

PUBLICATIONS DU BUREAU  
CENTRAL DE L'ASSOCIATION INTER-  
NATIONALE DE SISMOLOGIE.

VERÖFFENTLICHUNGEN DES ZEN-  
TRALBUREAUS DER INTERNATIONALEN  
SEISMOLOGISCHEN ASSOZIATION.

SÉRIE A. MÉMOIRES.

SERIE A. ABHANDLUNGEN.

---

# UNIFILARES HORIZONTALPENDEL

VON

**SIEGMUND SZIRTES.**

---

STRASSBURG.

1909.

# Unifilares Horizontalpendel.

Von Dr. S. Szirtes.

Mit zwei Tafeln.

*Ino. A. No. 2421.*



## Einleitung.

Durch die vorliegende Veröffentlichung beabsichtige ich, das Konstruktionsprinzip eines neuen Seismometers zu allgemeiner Kenntnis zu bringen. Mit dieser Neukonstruktion soll nicht die ohnehin bereits grosse Zahl von Seismometern um eine neue vermehrt werden, vielmehr war es das Bestreben, Abhilfe für verschiedene Mängel zu schaffen, welche sich mir beim vergleichenden Studium der modernen Typen aufgedrängt haben. Infolgedessen werde ich, bevor ich zur Beschreibung meines Konstruktionsprinzips übergehe, die Gesichtspunkte kritisch erörtern, welche mich dabei geleitet haben.

Wir können füglich die älteren Instrumente übergehen, zumal dieselben durch *R. Ehlert*<sup>1)</sup> eine eingehende und kritische Würdigung erfahren haben. Einen ganz besonders wichtigen Abschnitt in der instrumentellen Erdbebenmessung inaugurierte die Heranziehung des Horizontalpendels; denn dieses Instrument hat sich ja in der Folgezeit, wie schon die Entwicklung des Instrumentenbaues zeigt, als das geeignetste und anpassungsfähigste erwiesen.

Das gewöhnliche ebene Pendel schwingt um eine horizontale Achse, also in der Vertikalebene. Man kann jedoch die Achse und damit die Schwingungsebenen auch neigen; wenn dann die Achse nahezu vertikal, die Schwingungsebene aber nahezu horizontal geworden ist, redet man von einem Horizontalpendel. Für ein derartiges Pendel wird die Schwingungsperiode  $T$  bekanntlich durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$T = \pi \sqrt{\frac{\alpha}{g \cos \varphi}}$$

worin  $\varphi$  Neigung der Drehachse gegen die Horizontale ist. Die Periode wird also unendlich gross für eine genau vertikale Achse; in diesem Falle ist das Pendel in jeder Lage im indifferenten Gleichgewicht. Das Horizontalpendel ist zuerst von *Hengler*, viel später unabhängig von *Perrot* ersonnen worden; *v. Rebeur-Pachwitz* hat dasselbe dann später in den Dienst der Erdbebenforschung gestellt.

---

<sup>1)</sup> *R. Ehlert*. Zusammenstellung, Erläuterung und kritische Beurteilung der wichtigen Seismometer mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Verwendbarkeit. Gerland's „Beiträge zur Geophysik“ Band III, Heft 3, Leipzig 1897.

Bei den Horizontalpendeln nach *Omori* und *Omori-Bosch* wird die Schwingungsachse dargestellt durch die Verbindungslinie der unteren Unterstützungsspitze und des oberen Aufhängungspunktes. Zur näheren Erklärung dient Fig. 1, welche das Pendel im Aufriss und Grundriss schematisch darstellt. Es bedeutet  $s$  die Unterstützungsspitze,  $c$  den oberen Aufhängungspunkt der Pendelmasse  $m$  und  $b$  das Stativ; nach der obigen Definition ist mithin die Schwingungsachse dieses Pendels

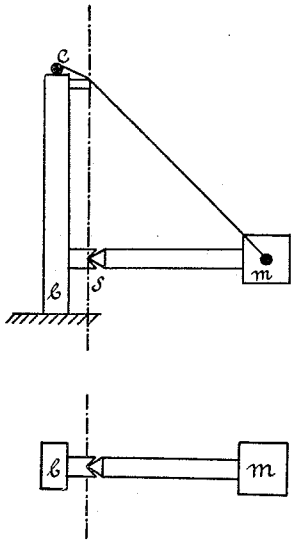


Fig. 1. Schematische Darstellung eines Horizontalpendels.

dargestellt durch die gebrochene Linie. Ein derartiges Pendel kann niemals in der Richtung des Pendelarmes Schwingungen aufnehmen, was sich als einen nicht zu unterschätzenden Vorteil bei der Ausmessung der Seismogramme erweist. Bei dieser Anordnung ist aber die Spitze  $s$  einem starken Drucke durch die Pendelmassenspitze  $m$  ausgesetzt; beispielsweise beträgt dieser Druck bei der Spitze des *Bosch*-Pendels nach den Untersuchungen von *B. Galitzin*<sup>1)</sup> mehr als 2 kg, trotzdem das Pendelgewicht kaum 3826 gr ausmachte. Es ist demnach ohne weiteres klar, dass unter derartigen Druckwirkungen sowohl die Spitze als auch das Spitzenlager  $s$  sich stark deformieren müssen, wodurch die Reibung erheblich vergrößert und entsprechend die Empfindlichkeit des Pendels vermindert wird.

*O. Hecker*<sup>2)</sup> verdanken wir eingehende experimentelle Untersuchungen über die Deformation von Spitzen unter dem Einfluss der Druckwirkungen, woraus sich wichtige Grundsätze für die Konstruktion von Spitzen und auch der Pendel ergeben. Seinen Ausführungen ist folgendes zu entnehmen: Der Druck hängt ausser von dem Gewichte des Pendels wesentlich von dem Verhältnis des Abstandes des Schwerpunktes von der Achse zur Länge der Achse selbst ab. Ausserdem ist der Druck für die untere und die bei manchen Konstruktionen (z. B. v. Rebeur-Ehlert) gebräuchliche obere Spitze entgegengesetzt und gleich. Bei der Aufhängung auf Spitzen ist es nicht gleichgültig, in welcher Weise man Spitzen und Lager anordnet, wenn das Pendel nicht abgleiten soll. Nur wenn die Resultanten der beiden Komponenten der Druckkräfte als senkrechter Druck auf die Lager treffen, ist ein Gleiten der Pendellager auf den Spitzen ausgeschlossen. Bei verschiedenen Entfernungen des Schwerpunktes von der Achse wächst der Druck in gleichem Masse mit dem Abstande. Um die Horizontalpendel leicht beweglich zu machen, ist nicht nur die Feinheit, sondern auch die Form der Spitzen, der Kegelwinkel, unter dem sie auslaufen, von Bedeutung. Die Untersuchungen erstreckten sich auf Spitzen mit Winkeln von 30°, 60°, 90°. Achatspitzen in Verbindung mit Achatlagern zu benutzen ist unzulässig, da die Spitzen

<sup>1)</sup> *B. Galitzin*. „Über eine Abänderung des Zöllnerschen Horizontalpendels“. St. Petersburg 1906.

<sup>2)</sup> *O. Hecker*. Beitrag zur Theorie des Horizontalpendels. Beiträge zur Geophysik Bd. IV. 1900. S. 59—67.

die Lager verletzen und dabei selbst absplittern. Achatspitzen haben sich nach wenigen Schwingungen in die Lager eingebohrt. Stahlspitzen sollen einen grossen Kegelwinkel haben. Spitzen von  $30^\circ$  deformieren sich sehr leicht; die mit  $60^\circ$  sind besser; aber diejenigen mit  $90^\circ$  bieten eine verhältnismässig geringe und dabei gleichmässige Deformation und zeigen eine grössere Widerstandsfähigkeit. Wie photographische Aufnahmen zeigen, darf man bei der Belastung der Spitzen nicht zu weit gehen. Nur nach geringeren Belastungen stellt sich bei dem Aufhören des Druckes eine deutliche Kugelkalotte wieder ein, nach stärkerem Druck bleibt dagegen die Spitze abgeflacht.

Dem Pendelgewicht ist bei der Anwendung von Spitzen eine enge Grenze gezogen, und zwar nicht allein aus dem vorbesprochenen Grunde, sondern auch deshalb, weil es praktisch unmöglich ist, eine mathematisch genaue Spitze herzustellen.

Das bekannte, an zwei Fäden aufgehängte Zöllnerpendel besitzt absolut keine Spitzen und bleibt infolgedessen in seiner Empfindlichkeit konstant. Störend kommt jedoch bei ihm in Betracht, dass es Längsschwingungen in der Richtung des Pendel-

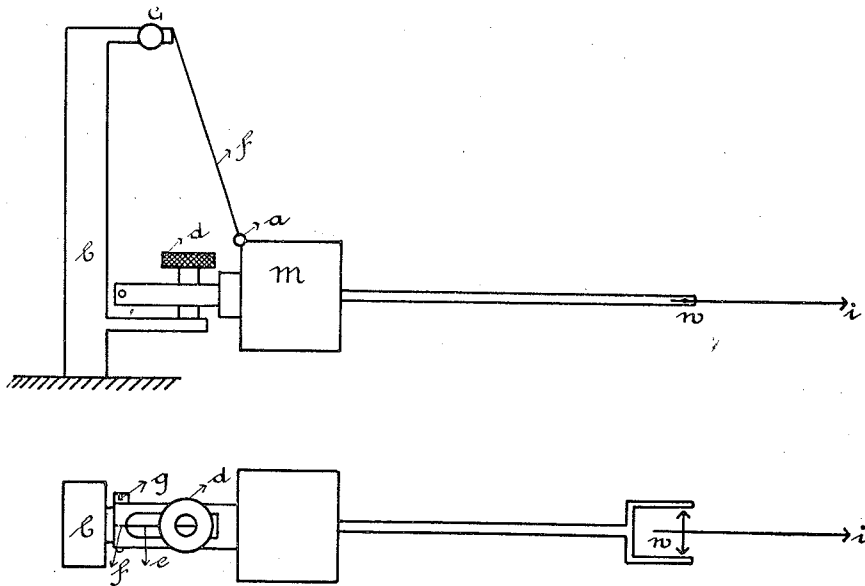


Fig. 2. Schematische Darstellung des Ewing-Pendels in Grundriss und Aufriss.

armes aufnehmen kann. Jedoch hat *B. Galitzin*<sup>1)</sup> durch eine einfache Umgestaltung erreicht, dass das Instrument auf Längsschwingungen nicht reagiert, ohne dass dabei die Empfindlichkeit Einbusse erleidet.

Weiterhin hat man versucht, sich von den durch die Spitzendeformation bedingten Fehlern dadurch frei zu machen, dass man mit dem Schwerpunkt der Masse

<sup>1)</sup> *B. Galitzin* l. c.

immer näher an den Unterstützungspunkt heranrückte. Denn dadurch verringert sich mit dem Druck die Deformation und somit auch die Reibung in den Lagern.

Auf völlig anderem Wege versuchte *Ewing*<sup>1)</sup> zum Ziele zu gelangen. Die Spitzen, an deren Stelle bereits *W. Thomson* und *Gray-Milne* die gleichfalls der Deformation unterworfenen Schneiden verwendet hatten, ersetzte *Ewing* durch ein auf Zug beanspruchtes Stahlband, eine sogenannte Lamelle. Die Wirkungsweise dieser Lamelle ist aus der vorstehenden Abbildung Fig. 2 ohne weiteres ersichtlich: Die Lamelle *e* wird an der einen Seite *f* durch die Schraube *g* zwischen zwei Backen festgeklemmt, welche mit der Pendelmasse *m* fest verbunden sind; das andere Ende der Lamelle ist mit der Schraube *d*, welche durch den Schlitz der Backen frei hindurchgeht und dann durch deren Vermittlung auch mit dem Stativ *b* verbunden. Bei der Konstruktion eines derartigen Pendels muss auf folgendes Rücksicht genommen werden: 1. Die Längsachse der Lamelle muss möglichst wagrecht sein. 2. Der obere Aufhängungspunkt und die untere, durch die Lamelle abgegebene Schwingungsachse müssen in einer graden Linie liegen. Dem unbefangenen und vorurteilsfreien Beobachter fällt natürlich ohne weiteres auf, dass sich

die Richtung der Drehachse stets je nach der Grösse der Ausschläge verändert. Es mag ja sein, dass diese Mängel praktisch nicht allzu schwerwiegender Natur sind, immerhin ist dieser theoretische Einwand berechtigt.

Trotz seiner in die Augen springenden Vorteile ist dieses Prinzip in der Folgezeit unbeachtet geblieben. Meines Wissens hat *E. Wiechert* als erster wieder bei seinem bekannten astatischen Pendelseismometer davon Gebrauch gemacht, allerdings unter Verhältnissen und in einer Form, welche mit der *Ewing*'schen wenig mehr gemein hat. Gleichzeitig ging *Wiechert* einen bedeutenden Schritt weiter, indem er die Lamelle von beiden Seiten her nach der Mitte zu verjüngte, um dadurch die Bewegungsachse der Lamelle mehr zu fixieren. Dagegen zeigt das bifilare Kegelpendel von *C. Mainka*<sup>2)</sup>, wie

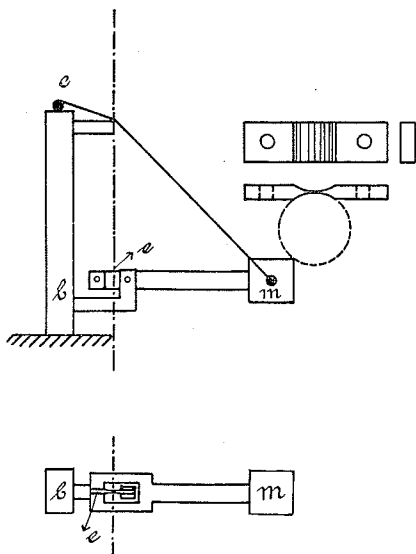


Fig. 3.  
Schematische Darstellung des Mainka-Pendels.

ein Vergleich der beiden Abbildungen Fig. 2 und Fig. 3 lehrt, im Prinzip nur geringe Abweichungen von der *Ewing*'schen Originalkonstruktion, wenn man davon absieht, dass in der konstruktiven Durchführung den heutigen Anforderungen der Seismologie nach Möglichkeit Rechnung getragen ist.

<sup>1)</sup> Siehe *Ehler* l. c.

<sup>2)</sup> *C. Mainka*. Bifilar aufgehängtes Kegelpendel. Sonderabdruck aus der Zeitschrift „Der Mechaniker“ XV. Jahrgang, Nr. 11, 1907.

Schliesslich ist bei der Konstruktion von Seismometern auch auf das Trägheitsmoment Rücksicht zu nehmen. Überall dort, wo durch die Registrierungsmethode Widerstand überwunden werden muss, wie es bei der mechanischen ja der Fall ist, muss das Trägheitsmoment des Systems diesen Verhältnissen angepasst, also entsprechend gross gewählt werden. Bei der photographischen Registrierungsmethode aber, wo das System gar keine mechanische Arbeit zu leisten hat, kann mit kleinen Trägheitsmomenten operiert werden.

---

## Die Beschreibung des Seismometers.

Erwägungen der Art, wie sie im vorausgehenden Abschnitte zur Sprache gebracht sind, haben mich zu dem Versuche angeregt, ein Seismometer zu konstruieren, welches sich von diesen Fehlerquellen frei hält. Das in Tafel I abgebildete Pendel ist das Ergebnis meiner Versuche, und ich darf wohl behaupten, dass dieses Instrument nicht allein obiger Anforderung entspricht, sondern auch an Empfindlichkeit, leichter Bedienung und Raumersparnis den besten bekannten Seismometern ebenbürtig ist.

### Das Prinzip.

Das meinem Pendel zu grunde liegende Prinzip ergibt sich ohne weiteres aus der Abbildung (Taf. I). Die am Stativkopfe unifilar, mittelst eines Stahldrahtes, aufgehängte Pendelmasse wird in ihrem Schwerpunkte von einer Stahlwelle tangiert, welche sich gegen ein Friktionslager anlegt. Die Neigung der Linie Schwerpunkt—Aufhängepunkt gegen die Vertikale ist eine sehr geringe und kann mittels zweier Fusschrauben reguliert werden. Im Schwerpunkte der Masse greift sowohl der nach vorne gerichtete Schreibhebel an, als auch die nach hinten, in geradliniger Fortsetzung des Schreibarms, durch eine Durchbohrung des Stativs geführte Dämpfungsvorrichtung. Die Anordnung sämtlicher Teile ist also eine symmetrische.

Durch diese Anordnung, welche sich in wesentlichen Zügen von den bisher üblichen Konstruktionen unterscheidet, werden folgende Verbesserungen erreicht:

1. Das Vorhandensein einer reellen Dreh- oder Schwingungsachse; sie wird gebildet durch die glasharte Stahlwelle, die sich in ein aus vier ebenfalls glasharten Stahlrädchen (mit  $\sim$  abgerundetem Umfange) bestehendes sogenanntes Friktionslager legt. Dadurch ist nicht allein eine Deformation vermieden, sondern auch jegliche Mangelhaftigkeit der Spitze in Form, Härte, Elastizität etc., sowie die ebenso bedenkliche Anwendung der Lamelle.

2. Bei dieser Konstruktion ist die schädliche Reibung in dem Hebelarm oder Pantographsystem gar nicht vorhanden, weil die erforderliche Vergrösserung der

Pendelschwingungen durch einen einzigen Hebel erreicht wird, dessen Drehachse zugleich Schwingungsachse des Pendels ist. Auf den ersten Blick möchte man glauben, dass infolgedessen der „Schreibarm“ eine gewaltige Länge haben müsste; dem ist aber in Wirklichkeit nicht so. Denn da die Vergrößerung durch den Quotient von Indikatorlänge und Abstand Drehachse und Schwerpunkt der Masse bestimmt ist und in unserem Fall (wie auch aus der beigegebenen Zeichnung ersichtlich) der Abstand zwischen Drehachse und Schwerpunkt der Masse sehr klein ist, nämlich gleich dem Durchmesser der Stahlwelle = 5 mm ist, so muss der Schreibarm bei einer 100fachen Vergrößerung 50 cm lang sein. Mit anderen Worten: bei einem Schreibarm von 50 cm Länge wird die Bewegung des Schwerpunktes der Masse am vorderen Ende des Schreibarmes 100mal vergrößert aufgezeichnet.

3. Die bei vielen Instrumenten anzutreffende falsche Anordnung der Dämpfung ist bei dieser Konstruktion ebenfalls beseitigt. Denn erstens ist der eigentliche Dämpferkörper mit der Masse fest verbunden, wodurch wiederum ein Gelenk vermieden werden konnte, und zweitens greift die Dämpfung am grossen Hebelarm an, ihre Wirksamkeit infolgedessen bedeutend erhöhend. Die Möglichkeit, die Dämpfung fast vollkommen auszuschalten, ist hier sehr leicht dadurch gegeben, dass man den eigentlichen Dämpferkasten einfach nach rückwärts zieht. Die ursprüngliche Dämpfung erhält man derart wieder, dass man den Dämpferkasten an den Anschlag über dem Dämpferkörper schiebt. Mit Hilfe einer Schraube hat man noch die Variation der Dämpfung in der Hand.

Nunmehr will ich zur detaillierten Beschreibung der einzelnen Teile des Instrumentes und derjenigen Gesichtspunkte übergehen, welche bei der Konstruktion und Montierung berücksichtigt werden müssen.

### Die Pendelmasse.

Bei genauer Durchsicht der Zeichnung erkennt man schon, dass verschiedene Teile des Instrumentes durch Guss herzustellen sind. Es wird sich daher empfehlen, zuvörderst die dazu nötigen Holzmodelle anzufertigen. Besondere Schwierigkeiten werden dieselben kaum bereiten; denn alle Modelle sind so geformt, dass deren Abguss in teiliger Form möglich ist.

Die Masse des Pendels hat ein Gewicht von 125 kg; dementsprechend sind auch die Abmessungen aller übrigen Bestandteile gewählt. Wie ersichtlich, besteht die Masse einmal aus 6 einzelnen Platten von 26 cm Durchmesser und einer Dicke von je 4,3 cm; dazu kommt ein Hauptkörper mit 2 zylindrischen Ansätzen, links und rechts, zur Aufnahme der Platten. Als Material für die Masse ist Gusseisen mit einem spezifischen Gewicht von 7,2 vorgesehen. Die Berechnung des Durchmessers und der Dicke einer Platte ist durchgeführt für den Fall, dass je 3 Platten zusammen einen Zylinder ergeben, dessen Durchmesser gleich der doppelten Höhe ist. Als Grundform für die Masse könnte man natürlich ebensogut 2 Prismen oder 2 Kugeln wählen.



Wir wollen nunmehr für die beiden Zylinder und den prismatischen Hauptkörper die Berechnung durchführen.

Bezeichnet man die beiden Zylinder mit  $C_1$  und  $C_2$ , das Gewicht des prismatischen Hauptkörpers mit  $R$ , so ergibt sich als Gewicht der stationären Masse allgemein:

$$125 \text{ kg} = C_1 + C_2 + R. \quad (\text{wo } C_1 \text{ gleich } C_2 \text{ ist.})$$

Um das Gewicht dieses Körpers zahlenmässig zu finden, muss man das Gewicht des eigentlichen Prismas berechnen. Die beiden zylindrischen Ansätze brauchen nicht extra berechnet zu werden, da ja die einzelnen Platten (infolgedessen auch die beiden Zylinder) eine genau so grosse Ausbohrung besitzen, wodurch der scheinbare Gewichtsunterschied wieder vollständig ausgeglichen wird. Es wäre viel zu umständlich zuerst die beiden zylindrischen Ansätze zu berechnen, um dann später bei der Berechnung der Zylinder diese Gewichte wieder in Abzug zu bringen. Das Gewicht des Prismas ergibt sich aus der bekannten Gleichung

$$G = V s,$$

worin  $G$  das Gewicht,  $V$  das Volumen und  $s$  das spezifische Gewicht des angewendeten Materials bedeutet. Das Volumen  $V$  des Prismas ist gegeben durch Höhe  $a \times$  Breite  $b \times$  Dicke  $c$  (Fig. 4), also

$$V = a \cdot b \cdot c.$$

Wenn  $a = 8 \text{ cm}$ ,  $b = 8 \text{ cm}$  und  $c = 2 \text{ cm}$  ist, so ergibt sich  $V = 3456 \text{ cm}^3$ , und das Gewicht des Prismas ist infolgedessen  $G = 3456 \times 7,2 = 24,883 \text{ kg}$ . Das eben ausgerechnete Gewicht des prismatischen Körpers wäre also von dem ganzen Gewicht der stationären Masse in Abzug zu bringen, damit man das Gewicht der beiden Zylinder bekommt. Auf diese Weise gewinnt man für beide Zylinder eine Masse von insgesamt  $100 \text{ kg}$ .

Die allgemeine Formel für das Gewicht eines Zylinders ist

$$G = \frac{r^2 \pi}{2} h \cdot s$$

worin  $r$  den Radius,  $h$  die Höhe des Cylinders und  $s$  das spezifische Gewicht des gewählten Materials (Gusseisen) bedeutet. Es ist aber gesagt worden, dass die Höhe eines Zylinders gleich dem halben Durchmesser sein soll, d. h.  $h = r$ . Andererseits haben wir aber zwei Zylinder vorgesehen, welche zusammen einen Zylinder ergeben, dessen Höhe gleich dem Durchmesser ist; ferner soll jeder einzelne Zylinder aus je drei Platten bestehen. Demgemäss bekämen wir also sechs Platten, deren jeder ein Sechstel des Gesamtgewichtes des Zylinders zukommt.

Das Gewicht des ganzen Zylinders ist  $G = \frac{r^2 \pi d \cdot s}{2}$ , das Gewicht einer Platte  $G = \frac{r^3 \pi \cdot s}{12}$

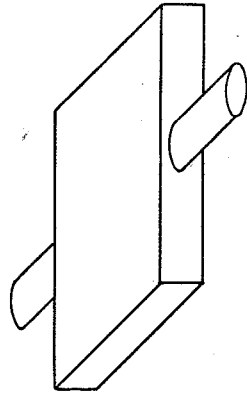


Fig. 4. Form des Prismas.

Um nun das Holzmodell für die Masse herstellen zu können braucht man den Durchmesser der Platte, und es ist klar, dass man aus dem Durchmesser durch eine Division mit 6 die Dicke erhält; also  $D = 26$  cm, und die Dicke einer Platte 4,33 cm.

Die Dimensionen der anderen durch Giessen herzustellenden Teile sind reichlich (zum Teil 5 mal) grösser gewählt als die Berechnung ergibt; dadurch soll ein Vibrieren der beanspruchten Elemente möglichst vermieden werden. Im allgemeinen gilt ja der Grundsatz, dass ein Körper umsoweniger leicht in Schwingungen gerät, je unsymmetrischer und um so schwerer er ist; selbstverständlich spielt dabei auch das Material eine bedeutende Rolle.

### Die Stahlwelle.

Die Stahlwelle ist so angebracht, dass sie selbst mit ihrem Umfange Tangente an den Schwerpunkt ist. Da nun einestheils der prismatische Hauptkörper in bezug auf die Schwingungsachse des Pendels unsymmetrisch gelagert und andererseits die Dämpfung nach rückwärts montiert ist, so ist ein Gewichtsausgleich erforderlich, der den Schwerpunkt auf die richtige Stelle bringt, d. h. so, dass die Stahlwelle Tangente an den Schwerpunkt wird. Zu diesem Zwecke ist auf der Stange, die den Dämpferflügel trägt, ein verschiebbares Laufgewicht angebracht, welches den Ausgleich möglich macht.

Hat man den prismatischen Hauptkörper eingebracht, so muss man links und rechts die drei Platten auf die zylindrischen Ansätze bringen. Die Befestigung geschieht durch zwei Schrauben. Sobald die ganze Masse in angegebener Weise „hängt“, schraubt man den Schreibarm ein und lässt das Pendel schwingen. Im Falle dass das Pendel die Nullage nicht einnehmen will, drehe man die vorderen Fusschrauben etwa 3—4 Gänge heraus, so dass sich das ganze Gestell nach vorne neigt; alsdann wird sich die Nullage viel leichter einstellen. Tritt jedoch weiterhin der Fall ein, dass die Masse, oder besser gesagt die Stahlwelle, nicht auf den Friktionsrädchen ruht, also freihängt, so muss man am Kopfe des Gestells mit Hilfe der in der Pendelebene stehenden Schrauben „a“ den oberen Aufhängepunkt in der Richtung der Pendelebene nach hinten verlegen, worauf dann die Masse mit der Stahlwelle anliegen wird. Es ist selbstverständlich, dass, je weiter der obere Aufhängungspunkt nach hinten liegt, desto grösser auch der Druck auf dem Friktionslager sein wird, und umgekehrt. Es kann der Fall eintreten, wo die Masse ganz frei hängt, d. h. der obere Aufhängepunkt und der Schwerpunkt der Masse in der vertikalen liegen; in dieser Stellung der Pendelachse wird die Periode unendlich sein.

### Das Friktionslager.

Die vorbesprochene Stahlwelle ist nun nicht mit ihren Enden zapfenförmig in ein lochförmiges Lager eingesetzt, sondern ruht auf zwei Paar beweglichen Rädchen

derart, wie es Fig. 5 vor Augen führt. Ein solches Lager bezeichnet man bekanntlich als Friktionslager. *Bach*<sup>1)</sup> gibt diesem Lager folgende Definition: „Ein Rollenlager entsteht dann, wenn der eine von zwei gegeneinander sich pressenden Körpern durch dazwischen gelegte Rollen, in Form von Zylindern, Kugeln oder auch Kegeln, gestützt wird, derart, dass die Rollen bei Verschiebung des einen Körpers gegen den andern eine wälzende Bewegung (beiden Körpern gegenüber) vollführen“. Um die Reibung der Rollen zu vermindern, soll man, wie Versuche dartaten, die Berührung nur auf etwa  $\frac{2}{3} \pi s$  sich erstrecken lassen. Je grösser die Rädchen im Vergleich zur Welle sind, desto kleiner wird die Reibung. Zur Verminderung der Deformation der Rädchen ist bei der Herstellung der Rädchen folgendes zu beachten: Sie sollen glashart gehärtet, sodann geschliffen und poliert werden; unter einem Vergrößerungsglase sollen sie sich weiter vollständig frei von kleinen Flecken und Löchern zeigen. Versuche über die Reibung sind namentlich von Coulomb, Morin, Brix u. a. angestellt worden. Die Ergebnisse Coulomb's kann man in folgendem zusammenfassen: a) die Reibung ist dem Drucke proportional, mit welchem die Flächen, welche aufeinander gleiten, aneinander gedrückt werden, b) die Reibung ist unabhängig von den reibenden Flächen, c) die Reibung ist unabhängig von der Geschwindigkeit der bewegten Flächen. Bei der wälzenden Reibung fand er, dass die reibende Kraft  $P$  dem Drucke  $Q$  proportional und dem Radius  $r$  der Walze umgekehrt proportional ist, also

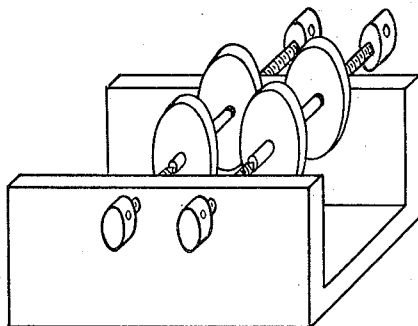


Fig. 5. Friktionslager.

$$P = \varphi \frac{Q}{r}$$
 wo  $\varphi$  der Koeffizient der rollenden Reibung ist, und die Versuche ergaben, dass der Koeffizient der rollenden Reibung unabhängig von den Geschwindigkeiten der Bewegung ist.

### Der Aufhängedraht.

Die Pendelmasse ist, wie bereits gesagt, mittels eines Drahtes unifilar am Stativkopf aufgehängt. Über die zweckmässigste Art und Weise der Aufhängung wäre folgendes zu sagen.

Die Befestigung des Aufhängedrahtes erfolgt mittelst zweier Schrauben, welche diametral versetzt sind. Man achte aber darauf, dass man die Schraubenlöcher nicht nur bis auf die Mitte, d. h. die Drahtachse, bohrt, sondern noch tiefer, sodass die Schrauben beim Einziehen des Drahtes denselben in diese Vertiefung zu drücken suchen. Dabei wird die Form des Drahtes so  $\curvearrowright \downarrow$  werden. Diese Art der

<sup>1)</sup> Prof. *Bach*. Maschinen-Elemente. 7. Aufl. Stuttgart.

Befestigung ist nicht allein sehr leicht zu bauen, sondern hat sich auch in der Praxis stets sehr gut bewährt. Um das freie Feld des Drahtes genau abzugrenzen, schlitzt man die Drahtklemme diametral, sodass man zwei Backen erhält, welche man durch einen konzentrischen Ring zusammenzieht. In die beiden Drahtklemmen ist je ein kleines Loch gebohrt, welches ersehen lässt, dass der Draht wirklich durch die ganze Klemme gezogen ist und gleichzeitig zur Kontrolle dient, ob die Klemmen den Draht nicht nachgelassen haben.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Wahl des Materials für den Aufhänge-draht. Wir werden zweckmässig Stahldraht von grosser Bruchfestigkeit wählen, weil wir uns alsdann mit kleiner Drahtstärke begnügen können und infolgedessen bei Torsion des Drahtes die Reibung sehr gering bleibt.

Der Durchmesser eines auf Zug beanspruchten Drahtes ist durch folgende Formel gegeben:

$$d = \sqrt{\frac{4 P}{\pi z}}$$

Hierin ist  $d$  = Durchmesser des Drahtes,  $P$  = am Draht wirkende Gewicht in kg und  $z$  = zulässige Belastung pro  $\text{mm}^2$  (Flächeneinheit). In unserem Falle wäre die Belastung 125 kg, demnach der aus der Formel berechnete Durchmesser 1,2 mm, für eine Drahtsorte, bei welcher die zulässige Belastung pro Flächeneinheit 120 kg ist.

Es kommt sehr oft vor, dass die zulässige Belastung für eine Drahtsorte unbekannt ist; man kann sich alsdann so helfen, dass man zunächst die Bruchbelastung bestimmt und erst dann daraus die zulässige Belastung nach der Formel

$$K = \frac{4}{5} z$$

berechnet, worin  $z$  = zulässige Belastung,  $K$  = Bruchbelastung, d. h. diejenige Belastung, die nötig ist, um den Draht zu zerreißen oder, besser gesagt, um „Bruch“ herbeizuführen.

### Die Regulierung der Empfindlichkeit.

Selbstverständlich müssen Vorkehrungen getroffen werden, um die Empfindlichkeit des Pendels, innerhalb gewisser Grenzen, mit den Sonderzwecken in Einklang zu bringen, welchem das Pendel dienen soll. Wie später, bei der Konstantenbestimmung, noch eingehend dargetan wird, hängt die Empfindlichkeit des Pendels nicht allein von der Reibung ab, sondern in allererster Linie von seinen Eigenperioden.

Die Reibung der Pendelmasse wird, wie Seite 5 gezeigt wurde, mittelst der am Kopfe des Stativs angebrachten Kopfschrauben reguliert, welche die Masse mehr oder minder stark gegen das Friktionslager andrücken.

Zur Regulierung der Eigenperiode dienen zwei Fusschrauben in Verbindung mit einem festen Dorn, auf welchem die das Pendelstativ tragende Fussplatte steht. Bekanntlich ist die Eigenperiode des Pendels abhängig von dem Winkel, welchen

die Verbindungslinie Massenschwerpunkt—Aufhängepunkt mit der vertikalen einschliesst. In dem Fall, dass diese beiden gedachten Linien zusammenfallen, bzw. parallel sind, ist das Pendel aperiodisch. In allen anderen Fällen wird das Pendel eine bestimmte Periode annehmen, welche umso kleiner ist, je grösser der Winkel zwischen den beiden erwähnten Linien wird. Der Aufhängungsdraht hat nur den Zweck, die Masse in der durch die Länge des Drahtes bestimmten Höhe zu halten. Ferner dienen die Fusschrauben noch dazu, die Nullage des Pendels zu verändern.

### Das Registrierwerk.

Aus der Abbildung des Registrierwerkes (Taf. II) erkennt man, dass dasselbe noch besonders den Verhältnissen angepasst werden musste. Denn da der Abstand zwischen dem Boden, auf dem das Pendel steht, und der Schreibspitze klein ist, musste man auch ein entsprechendes Registrierwerk konstruieren.

Als zweckmässigste Form ergab sich eine Trommel von 15 cm Durchmesser, dem ein Umfang von 47 cm entspricht. Die Breite der Trommel ergibt sich aus folgender Betrachtung: Verlangt wird eine Umlaufgeschwindigkeit der Trommel von 18 mm pro Minute; für eine Stunde wäre dies also 1080 mm. Soll das Registrierwerk 27 Stunden laufen, so ergibt dies 28360 mm durchlaufene Linie. Da die Registriertrommel nur Rotation ausführt und die geschriebene Linie von 2836 mm Länge also scheinbar darauf abwickelt, so muss auch gleichzeitig dafür Sorge getragen werden, dass die Trommel während der Rotation seitliche Bewegung macht, d. h. ausser Rotation muss auch Translation vorhanden sein. Es kommt also darauf an zu bestimmen, wie oft sich die Trommel drehen muss, um eine Linie von 28360 mm Länge zu erzeugen. Da die Trommel einen Umfang von 470 mm hat, so muss naturgemäss die Zahl der Drehungen der Trommel ungefähr 64 sein in 27 Stunden. Die Breite der Trommel erhalten wir also, wenn wir den Betrag der Umdrehungen in 27 Stunden mit der Translation multiplizieren, allerdings muss dazu noch 1—2 cm addiert werden, damit auf dem Seismogramm links und rechts ein mindestens fingerbreiter Raum frei bleibt. Um ein leicht übersichtliches und gut lesbares Seismogramm zu erzielen, ist eine Translation von mindestens 3,5 mm nötig. In unserem Falle also würde sich dann die Breite der Trommel zu mindestens  $64 \times 3,5 = 224$  mm ergeben müssen; unter Berücksichtigung des freien Raumes links und rechts ergäbe sich als endgültige Trommelbreite 24 cm.

Der Antrieb der Registriertrommel erfolgt durch ein Uhrwerk mit Gewichtsantrieb und dauerndem Ablauf. Als Hemmung ist ein Windfang vorgesehen, welcher ausserdem eine bequeme Änderung der Registriergeschwindigkeit gestattet, indem man lediglich die Stellung der beiden Windfangflügel gegen die Bewegungsrichtung variiert. Die früher erwähnte Registriergeschwindigkeit von 18 mm ist die maximal erreichbare; nach unten kann man mit der Geschwindigkeit bis auf 8 mm gehen. Eine Registriergeschwindigkeit von 18 mm pro Stunde ist so ziemlich die obere Grenze, welche deshalb nicht überschritten werden sollte, weil bei weiterer Ver-


grösserung der Geschwindigkeit die Lesbarkeit der Seismogramme durch zu starkes Auseinanderzerren beeinträchtigt wird. Allerdings behält man dann beiderseits am Seismogramm einen viel breiteren freien Raum. Die Genauigkeit eines Registrierwerkes hängt hauptsächlich von der guten Beschaffenheit der Zähne der Uherrädchen ab; bei minderwertiger Zahnung nützt auch die beste Hemmung nichts. Deshalb wurde auch Windfanghemmung gewählt. Wenn die Verhältnisse so liegen, dass man annehmen kann, der Widerstand der zu treibenden Trommel, die Reibung der Räder und Triebe wie auch die hemmende Kraft des Windfanges sei annähernd konstant, dann ist diese Konstruktion ohne weitere Bedenken anwendbar.

Die Translation bei diesem Registrierwerk ist eine zwangsläufige und wird durch eine flachgängige Schraube von 3,5 mm Ganghöhe dadurch hervorgebracht, dass eine mit dem Gestell des Registrierwerks verbundene Nase in die Gewindgänge eingreift. Die Nase darf aber nicht bis auf den Grund der Flachgänge greifen, vielmehr soll nur Flankenreibung zwischen der Nase und den Flachgewinden auftreten. Von einer Variierung der Translation, welche technisch möglich ist, glaube ich absehen zu sollen.

Die Zeitmarkierung erfolgt in bekannter Weise, wie bei den meisten Seismographen, indem alle Minuten die Schreibfeder für die Dauer von 2—3 Sekunden hochgehoben wird. Ein kleiner Elektromagnet wird dabei alle Minuten für die Dauer des Kontaktes erregt und zieht einen beweglichen Anker an. Dieser wieder veranlasst dadurch die Bewegung eines einarmigen Hebels, welcher einen unter die Schreibfeder greifenden Bügel trägt; auf diese Weise wird die Schreibfeder vom Registrierpapier abgehoben. Die Wirkung des Elektromagneten ist also nicht eine direkte auf die Schreibfeder, sondern eine indirekte durch ein Zwischenglied und zwar aus dem Grunde, weil die Bewegung des Ankers bei Erregung des Elektromagneten eine viel zu heftige wäre.

### Die Schreibfeder.

Der „Schreibarm“ des Seismometers ist, wie aus der Zeichnung ersichtlich, ein Rohr, dessen Länge inkl. Schreibfeder 50 cm beträgt. Die Befestigung des Rohres an dem prismatischen Hauptkörper geschieht durch Verschraubung. Sollte sich herausstellen, dass das Rohr vibriert, d. h. Schwingungen bei mässigen Anschlägen oder gar während eines Bebens vollführt, so wird es gut sein, in bestimmten Abständen kleine zylindrische Stücke von 1—2 cm Länge in dem Rohr selbst einzulöten; dadurch entstehen dann sogenannte Knotenstellen, wodurch sich die Stabilität des Rohres bedeutend erhöht.

Die Anordnung der Schreibfeder ist folgende: Am vorderen Ende des Schreibarmes ist eine  Gabel angeschraubt, welche gestattet, die Schreibfeder zwischen Spitzen zu lagern; dadurch ist einesteils eine leichte Beweglichkeit gewährleistet und andererseits ein Herausfallen der Schreibfeder unmöglich gemacht. Den Druck

der Schreibfeder auf das Registrierpapier zu variieren ermöglicht ein Gegengewicht, ähnlich demjenigen bei den übrigen Instrumenten.

Für die Lagerung der Schreibfeder wurde diejenige der Spitzen gewählt. Dadurch wird erreicht, dass die Schreibfeder bei vorstehenden Papierfasern oder bei heftigen Erdstößen vom Registrierbogen nicht abgeworfen wird. Bei Spitzenlagerung ist die Leichtbeweglichkeit der Schreibfeder in ihrem Lager noch hinreichend vorhanden, ja es erweckt den Anschein, dass dadurch noch das so häufige Auf- und Abvibriertwerden gemildert wird, welches sich bei kurzperiodischen künstlichen Störungen unangenehm bemerkbar macht. Das Aufschreiben der Pendelschwingungen geschieht vermittelt eines etwa 1,5—2 mm langen am vordersten Ende der Schreibfeder befestigten Glasstiftchens von 0,05 mm Dicke. In Ermangelung von Glas kann man auch Metalldraht von Bronze, Platin oder Messing verwenden. Die Wahl dieses Stiftes ist weniger wichtig; viel notwendiger ist es darauf zu achten, dass die Feder nicht zu stark auf das Registrierpapier drückt. Eine Vorstellung von dem durch die Schreibfeder auf das Registrierpapier ausgeübten Druck erhält man dadurch, dass schon ein Druck von 0,005 g genügt, um auf dem berussten Papier noch gut sichtbare Eindrücke oder Kurven zu hinterlassen.

### Die Goldschmittsche Registriermethode.

Trotzdem der von der Schreibfeder auf das Registrierpapier ausgeübte Druck sehr klein ist, vermag doch die dadurch bedingte Reibung die Registrierung ungünstig zu beeinflussen, eine dem Praktiker gar wohlbekannte Erscheinung. Die Möglichkeit, diese Fehlerquelle zu umgehen, bietet die photographische Registriermethode, welcher aber neben der Kostspieligkeit noch andere rein praktische Mängel anhaften. Es dürfte sich deshalb empfehlen auch in der Seismometrie die von Goldschmitt angegebene Registriermethode zur Anwendung zu bringen, welche Reibungslosigkeit mit anderen noch zu besprechenden Vorteilen verbindet.

Bei der Goldschmittschen Registriermethode tritt an die Stelle des berussten Papiers chemisch präpariertes z. B. mit Jodkalium behandeltes. Der haarscharfe Schreibstift wird durch eine kleine Spitze aus Platin ersetzt; ferner muss noch dafür gesorgt werden, dass zwischen dem Seismometer und dem Registrierwerk ein grosser Isolationswiderstand vorhanden ist. Nun bringt man das Pendel und Registrierwerk mit einem hohe elektrische Spannung erzeugenden Transformator in Verbindung, derart dass zwischen der Schreibfeder, die in diesem Falle nicht auf dem Papier zu schleifen braucht, und der Registriertrommel Funken überspringen, welche in dem dazwischen liegenden Papier kleine Löcher schlagen. Diese Registriervorrichtung bietet manche Vorteile. So kann man ein 4, 8 Tage oder noch länger gehendes Triebwerk benützen, denn es ist nicht zu befürchten, dass das Papier durch eventuelle Feuchtigkeit oder Temperaturschwankung verzerrt wird, wie dies bei berusstem Papier der Fall ist. Ferner lassen sich die so gewonnenen Seismogramme sehr schön auf photographischem Wege vervielfältigen. Der Vorteil, ein längere Zeit laufendes

Registrierwerk benützen zu können, wird da von ganz besonderem Wert sein, wo die örtlichen Verhältnisse eine tägliche Bedienung der Instrumente nicht zulassen. Allerdings ist man bei dieser Registriermethode an eine ausreichende Elektrizitätsquelle gebunden.

### Die elektromagnetische Fernregistrierung.

Wenn ich bei meinem Pendel in erster Linie die mechanische Registrierung berücksichtigt habe, so geschah dies lediglich aus dem Grunde, dass diese Art der Registrierung nach den heutigen Geflogenheiten noch die verbreitetste und beliebteste ist, wobei neben der Billigkeit auch die einfache Bedienung in die Wagschale fällt. Jedoch verschliesse ich mich deshalb keineswegs den mannigfachen Vorteilen, welche eine elektromagnetische Registrierung zu bieten vermag. Es ist bekanntlich das Verdienst von *B. Galitzin*, durch seine vergleichenden Studien nicht allein das Für und Wider der verschiedenen in der Seismometrie gebräuchlichen Registriermethoden kritisch geprüft und gegeneinander abgewogen zu haben; vielmehr hat er auch die elektromagnetische Registriermethode theoretisch und praktisch zu hoher Vollkommenheit gebracht. Seinen Ausführungen <sup>1)</sup> entnehme ich folgendes über die Vorteile einer solchen Methode:

1. Viel grössere Empfindlichkeit der Registrierung, wobei dieselbe mit den allereinfachsten Mitteln vergrössert oder verkleinert werden kann.
2. Abwesenheit irgend welcher Hebelvorrichtungen, welche bei einer bedeutenden Vergrösserung so umständlich und so stark dem Einfluss einer etwaigen Temperaturänderung ausgesetzt wird.
3. Möglichkeit, bei einer praktisch beliebig grossen Empfindlichkeit ganz leichte und verhältnismässig billige Seismographen anzuwenden.
4. Die elektromagnetische Registriermethode erfordert sehr wenig Platz, und da das Galvanometer sehr nahe bei der Registriertrommel aufgestellt werden kann, so erhält man auch bei grossen Amplituden der Schwingungen ganz stark ausgebildete und ungemein scharfe Kurven.
5. Möglichkeit der Aufstellung des registrierenden Teils eines Seismographen in einer fast beliebigen Entfernung von demselben und in einem ganz besonderen, trockenen und leicht zugänglichen Raum. Man braucht also den Raum, wo die eigentlichen Seismographen aufgestellt sind, gar nicht mehr zu betreten.
6. Unabhängigkeit der erhaltenen Seismogramme von der Nullage des entsprechenden Seismographen.

Infolgedessen möchte ich nicht verfehlen, auch für mein Pendel eine zweckmässige Art elektromagnetischer Fernregistrierung mitzuteilen, welche sich in der Hauptsache an das von *Goldschmitt* ausgearbeitete Verfahren anschliesst.

<sup>1)</sup> *B. Galitzin*. „Die elektromagnetische Registriermethode“. pag. 2 des S. A. aus den Nachrichten der Seismischen Kommission, Bd. III, Lief. 1. St. Petersburg 1907.



Bei der Fernregistrierung wäre statt der Schreibfeder ein Spulenpaar anzubringen mit vielen Windungen dünnen Kupferdrahtes. Gegenüber diesem beweglichen Spulenpaar befindet sich ein feststehendes Spulenpaar mit wenigen Windungen dickeren Drahtes. Beide Spulen besitzen einen Kern von gut geglühtem Holzkohleneisen. Die Anordnung aller vier Spulen ist so, dass sämtliche Eisenkerne in einer Achse stehen. Ferner befinden sich die beiden Spulen mit vielen Windungen dünnen Drahtes und auch die beiden andern in Hintereinanderschaltung. Die beiden Spulen mit wenigen Windungen dickeren Drahtes, d. h. = Erregerspulen werden von einem Wechselstrom durchflossen, welchen ein Transformator liefert, der, um den Strom konstant zu halten, von einer konstanten Elektrizitätsquelle gespeist wird. Der Abstand zwischen den beiden beweglichen Spulen respektive zwischen ihren Eisenkernen sei etwas grösser als der Maximalausschlag des Pendels, welcher noch gemessen werden soll. Die Einstellung der Erregerspulen erfolgt mittelst Schrauben und zwar derart, dass bei Parallelschaltung der beweglichen Spulen viele Windungen dünnen Drahtes — der Ausschlag des Galvanometers gleich Null ist. Dadurch, dass die Erregerspulen von einem konstanten Wechselstrom umflossen sind, wird in den beiden beweglichen Spulen ein konstanter Wechselstrom indiziert, sofern das Seismometer in Ruhe ist, damit sind selbstverständlich auch die beiden beweglichen Spulen in Ruhe. Sobald aber das Seismometer in Bewegung gerät, ändert sich sofort die Stärke des indizierten Stromes, und diese Stromänderungen werden mit Hilfe eines zum Messen von Wechselstrom dienenden Galvanometers gemessen. Man kann nun entweder photographische Registrierung der Galvanometerschwingen anwenden, oder man benützt die schon erwähnte Registrierungsart mit den elektrischen Funken. Im ersten Fall wird ein Spiegelgalvanometer, im zweiten dagegen ein Zeigergalvanometer verwendet.

### Die Dämpfung.

Dass ein zu exakten Messungen dienendes Seismometer mit einer zweckmässigen Dämpfungsvorrichtung versehen sein muss, ist so selbstverständlich, dass hier von einer Motivierung abgesehen werden kann, trotzdem manche Stationen unbegreiflicherweise nach wie vor noch ungedämpfte Pendel verwenden. Aus Gründen der Billigkeit habe ich mich vorerst für eine Luftdämpfung entschieden und eine solche von eigenartiger Form konstruiert, welche die Steigerung der Dämpfung fast bis zur Aperiodizität erlaubt; die Einstellung der Dämpfung auf eine beliebige Grösse lässt sich leicht und durch einfache Mittel erreichen.

Der die Dämpfung tragende Arm liegt in derselben Achse wie der Schreibarm, verläuft jedoch in entgegengesetzter Richtung; er ist also in rückwärtiger Verlängerung des Schreibarmes in die Pendelmasse hineingeschraubt. Daraus ergibt sich der für die Konstruktion wichtige Gesichtspunkt, dass der eigentliche Dämpferkörper nicht, wie bei allen anderen Instrumenten, möglichst leicht sein, sondern im Gegenteil aus tunlichst schwerem Metall, z. B. Messing oder Zink, hergestellt werden

muss. Denn die Dämpfermasse muss, allerdings eventuell unterstützt durch ein Laufgewicht, ihrerseits auch mit dazu beitragen, den durch Anbringung des Schreibarmes verschobenen Schwerpunkt der Pendelarme wieder in die Berührungsstelle von Stahlwelle und Hauptkörper der Masse zu verlegen. Als Dämpferkörper befestigt man am Dämpfungsstabe mittelst einer Schraube konzentrische Hohlprismen, welche alle einen gemeinsamen Deckel oder Boden haben. In diesen Dämpferflügel kann man ebenfalls einen aus 3 konzentrischen Hohlprismen bestehenden Dämpferkasten schieben, derart, dass immer ein bewegliches Hohlprisma mit einem festen abwechselt. Bei einer schwereren Pendelmasse muss man selbstverständlich entweder mehr Prismen zur Dämpfung verwenden oder aber den Zwischenraum zwischen den schwingenden und den festen Prismen verringern. Senkrecht zur Pendelebene ist der Zwischenraum zwischen beweglicher und fester Prismawand 1,5 mm; dagegen ist seitlich, wo das Pendel doch Platz zum Ausschwingen haben muss, der Zwischenraum so zu bemessen, dass das Pendel noch Ablenkungen der Schreibfeder von 80—100 mm ausführen kann. Um den richtigen symmetrischen Abstand der festen Prismen zwischen den beweglichen genau zu erhalten, kann man den Dämpferkasten auf einer senkrechten Säule verstellen und auch mit einer Druckschraube festlegen. Die Änderung der Dämpfung erreicht man dadurch, dass man entweder den festen Kasten tiefer oder weniger tief in den beweglichen „Flügel“ hineinschiebt. Will man jedoch die Dämpfung vollständig ausschalten, dann braucht man lediglich den festen Kasten ganz zurückzuziehen, sodass er gar nicht mehr in den Flügel hineintaucht. Ein früher verwendetes Dämpfungsverhältnis lässt sich mit Leichtigkeit wieder herstellen, indem man den Dämpferkasten wieder über den beweglichen Flügel schiebt, bis er gegen den vor dem Ausschalten eingestellten Anschlag stösst. Eine seitlich angebrachte Schraube gestattet, den Dämpferkasten in dieser Stellung festzulegen. Um diese Bewegungen zu regulieren, sowie Aus- und Einschalten der Dämpfung ohne weiteres vornehmen zu können, ist der Dämpferkasten auf einem Schlitten befestigt, welcher sich auf einer Schwalbenschwanzgeradföhrung verschieben lässt.

Wenngleich die Luftdämpfung im allgemeinen ihren Zweck erfüllen wird, so will ich doch kurz angeben, auf welche Weise an meinem Pendel in ganz einfacher Weise eine magnetische Dämpfung, wie sie *B. Galitzin*<sup>1)</sup> vorschlägt, angebracht werden kann. Allerdings ist eine solche Art der Dämpfung nicht allein recht kostspielig, sondern auch nur dort anwendbar, wo konstante Elektrizitätsmengen in Form von Gleichstrom vorhanden sind. Permanent-magnetische Dämpfung dürfte kaum anzuraten sein, weil das erforderliche magnetische Feld nur mit Hilfe grosser, zusammengesetzter, sogenannter Blättermagnete erreicht wird. Im Falle, dass man elektromagnetische Dämpfung anwenden will, ersetzt man den für die Luftdämpfung nötigen Dämpferflügel durch eine ungefähr 25 qcm und 8 mm breite Kupferplatte, die sich sehr eng zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagneten hindurchbewegt. Die Variation der Dämpfung geschieht entweder durch die Änderung des

<sup>1)</sup> *B. Galitzin*. „Über die magnetische Dämpfung von Horizontalpendeln.“ pag. 673—686 des Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Petersbourg. St. Pétersbourg 1908.

Abstandes zwischen Polschuhe und Kupferplatte, oder aber durch Änderung der Stromstärke im Elektromagnet. Es ist erforderlich eine ziemlich konstante Temperatur beizubehalten, weil die Temperaturschwankung in den Spulen auch gleichzeitig in der Stromstärke eine Änderung hervorruft, infolgedessen wieder Stärke des magnetischen Feldes und damit selbstverständlich auch die Dämpfung verändert.

### Die Konstantenbestimmung.

Bezüglich der Konstantenbestimmung und der darauf basierenden Analyse der Seismogramme kann ich mich an dieser Stelle im allgemeinen kurz fassen. Hat doch *E. Wiechert*<sup>1)</sup> die Theorie dieser Methoden entwickelt und unter Bezugnahme auf sein Instrument die Praxis derselben erläutert; eine kurz gefasste Anleitung zur Konstantenbestimmung hat auch *A. Sieberg*<sup>2)</sup> gegeben. Infolgedessen werde ich mich auf das notwendigste beschränken und nur diejenigen Punkte eingehend behandeln, welche durch die Bauart meines Pendels eine spezielle Behandlung erheischen.

Die Empfindlichkeit hängt in erster Linie von der Schwingungsdauer  $T$  der verwendeten Pendel ab, dann von der Reibung des Systems und von der Vergrößerung des Pendels. Die Eigenperiode wird bei ausgeschalteter Dämpfung gewöhnlich auf 12—15 Sekunden gebracht, was einem gewöhnlichen Pendel mit einer Länge von 36 bis ca. 45 m entspricht.

Bezeichnet man mit  $I$  die äquivalente Länge des Indikators = derjenigen des Schreibarm und mit  $V$  die Indikatorvergrößerung, d. h. die Vergrößerung sehr schneller Erschütterungen, so bestehen folgende Beziehungen:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \equiv 2 \sqrt{L} \text{ in Metern, wo } L = \frac{I}{V}$$

Bei periodischen Schwingungen des Erdbodens vollzieht sich die Vergrößerung der Amplitude der Bodenbewegung im Diagramm nach der Formel

$$\mathfrak{B} = V: \sqrt{\left(1 - \frac{T_0^2}{T^2}\right)^2 + 4 \left(\frac{T}{2\pi\tau}\right)^2 \left(\frac{T_0^2}{T}\right)^2}$$

Darin bedeutet  $T_0$  die Störungsperiode und  $\tau$  die Relaxionszeit; für letztere besteht die Beziehung

$$\frac{\mathfrak{L}}{2\tau} = \log \text{ nat } \varepsilon$$

wo  $\mathfrak{L}$  die wirkliche Schwingungsperiode bei eingeschalteter Dämpfung ist. Hieraus ergibt sich wiederum

$$T = \mathfrak{L}: \sqrt{1 + \left(\frac{\mathfrak{L}}{2\pi\tau}\right)^2}$$

<sup>1)</sup> *E. Wiechert*. „Theorie der automatischen Seismographen“. Abhandlungen d. Gött. Gesell. d. W., math-phys. Kl. N. F. Bd. 2, No. 1, Berlin 1903 u. „Prinzipien für die Beurteilung der Wirksamkeit von Seismographen.“ *Gerlands* Beiträge zur Geophysik, Bd. 4, 1903.

<sup>2)</sup> *A. Sieberg*. „Methoden der Erdbebenforschung.“ Kapitel 35 von *K. Keilhack*: „Lehrbuch der praktischen Geologie.“ 2. Auflage. Stuttgart 1908.

Bezüglich der Wahl der Vergrößerung hat man sich danach zu richten, ob das Instrument zur Registrierung von Nah- oder Fernbeben dienen soll, weil man sich bei Nahbeben mit einer 10—25fachen Vergrößerung begnügen wird, während für Fernbeben eine mindestens 100fache erforderlich ist. Unter der (Indikator-) Vergrößerung versteht man ja allgemein diejenige Zahl, welche angibt, wieviel mal vergrößert die Ablenkung des Schwerpunktes der stationären Masse von der Ruhelage durch die Schreibfeder zur Aufzeichnung gelangt. Für die Bestimmung der Vergrößerung stehen uns, je nach den Umständen, verschiedene Methoden zur Verfügung.

Der einfachste Weg ist derjenige, dass man den Abstand von der Drehachse des Pendels bis zur Spitze der Schreibfeder misst. Dieser Abstand werde mit  $a$  mm bezeichnet. Dividiert man diese Zahl durch den Abstand  $b$  = Drehachse — Schwerpunkt der Masse, so ist  $\frac{a}{b}$  die gesuchte Vergrößerung. Bei meinem Pendel lässt sich der Abstand Schwerpunkt—Drehachse sehr leicht ermitteln; denn beim Bau des Seismometers muss ja, wie wir sahen, darauf geachtet werden, dass die Stahlwelle die Tangente an dem Schwerpunkt ist. Infolgedessen ist der Abstand Drehachse—Schwerpunkt gleich dem Radius der Stahlwelle. Es sei hier bemerkt, dass man als Drehachse des Pendels die symmetrische Achse der Stahlwelle zu betrachten hat. Die in dieser Weise gefundene Vergrößerung ist in der Wirklichkeit infolge der Reibung im System mitunter bis zu 20 % zu gross.

Zur Bestimmung des wahren Wertes der Schwerpunktablenkung bedient man sich eines einfachen Hilfsmittels. Denken wir uns einen Hohlspiegel mit der Masse fest verbunden, dessen Ebene Tangente an der Drehachse des Pendels ist, und vor dem Pendel, je nach dem verfügbaren Raum, eine Millimeterskala so aufgestellt, dass das Licht von einer dicht neben der Skala stehenden Lichtquelle vom Spiegel auf die Skala reflektiert wird. Die Lampe trägt einen feinen Spalt, welcher Licht austreten lässt, genau so wie es bei der photographischen Registriermethode der Fall ist. Es gelangt also auf den Spiegel nur eine Lichtlinie, infolgedessen auch auf die Skala nur eine Lichtlinie reflektiert wird. Selbstverständlich muss die Entfernung Lampe—Spiegel—Skala der Brennweite des Hohlspiegels entsprechen. Lenkt man nun die Masse ab, etwa dadurch, dass man senkrecht zur Pendelebene eine geringe Kraft wirken lässt, so wird dadurch auch die Lichtlinie aus ihrer früheren Nulllage abgelenkt und auf der Skala verschoben. Die auf der Skala abgelesene Ablenkung werde mit  $n$  bezeichnet. Der Betrag der Schwerpunktverlagerung wird ausgedrückt durch die Gleichung:

$$\frac{(\text{Abweichung der Lichtlinie auf der Skala}) \times (\text{Abstand Drehachse—Schwerpunkt})}{(\text{Abstand Skala—Drehachse})}$$

Bei dieser ganzen Bestimmung hat die Schreibfeder des Pendels geschrieben; die Ablenkung der Schreibfeder, in mm ausgedrückt, sei =  $b$ . Alsdann muss man diesen Wert  $b$  durch den Wert der Schwerpunktverlagerung dividieren, um die Vergrößerung zu erhalten. Diese Methode setzt allerdings voraus, dass sich der Raum, wo die

Bestimmungen stattfinden, verdunkeln lässt; eventuell kann die Bestimmung abends, nach Eintritt der Dunkelheit, vorgenommen werden.

Eine bedeutend genauere Methode zur Bestimmung der Vergrößerung bietet die Spiegelablesung von Gauss-Weber; diese hat ausserdem noch gegenüber der vorher besprochenen den grossen Vorteil, dass der Raum nicht verdunkelt zu werden braucht. In diesem Falle bedarf man eines Ablesefernrohres und einer Skala, welche gewöhnlich dicht unter oder dicht über dem Fernrohr angebracht wird. Mit der stationären Masse ist, genau so wie vorher, ein Spiegel fest verbunden; in diesem Falle genügt ein Planspiegel. In dem vom Spiegel in das Fernrohr geworfenen Bild der Skala muss sich ein Teilstrich mit dem senkrechten Faden des im Fernrohr angebrachten Fadenkreuzes decken. Alsdann wird die Masse etwas abgelenkt und die Verschiebung des reflektierten Skalenbildes am Fadenkreuz gemessen. Beträgt die Ablenkung  $n$  Skalenteile, dann ist die

$$\text{Schwerpunktverlagerung} = \frac{n \times (\text{Abstand Drehachse—Schwerpunkt})}{(\text{Drehachse—Skala})}$$

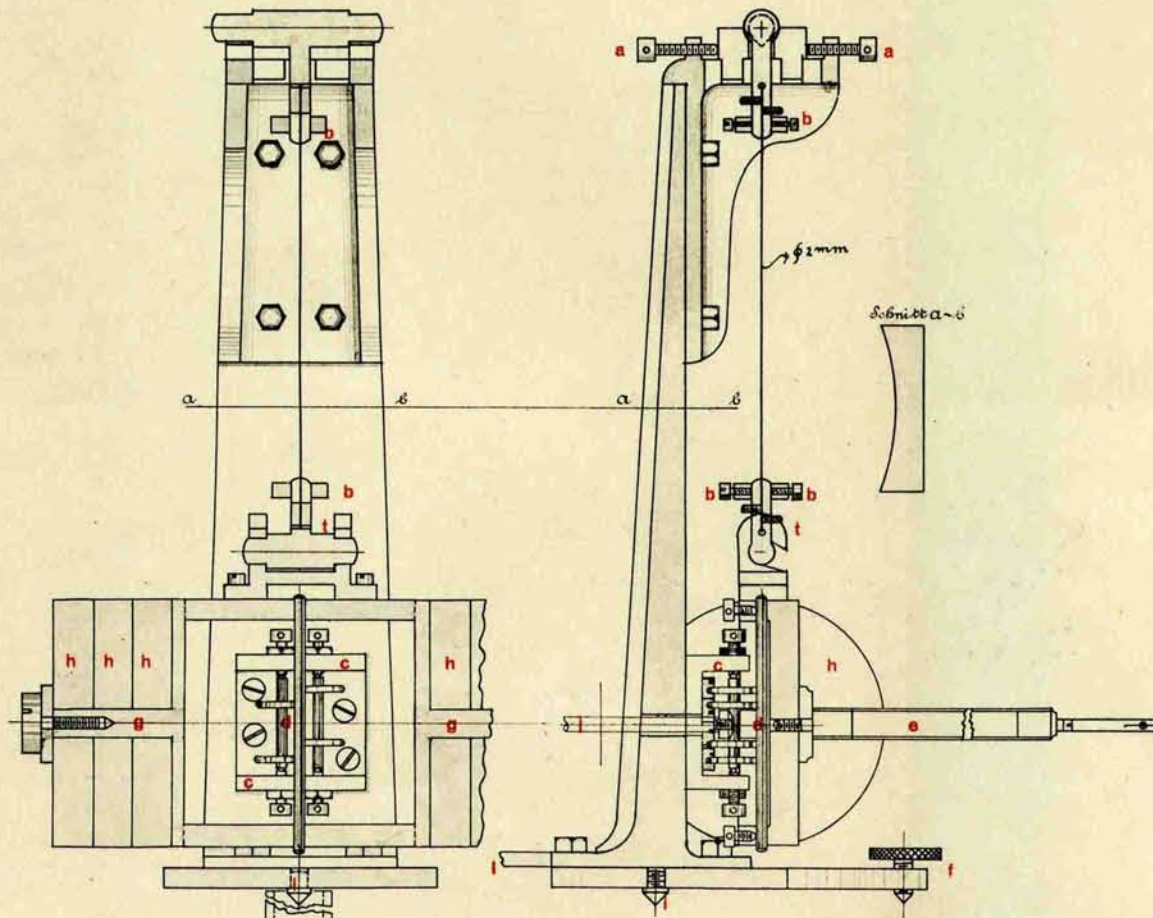
Mit diesem Quotienten muss man den registrierten Betrag der Ablenkung dividieren, welche die Schreibfeder erlitten hat, um die Vergrößerung zu erhalten.



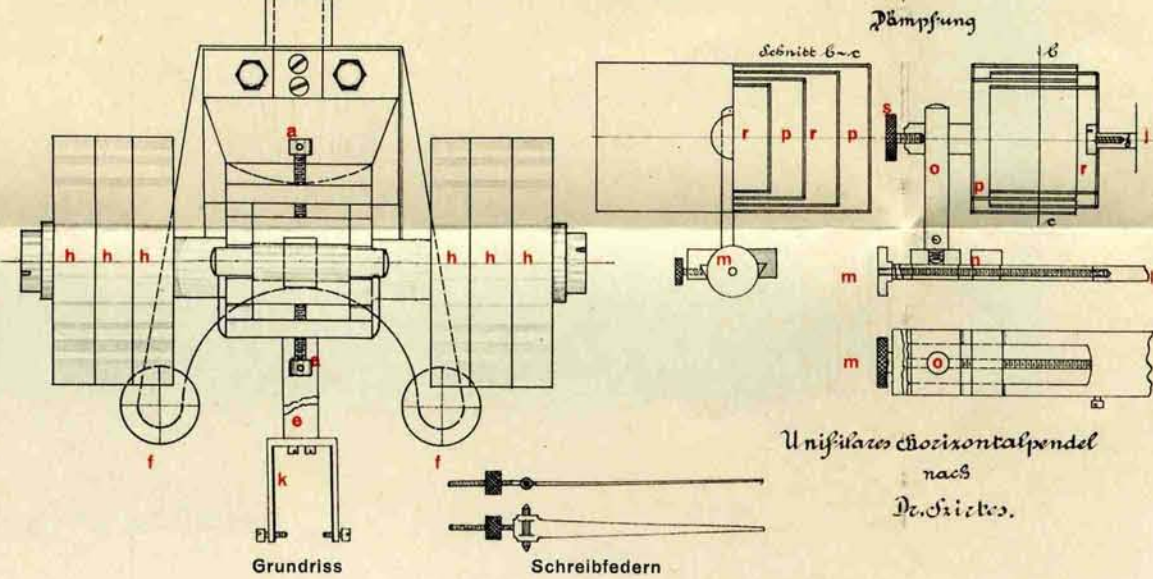
# Pendel

Vorderansicht

Seitenansicht



- a = Schraube zum Ändern des Druckes auf das Friktionslager.
- b = Drahtklemme.
- c = Friktionslager.
- d = Stahlwelle.
- e = Schreibarm.
- f = Fußschraube.
- g = Cylindrische Ansätze d. Massenhauptkörpers.
- h = Cylinderplatten der Masse.
- i = Fester Dorn.
- j = Arm des Dämpferkörpers.
- k = Gabel für die Schreibfeder.
- l = Prismatische Geradföhrung.
- m = Regulierschraube zur Variierung d. Dämpfung.
- n = Anschlag.
- o = Senkrechte Säule.
- p = Feste Dämpferkörper.
- r = Bewegliche „
- s = Befestigungsschraube.
- t = Haken.



Uniformes Horizontalpendel  
nach  
Dr. Sietes.

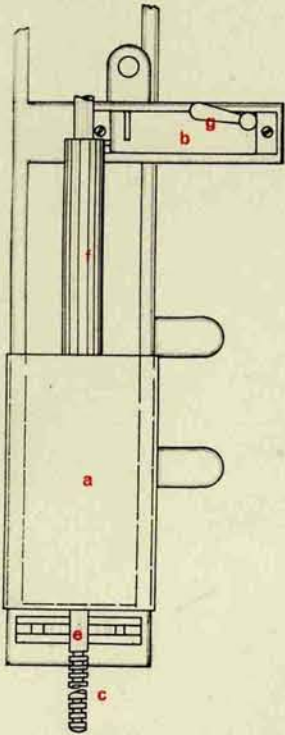
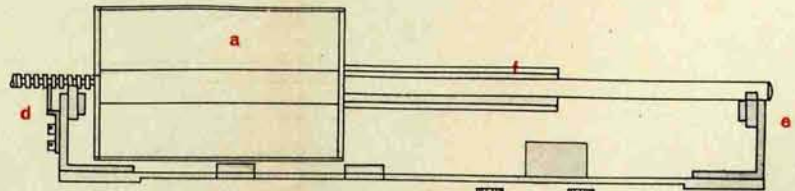
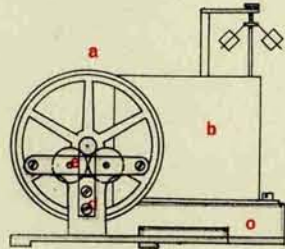
Maßstab: 1:6

# Registrierwerk

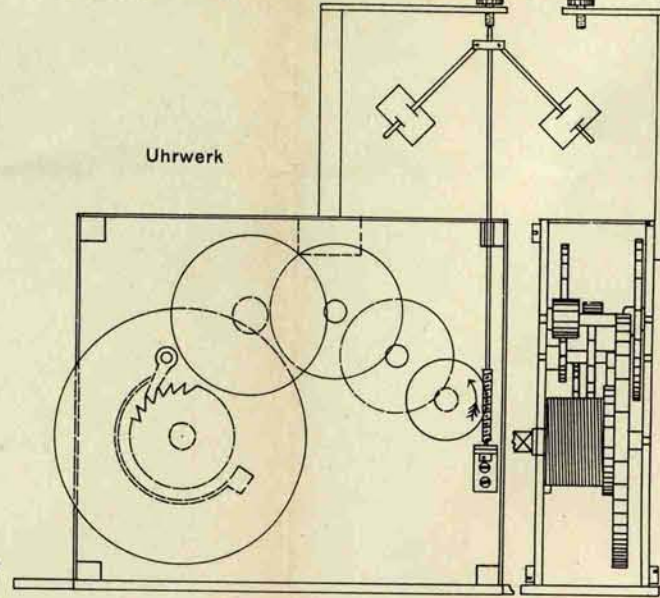
Seitenansicht

Vorderansicht

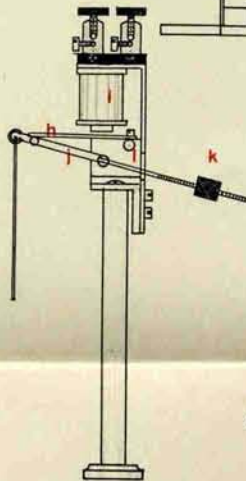
- a = Registriertrommel.
- b = Uhrwerk.
- c = Flachgängiges Gewinde für Translation.
- d = Nase, welche in das Gewinde eingreift.
- e = Friktionslager.
- f = Trieb.
- g = Hemmung.
- h = Anker.
- i = Elektromagnet.
- j = Hebel zum Hochheben der Schreibfedern.
- k = Gegengewicht.
- l = Axe des Ankers.
- m = Axe des Hebels.
- o = Postament für das Uhrwerk.



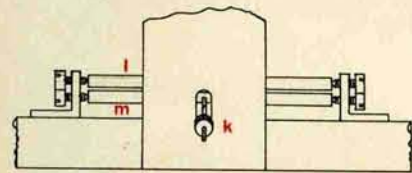
Grundriß



Uhrwerk



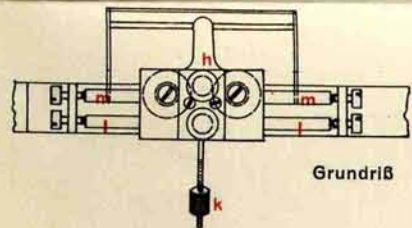
Seitenansicht



Vorderansicht



Elektromagnet



Grundriß

Unterbrechungsvorrichtung.