

Ueber den Verticalpendelseismograph.

Von

C. Viola in Rom.

Der zu einem Seismograph gehörende Verticalpendel zeichnet auf einen mit dem Boden zusammenhängenden und daher mit der Erde beweglichen Papierstreifen die relative Bewegung zwischen der Erdoberfläche und dem Pendel, der eigentlich vollständig in Ruhe sich erhalten sollte.

Um ein praktisches Diagramm auf dem Papier zu erhalten, in dem Augenblicke, wo die Erscheinung des Erdbebens beginnt, erhält der Papierstreifen eine fortschreitende gleichförmige Bewegung in horizontaler Richtung, und die relative Bewegung zwischen Pendel und Erdoberfläche wird durch starke Übersetzung vergrössert.

Da der Verticalpendel sehr lang ist (ca. 10 m) und seine Masse sehr gross (500 kg), werden seine durch das Erdbeben hervorgerufenen Schwingungen so klein ausfallen, dass sie vernachlässigt werden können. In jedem Falle aber werden sie immer berechenbar, folglich bekannt sein.

Diese hier kurz auseinandergesetzte allgemeine Anordnung eines Verticalpendelseismographen hat in der letzten Zeit sowohl in Italien als auch ganz besonders durch japanische Seismologen Verbesserungen erhalten, welche jedoch unsere folgenden, auf dem einfachen Verticalpendelseismographen beruhenden Betrachtungen nicht beeinträchtigen, wie wir sehen werden. —

Ein solcher Seismograph sollte im Stande sein, den Moment des ersten Stosses der Wellenbewegung anzugeben, die darauf

folgenden Erderschütterungen und endlich die Richtung und womöglich den Sinn des fortschreitenden wellenförmigen Erdbebens genau zu verzeichnen.

Ich stelle mir nun in Folgendem die Aufgabe, darzuthun, dass ein Seismograph mit langem Verticalpendel nur die Möglichkeit besitzt, den Moment des ersten Stosses anzugeben, während die übrigen von ihm verzeichneten Angaben als illusorisch anzusehen sind, und zwar derart, dass man denselben keinen Werth beilegen sollte, wenn nämlich das beobachtete wellenförmige Erdbeben in einer wirklichen Bewegung der Erdoberfläche besteht, wie vielseitig noch heutzutage angenommen wird.

Beziehen wir zu diesem Zwecke die einzelnen hier in Betracht kommenden Punkte eines Verticalpendelseismographen auf ein orthogonales Coordinatensystem, dessen Ursprung in dem Aufhängepunkt des Verticalpendels für den Ruhezustand verlegt ist. Die verticale Axe z ist positiv nach unten.

Betrachten wir das Massencentrum, in welchem für die schwingende Bewegung die ganze Pendelmasse vereinigt gedacht werden kann. Es seien x, y, z die Coordinaten desselben, und ξ, η, ζ diejenigen des Aufhängepunktes in der Zeit t . Für $t = 0$ ist auch $\xi = 0, \eta = 0$ und $\zeta = 0$.

Die Bedingungsgleichung der Pendelbewegung wird bekanntlich für unseren Fall folgende sein:

$$(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \zeta)^2 = l^2,$$

wo l die Länge des Pendels, d. h. den Abstand des Massencentrum von dem Aufhängepunkte bedeutet. Wenn man mit g die Beschleunigung der Schwere bezeichnet, erhält man folgende Bewegungsgleichungen des Massencentrum:

$$1) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2 x}{dt^2} = \lambda^2 (x - \xi), \\ \frac{d^2 y}{dt^2} = \lambda^2 (y - \eta), \\ \frac{d^2 z}{dt^2} = \lambda^2 (z - \zeta) + g. \end{array} \right.$$

Die kleinen Verrückungen ξ, η, ζ des Aufhängepunktes bestehen aus zwei Theilen, nämlich aus ξ_1, η_1, ζ_1 , welche von der Erderschütterung unmittelbar herrühren, und aus ξ_2, η_2, ζ_2 , welche die eigene schwingende Bewegung der mit dem Pendel-

aufhängepunkte verbundenen Wand, des Pfeilers oder des Gewölbes, in jedem Augenblicke angeben. Wir können also setzen:

$$\xi = \xi_1 + \xi_2, \quad \eta = \eta_1 + \eta_2, \quad \zeta = \zeta_1 + \zeta_2;$$

und diese Coordinaten sind eben Functionen der Zeit, und meistens periodisch.

Ein Punkt des Papierstreifens, welcher dem von dem Pendel beschriebenen Diagramme angehört, wird sich um die Grössen ξ_1 , η_1 , ζ_1 verrücken, natürlich abgesehen von der gleichförmigen fortschreitenden Bewegung des Papierstreifens, die lediglich den Zweck hat, die relative zu bestimmende Bewegung deutlicher zum Vorschein zu bringen.

Da x , y , z , wie wir gesehen haben, die Coordinaten des Pendelcentrums in der Zeit t angeben, werden die auf dem Papierstreifen zu messenden Grössen folgende sein:

$$x - \xi_1 = \varepsilon,$$

und

$$y - \eta_1 = \vartheta.$$

Die dritte Grösse, nämlich $l - z - \zeta_1 = \delta$, welche die verticale, relative Bewegung zwischen Erde und Pendel bestimmt, kann durch ein Verticalpendel nicht angegeben werden und wir wollen sie infolgedessen ausser Acht lassen.

Damit die Möglichkeit vorhanden sei, die nach den horizontalen Richtungen zu suchenden Verrückungen ξ_1 und η_1 der von der Erschütterung getroffenen Erdoberfläche mit Hilfe der von dem Verticalpendel auf dem Papierstreifen beschriebenen Wege ε und ϑ zu bestimmen, sollten die Coordinaten x und y durch die Coordinaten ξ_1 und η_1 angegeben werden.

Allein das ist nicht der Fall, wie schon aus den Differentialgleichungen 1) klar hervorgeht, und wie es sich noch deutlicher ergibt, wenn die betreffenden Gleichungen der Bewegung integrirt werden.

Bemerken wir, dass das allgemeine Integral der linearen Gleichung

$$\frac{d^2 u}{dt^2} - \lambda^2 u = f(t)$$

folgendes ist:

$$u = \left[C_1 e^{\lambda t} + C_2 e^{-\lambda t} \right] + \frac{1}{2\lambda} \left[e^{\lambda t} \int_0^t f(t) e^{-\lambda t} dt - e^{-\lambda t} \int_0^t f(t) e^{\lambda t} dt \right]$$

worin C_1 und C_2 zwei noch mit Hilfe der für $t = 0$ bekannten Ursprungswerthe der Grössen u und $\frac{du}{dt}$ zu bestimmenden Constanten bedeuten.

Da es sich hier um einen sehr langen Pendel und sehr kleine Schwingungen handelt, werden die zwei Integrationsconstanten C_1 und C_2 in dem Ausdrucke u zu vernachlässigen sein.

Es ist ferner noch zu bemerken, dass ein Verticalpendel seiner Beschaffenheit nach nicht im Stande sein kann, die verticale Wellenbewegung der Oberfläche der Erde anzugeben; darum können wir ohne Weiteres von der dritten der Differentialgleichungen 1) absehen. Die zwei ersten derselben liefern folgende Ausdrücke für x und y :

$$2) \left\{ \begin{array}{l} \text{a) } x = \frac{1}{2\lambda} \left\{ e^{\lambda t} \int_0^t (\xi_1 + \xi_2) e^{-\lambda t} dt - e^{-\lambda t} \int_0^t (\xi_1 + \xi_2) e^{\lambda t} dt \right\}, \\ \text{b) } y = \frac{1}{2\lambda} \left\{ e^{\lambda t} \int_0^t (\eta_1 + \eta_2) e^{-\lambda t} dt - e^{-\lambda t} \int_0^t (\eta_1 + \eta_2) e^{\lambda t} dt \right\}, \end{array} \right.$$

worin λ eine Constante bedeutet, welche sehr leicht bestimmt werden kann.

Handelt es sich nur um sehr kleine Schwingungen, so kann die genannte Constante durch folgenden Näherungswerth angegeben werden:

$$\lambda^2 = \frac{g}{l}.$$

Aus den zwei Ausdrücken 2 a, b) ist vorerst ersichtlich, dass die durch x und y bestimmte Richtung der Pendelbewegung in Bezug auf den Papierstreifen nicht mit der durch ξ_1 und η_1 bestimmten Fortpflanzungsrichtung des wellenförmigen Erdbebens zusammenfällt. Wäre z. B. $\eta_1 = 0$, so würde y einen von Null verschiedenen Werth annehmen. Das hängt offenbar von den den Aufhängepunkt des Pendels betreffenden Verrückungen ξ_2 und η_2 ab, welche Functionen nicht nur von der Zeit t , sondern auch vom Trägheitsmoment der Wand, des Pfeilers oder des Gewölbes sind, woran der Pendel aufgehängt ist. Zweitens ersehen wir ebenso deutlich, dass die Verrückungen ξ_1 und η_1 nicht bloss mit Hilfe der durch den Pendel auf dem Papierstreifen beschriebenen und

folglich bekannten Wege ε und ϑ bestimmt werden, ohne dass gleichzeitig auch die Verrückungen ξ_2 und η_2 angegeben sind. Und wenn die letzteren Null werden, so ist dennoch die Bestimmung der in Frage stehenden Verrückungen ξ_1 und η_1 mit der Form der Functionen

$$\xi_1 = \varphi_1(t) \text{ und } \eta_1 = \psi_1(t)$$

innig verbunden.

Daraus schliessen wir, dass ein Verticalpendelseismograph nicht im Stande sein kann, weder die Dauer einer seismischen Wellenbewegung, noch ihre Richtung, und noch weniger ihren Sinn anzugeben. — Und doch steht unzweifelhaft fest, dass die Präcisionsseismographen, welche in den verschiedenen wichtigsten seismischen Centren eben zu diesem Zwecke aufgestellt werden, ihre Aufgabe in den meisten Fällen vollständig erfüllen. — Das soll die Bedeutung haben, dass die seismischen Bewegungen, welche wir mit Hilfe des Verticalpendelseismographen wahrzunehmen glauben, höchstwahrscheinlich nicht existiren, sondern die Erscheinung besteht lediglich in einer schwingenden oder periodischen Abweichung der Verticalen.

Nehmen wir an, φ_1 , φ_2 , φ_3 seien die Winkel, welche die Richtung der positiven Verticalen in dem Zeitmoment t mit den drei Axen x , y und z bildet. Da in diesem Falle der Aufhängepunkt in Ruhe ist, werden die Bewegungsgleichungen des Massencentrums des Pendels

$$3) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2x}{dt^2} = \lambda^2 x + g \cos \varphi_1 \\ \frac{d^2y}{dt^2} = \lambda^2 y + g \cos \varphi_2 \end{array} \right.$$

sein, abgesehen von der dritten Differentialgleichung, wegen der nämlichen oben angegebenen Gründe.

Wir setzen

$$\cos \varphi_1 = \frac{u}{l} \text{ und } \cos \varphi_2 = \frac{v}{l},$$

und annähernd $\lambda^2 = \frac{g}{l}$, dadurch gehen die Gleichungen 3) in folgende über:

$$4) \quad \left\{ \begin{array}{l} u = \frac{1}{g} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} - x, \\ v = \frac{1}{g} \cdot \frac{d^2y}{dt^2} - y. \end{array} \right.$$

Zu bemerken ist, dass die Grössen x und y in diesem Falle die Wege bedeuten, welche unmittelbar auf dem Papierstreifen gemessen werden; die beiden in 4) auftretenden Differentialquotienten in Bezug auf die Zeit lassen sich graphisch bestimmen; und somit liefern die zwei Gleichungen 4) sofort die Abweichungen der Verticalen nach den Richtungen x und y . —

Wir sind somit am Schlusse unserer Betrachtungen angelangt, welche wir folgendermaassen zusammenfassen müssen:

Hängen die am Verticalpendelseismograph wahrgenommenen Schwingungen lediglich von der wellenförmigen Bewegung der Erdoberfläche ab, so ist der Seismograph nicht im Stande, weder die Dauer, noch die Richtung, und um so weniger den Sinn der erfolgten Erderschütterung anzugeben. — Giebt er dagegen die genannten Daten, wie sie bis auf eine gewisse Genauigkeit controllirt werden können, entweder mit Hilfe der Angaben der in anderen Stationen befindlichen Verticalpendelseismographen, oder der in der nämlichen Station vorhandenen nach anderem Principe gebauten Seismographen, so werden wir zu dem Ergebnisse gezwungen, anzunehmen, dass die durch den Verticalpendelseismograph erhaltenen und zuverlässigen Resultate nicht einer seismischen Wellenbewegung der Erdoberfläche, sondern einer periodischen oder, besser gesagt, schwingenden Abweichung der Verticalen ihre Entstehung verdanken.

Nur unter dieser Annahme sind die Differentialgleichungen 4) verständlich, wenn sie mit denjenigen 2) verglichen werden.

Wenn die Herren Seismologen ihre Studien und Beobachtungen dieser neuen von mir erörterten Frage zuwenden mögen, bin ich der Ansicht, wie die hier gemachten Betrachtungen ergeben, dass die mit Hilfe des Verticalpendelseismo-

graphen gewonnenen auf Präcision Anspruch erhebenden Daten von grosser Wichtigkeit sein können, und dass sie festgestellt werden, inwiefern die von dem sogen. Epicentrum weit herkommenden seismischen Wellen als illusorisch zu betrachten sind, und ob und in welchem Maasse die periodische und momentane Abweichung der Verticalen sich bei solchen Erscheinungen geltend macht, und welchen Gesetzen sie gehorcht.

Auch der Doppelverticalpendelseismograph, der von MILNE vorgeschlagen und verbessert worden ist, und dem in den japanischen seismischen Centren der Vorzug gegeben wird, beruht auf demselben Princip wie die Seismographen mit einfachem Verticalpendel, da der zweite Pendel keine weitere Aufgabe zu erfüllen hat, als die von dem ersteren gegebene relative Bewegung grösser und deutlicher zu gestalten. Infolge dessen können unsere Betrachtungen fast ohne Änderung auf den mit Doppelverticalpendel versehenen Seismographen ausgedehnt werden, da auch dieser wie der erstere den nämlichen Zweck erfüllen kann, nämlich Licht bringen in das Dunkel der sogen. seismischen Bewegungen.

Zürich, Juli 1899.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1900

Band/Volume: [1900](#)

Autor(en)/Author(s): Viola Carlo Maria

Artikel/Article: [Ueber den Verticalpendelseismograph 145-151](#)