte, sondern eine schiefe Linie berührt. Diese Linie ist in der Figur punktiert eingezeichnet; sie teilt den an der Spitze gemessenen Ausschlag im Verhältnisse von ungefähr 1 : 2. Die Bewegungen des Turmes rühren somit zu etwa $^1/_3$ von der Elasticität des Fundamentgrundes und zu $^2/_3$ von der Elasticität des Mauerwerks her.

Fig. 3.



II. Rechnerische Untersuchung der Schwingungen.

Einige Berechnungen mögen das bisher Gesagte bestätigen und ergänzen.

Der grösste Ausschlagswinkel des Pendels *DS* (Fig. 4) sei α. In einem beliebigen Augenblicke sei der Ausschlagswinkel φ. Nennt man die Winkelgeschwindigkeit ω und die Winkelbeschleunigung β, so ist bekanntlich $\omega = -\frac{d\varphi}{dt}$ und $\beta = \frac{d\omega}{dt}$, folglich

$$\omega\, d\omega = -\beta\, d\varphi. \qquad (1)$$

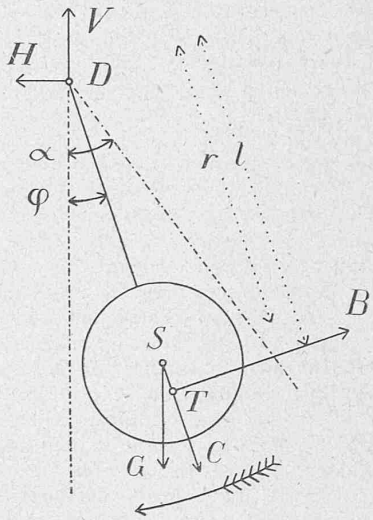
Ist G das Gewicht des schwingenden Körpers und r der Abstand seines Schwerpunktes vom Drehpunkte, so ist $M = G\, r \sin\varphi$ das Antriebsmoment und nach der Theorie rotierender Körper $\beta = M : J$, worin J das Massenträgheitsmoment in Bezug auf den Drehpunkt bedeutet. Bezeichnet man die Masse mit m und den Abstand des Schwingungsmittelpunktes T mit l, so ist $J = m\, r\, l$, folglich

$$\beta = \frac{G \sin\varphi}{m\, l}. \qquad (2)$$

Aus den Gleichungen (1) und (2) folgt

$$\omega^2 = -2\int_{\alpha}^{\varphi} \beta\, d\varphi = \frac{2G}{ml}(\cos\varphi - \cos\alpha).$$

Fig. 4.



Um die Kräfte H und V zu bestimmen, mit denen der Aufhängepunkt beansprucht wird, ersetzen wir die Bewegung des Gewichtes durch die Fliehkraft C und die Beschleunigungskraft B. Erstere wirkt in der Richtung DS und ist

$$C = \omega^2 mr.$$

Letztere geht durch den Schwingungsmittelpunkt und ist

$$B = \beta\, mr.$$

Aus dem Gleichgewichte, das zwischen den fünf Kräften H, V, G, C und B besteht, folgt nun

$$H = C\sin\varphi + B\cos\varphi$$
$$= \frac{Gr}{l}\sin\varphi\,(3\cos\varphi - 2\cos\alpha)$$

und $$V = G + C\cos\varphi - B\sin\varphi$$
$$= G - \frac{Gr}{l} + \frac{Gr}{l}\cos\varphi\,(3\cos\varphi - 2\cos\alpha).$$

(Fortsetzung folgt.)