

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.

EINE NEUE
SEISMISCHE UNTERSUCHUNGS-
PLATTE.

TEIL I.

VON

DR. C. MAINKA.

STRASSBURG.

1909.

Eine neue seismische Untersuchungsplatte.

Teil I.

Dr. C. Mainka, Strassburg i. E.

Inv. N. No. 2421.



In den verschiedensten Zweigen der Wissenschaft und Technik gibt es Instrumente, mit deren Hilfe irgendwelche Gesetze abgeleitet oder untersucht werden sollen. Bevor jedoch die Apparate für diese Zwecke benutzt werden, ist es notwendig, sie genau zu untersuchen, und wer z. B. die astronomische Wissenschaft kennt, wird auch wissen, welcher grossen Aufschwung sie seit den klassischen Arbeiten von *Bessel* genommen hat. Derartige bis ins einzelste gehende Arbeiten sind zweierlei Art: absolut und relativ. Die erste Klasse der Untersuchungen ist die schwierigste.

Hier soll das zu prüfende Instrument künstlich beeinflusst werden und zwar so, dass die Versuchsbedingungen mit den Verhältnissen bei der wirklichen Beobachtung möglichst identisch sind. Die Gesetze der künstlichen Einwirkungen auf den Apparat müssen bekannt sein, die Folgeerscheinungen werden beobachtet, und aus den Vergleichen beider ergeben sich die an die instrumentellen Daten noch anzubringenden notwendigen Korrekturen. Da bei den verschiedenen Zwecken dienenden Beobachtungen Nebenerscheinungen mehr oder weniger komplizierter Natur auftreten, so muss auch hierauf beim Versuch geachtet werden, d. h. die Versuchsbedingungen müssen möglichst variiert werden. Ist ein Instrument genau geprüft, sind seine Konstanten, seine Fehlerquellen und deren mathematische Beziehung zum Beobachtungsdatum bekannt, so haben die abgeleiteten Sätze Anspruch auf Gültigkeit, während sie sonst illusorisch sind, und nur der mit physikalischen Instrumenten nicht Vertraute ihnen dann einen Wert beimessen wird.

Haben wir ein solches auf absolutem Weg untersuchtes Instrument zur Verfügung, so ist die Möglichkeit gegeben, mit diesem ein Instrument derselben oder einer anderen Konstruktion zu vergleichen. Wir erhalten dann die relative Art der Untersuchung, die oft etwas einfacher ist als die erstere. Mit beiden Instrumenten, mit dem bereits untersuchten, dem „Bezugsinstrument“ und dem noch nicht geprüften, werden die betreffenden natürlichen Beobachtungen angestellt und die Ergebnisse beider miteinander verglichen. Aus den sich ergebenden Differenzen gehen dann die an das Datum des zweiten Apparates anzubringenden Verbesserungen hervor. Vorausgesetzt ist hierbei, dass die Beobachtungsergebnisse des „Bezugsinstrumentes“ bereits von den entsprechenden Fehlerquellen befreit sind. Ist das fragliche Instrument auf diese relative Weise untersucht, so kann

man nun auch seine Resultate für weitere Arbeiten dieser Art benutzen. Auf diese Weise kann man zu gleicher Zeit oder hintereinander eine ganze Reihe von Apparaten prüfen.

Solche absolute oder relative Untersuchungen müssen mit dem gleichen Instrument in gewissen Intervallen angestellt werden.

Sehr zu beachten ist noch, dass die Hilfsinstrumente, die bei einer solchen Prüfung benutzt werden müssen, möglichst einfach sind. Je komplizierter ein Apparat ist, desto mehr Fehlerquellen sind vorhanden und desto schwieriger ist es, die Untersuchung einwandfrei zu gestalten.

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen wollen wir uns nun näher mit der Untersuchung der Erdbebeninstrumente befassen. Die Erdbebenwissenschaft hat für die verschiedensten Zwecke mehr oder weniger komplizierte Apparate nötig. Ganz allgemein gefasst lautet die Aufgabe hier folgendermassen:

An irgend einem Bereich der Erde ist Energie ausgelöst; hierdurch werden die benachbarten und entfernteren Massenpunkte in Bewegung gesetzt. So gerät denn auch der Massenpunkt P_i in Bewegung, nach einer gewissen Zeit t der Punkt P_k . An den Punkten P_i und P_k stehen geeignete Apparate, die zunächst Aufklärung über die Bewegungsverhältnisse¹⁾ geben sollen. Für die Lösung dieser Frage genügt ein Punkt, der mit irgend einem Instrument besetzt ist. Bei n Punkten treten noch Fragen hinzu, die sich mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der erregten Bewegung und der Endrichtung der seismischen Strahlen beschäftigen. Die letzte Frage ist vielleicht schon unter gewissen Umständen bei einem Punkt P berechtigt.

Wir wollen nun erst den Massenpunkt P_i ins Auge fassen; wir wollen seine Entfernung von der Gleichgewichtslage und die Zeit wissen, die zwischen einem Durchgang durch die Mittellage und dem übernächsten liegt, d. h. die Amplitude a und Periode T . Hieraus ergeben sich die Oszillationsgeschwindigkeiten v für den Durchgang durch die Nullage und die Beschleunigung im Umkehrpunkt. Ferner wird die Frage interessieren nach der Lage der Tangente im Punkte P_i an dem seismischen Strahl, d. h. nach seinem Azimut und seiner Zenitdistanz.

Wäre uns ein Punkt Q gegeben, der mit der Erde nicht verbunden wäre, ihre Bewegungen also nicht mitmachte, so wäre das Instrument, das uns Aufschluss über Amplitude und Periode der Bewegungen von P_i geben soll, bald gefunden und sehr einfach: es ist nämlich ein einfacher Hebel, dessen Drehpunkt der Punkt Q ist und der vergrößernd oder verkleinernd wirkt. Jene Anordnung, wenn die Bewegungen von P_i zu klein, diese, wenn sie zu gross sind; der entsprechende Arm wird gelenkig mit dem Punkte P_i verbunden, das Ende des anderen Armes schreibt die Bewegungen irgendwie auf.

Die Untersuchung eines solchen Apparates würde sich darauf beziehen, die Gelenkverbindung zu prüfen, ob möglichst innige Berührung und wenig Reibung

¹⁾ Anmerk. Vielleicht wird man noch partielle Absorption und Aufschluss über Schichtenlagerung hinzuziehen können, dann n im Min. = 2.

vorhanden ist; bei einem stark vergrößernden Hebelarm kämen noch Untersuchungen, die den Registrierarm betreffen, in Betracht; er könnte z. B. nicht starr genug sein und sich selbst, namentlich bei kürzeren Perioden und grossen Amplituden, durchbiegen und so falsche Werte für a und T geben.

Schliesslich wäre auch die Abhängigkeit der Vergrößerung oder Verkleinerung von der Temperatur zu erforschen. Doch einen solchen Punkt, der für unseren Zweck nicht mit der Erde verbunden ist, gibt es nicht. Begnügen wir uns dagegen mit der Erfüllung dieses Wunsches für eine möglichst kurze Zeit etwa dt , so lässt sich ein solcher Punkt Q schon eher herstellen. Zunächst denken wir uns Q als Massenpunkt oder noch besser als Massenmittelpunkt und erinnern uns an das Gesetz der Trägheit; dann haben wir die Forderung erfüllt, wenn nämlich der Massenpunkt Q mit der Erde möglichst reibungslos verbunden ist. Wir erhalten dies z. B. auf folgende Weise: eine möglichst glatte Kugel liege auf einer mit der Erde fest verbundenen glatten Fläche. Wir verbinden nun unseren Hebel, mit der Kugel, dem Massenpunkt Q . Die mit der Erde, mit dem Punkt P_i , fest verbundene aber gelenkige Drehachse macht die Bewegungen mit. Aus der Überlegung des Trägheitsgesetzes folgt, dass die Aufzeichnungen des Schreibarmes den wirklichen Bewegungen um so getreuer, vergrößert oder verkleinert nachgeahmt sind, je geringer der Reibungswiderstand ist und je kleiner T ist. Der Punkt Q wird im Raum seinen Platz behalten und als „Stosspunkt“ für den Hebelarm wirken. Es wirken zwei Kräfte auf Q mit dem Bestreben, ihn aus dem im Raum eingenommenen Ort möglichst schnell herauszubringen, d. h. dt möglichst klein zu machen: die Verbindung mit der Unterlage und mit dem Hebelarm. Aber nicht nur, wenn der Punkt Q sich in Ruhe befindet, sondern auch dann, wenn er auf der glatten Fläche, etwa als Kugel langsam hin und her rollt, werden kurzperiodische Bewegungen des Punktes P_i durch den Hebelarm genau vergrößert oder verkleinert aufgezeichnet. Auch dies ist eine Folge des Trägheitsgesetzes. Besitzen wir ein solches einfaches Instrument, so sind die anzustellenden Untersuchungen wieder wie oben, hinzu käme noch vielleicht die Frage nach der Grösse von dt ¹⁾.

Wie könnte man die Untersuchung dieser Art am einfachsten gestalten? Denken wir uns die glatte Fläche als Glasplatte und nicht mehr mit der Erde, dem Punkt P_i fest verbunden, sondern gleitend auf Rollen und den Punkt P_i , die Drehachse, auf der Glasplatte; d. h. wir wollen die Möglichkeit haben, der Platte, somit dem Punkt P_i , irgend welche Bewegungen zu erteilen. Infolge der erteilten Bewegung wird der Registrierarm des Hebels irgend etwas verzeichnen. Dieses aus der Beobachtung resultierende Datum muss nunmehr noch verglichen werden mit der dem Punkte P_i tatsächlich gegebenen Bewegung, d. h. es muss die Bewegung der Platte irgendwie einwandsfrei notiert werden. Stellt unsere Hebelvorrichtung ein Erdbebeninstrument vor, so müssen wir also eine Platte, eine „Untersuchungsplatte“, haben, der Bewegungen erteilt werden, die mit Hilfe eines Hebel-

¹⁾ Anmerk. In dieser Arbeit werde ich aber auf diesen sonst interessanten Punkt, Ermittlung der Grössenordnung von dt , vorläufig nicht eingehen

systems aufgeschrieben werden. Unser Hilfsinstrument ist die Untersuchungsplatte mit dem Hebelsystem.

Mit einer solchen „seismischen Untersuchungsplatte“ sollen sich die folgenden Zeilen beschäftigen.

In Japan ist zuerst diese Idee verwirklicht worden¹⁾. Auf der zweiten internationalen seismologischen Konferenz (24—28. Juli 1903 zu Strassburg i. E.) hielt *Prof. Dr. Lewitzky*, Wirkl. Staatsrat, einen Vortrag über die Arbeiten des Fürsten *B. Galitzin*, eines Mitgliedes der russischen seismischen Kommission. Diese Arbeiten befinden sich in den Verhandlungen der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu Petersburg 1904. Bd. I. *Galitzin* geht hier auf diese „Untersuchungsplattform“ näher ein in den Arbeiten: „Über seismometrische Beobachtungen“, und „Zur Methodik der seismometrischen Beobachtungen“. Leider scheinen mir diese Arbeiten in den Kreisen der Erdbebenforscher nicht sehr bekannt zu sein. Auch in den Sitzungen der ersten Generalversammlung der internationalen seismologischen Assoziation im Haag Sept. 1907 wurde dieser Punkt berührt. Namentlich in der Konferenz der Instrumentenkommission, der Schreiber dieser Zeilen anzugehören die Ehre hat, wurde über dieses Thema verhandelt. Bei dieser Gelegenheit brachte auch *Prof. Dr. O. Hecker*, der Leiter des seismischen Observatoriums in Potsdam den Vorschlag, als Untersuchungsplattform einen Pfeiler zu benutzen.

Schon vor der letztgenannten Sitzung der internationalen seismologischen Assoziation habe ich mir die Aufgabe gestellt, eine einfache „Untersuchungsplatte“ zu bauen. Diese Platte sollte möglichst getreu die Bewegungen des Erdbodens bei seismisch bewegter Erde nachahmen können. Nicht nur grössere Observatorien sollen imstande sein, eine solche Platte zu benutzen, sondern auch kleinere, so dass also jeder, der im Besitz eines Erdbeben-Instrumentes ist, die Möglichkeit hat, sein Instrument eingehend zu untersuchen. Hierzu ist weiterhin nötig, dass die Platte mit der Hand leicht in Bewegung gesetzt werden kann und alle möglichen Grössen der Bewegungen ausgeführt werden können. Soll der Apparat, der einer genaueren Untersuchung unterzogen werden soll, für die Aufzeichnungen der Bewegungserscheinungen, wie sie bei Erdbeben vorkommen, deren Herd von der Station entfernt liegt, geeignet sein, so muss beachtet werden, dass die Bewegungen der Platte höchstens 1 bis 2 mm gross sein dürfen. Umgekehrt soll die Möglichkeit vorliegen, der Platte auch grössere Bewegungen erteilen zu können, wie sie bei Beben auftreten, deren Herde sehr nahe der Station liegen oder mit ihr zusammenfallen. Die Kraft, die den Punkt P_i bei einem Beben in Bewegung setzt, wirkt auch in Richtung der Tangente in P_i an den seismischen Strahl. Auch dieser Forderung soll bei einer Untersuchungsplatte, wenn möglich Genüge geleistet werden. Vor allem darf aber eine solche seismische Untersuchungsplatte nur die Bewegungen ausführen, die ihr im Laufe der Untersuchung erteilt werden und die von einem mit ihr verbundenen Hebelsystem aufgezeichnet werden. Anders ausgedrückt

¹⁾ Anmerk. cf. Publications of the Earthquake Investigation.

heisst dies, die Platte darf nur erzwungene Schwingungen ausführen, freie dürfen nicht vorkommen, wenigstens nicht solche von endlicher Grössenordnung. Es ist der Fall denkbar, dass die Untersuchungsplatte, in Bewegung gesetzt, freie Schwingungen ausübt, die auf den Apparat, der untersucht werden soll, Einfluss haben, selbst aber nicht durch das mit der Platte verbundene Hebelsystem weitergegeben werden. Die Untersuchung ist dann nicht einwandfrei ausgeführt, der Fehler liegt in der Konstruktion der Platte oder in der Anordnung des Hebelsystems. Auch der Umstand muss in Erwägung gezogen werden, dass der seismisch bewegte Punkt P_i nicht nur kurze Zeit in Bewegung ist, sondern oft sehr lange. Ein ähnlicher Fall, in gewisser Weise nur umgekehrt, tritt bei der Untersuchung der Brücken auf. Hier ist bekanntlich das Resultat ein anderes, wenn ein schwerer Wagen über die Brücke rollt, als wenn der gleiche Wagen auf der Brücke steht. Es ist das Problem der wandernden Last, das von *Willis* u. a. ausführlich behandelt wurde. Ehe wir zur eigentlichen seismischen Untersuchungsplatte übergehen, wollen wir kurz in allgemeinen Umrissen den zugrunde liegenden Grundtypus der Erdbebeninstrumente, die im gewöhnlichen Gebrauch sind, zeigen.

Die Berührung der oben erwähnten glatten Kugel mit der glatten Fläche geschieht nicht in einem Punkt, sondern in einer Fläche; der Reibungswiderstand wäre aber zu gross. Der Reibungswiderstand wird kleiner, wenn die Kugel irgendwie aufgehängt ist. Wir haben also als Grundtypus der Erdbebeninstrumente einen um eine Drehachse leicht beweglichen Körper; vervollständigt wird der Apparat durch Hinzufügung eines Hebelsystems, das zum Registrieren der Bewegung des Aufstellungsortes gegen den Massenmittelpunkt des leicht beweglichen Körpers oder der Bewegungen dieses, wie wir auch sehen werden, dient. Aus der besonderen Lageanordnung der Drehachse gegen den Massenmittelpunkt oder, genauer gesagt, Schwingungsmittelpunkt, gegeneinander und im Raum, ergeben sich besondere Typen von Erdbebeninstrumenten, die noch weiter spezialisiert werden, wenn die Bewegungsfreiheiten des Massenmittelpunktes in Betracht gezogen werden.

Die Anordnung, die ich für die neue seismische Untersuchungsplatte wählte, ist folgende:

Eine Platte P hängt an drei Seilen an einem passenden Gestell. Durch ein geeignet eingerichtetes Hebelsystem wird diese hängende Platte in die gewünschte Bewegung versetzt und diese durch ein passend angeordnetes zweites Hebelsystem registriert.

Da die zu untersuchenden Instrumente 100 bis 200 kg und mehr wiegen können, musste die Platte entsprechend sicher konstruiert werden. Durchbiegung und Eigenschwingungen der Platte mussten möglichst verschwinden. Hierzu denke man sich aus L-Eisen ein Ring geformt vom Durchmesser 1,20 m, die Schenkel des L-Eisen sind 10 cm hoch, das Eisen etwa 1 cm dick. Den Durchschnitt im Durchmesser zeigt Fig. 1. Der eine Schenkel des L-Eisen bildet so einen Rand für die tellerartige Form, die noch mit Beton ausgefüllt werden kann; hierbei dient der andere horizontal stehende Schenkel als Unterlage für aufzulegende

Bretter. Wenn auch die Festigkeit des Betons durch quer gelegte Eisenstangen sehr erhöht hätte werden können, so wäre eine solche Platte doch nicht geeignet gewesen, weil Durchbiegungen und Eigenschwingungen noch zu fürchten wären¹⁾.

Auch noch aus rein praktischem Grund erwies sich diese Art Plattenkonstruktion unvorteilhaft. Für einen Transport einer solchen Platte wäre es nicht mehr ohne



Fig. 1.

weiteres möglich gewesen, den Eisenbeton zu entfernen. Um die Platte möglichst starr schon in der Eisenkonstruktion zu machen, wurden in den tellerartigen Ring Schienen eingebaut, die strahlenförmig vom Mittelpunkt ausliefen, und solche, die in den Sehnen eines einbeschriebenen gleichseitigen Dreiecks angeordnet waren. Für alle diese Querstücke wurde wiederum L-Eisen angewendet, und zwar waren je zwei L-Eisen zu einem Arm verbunden, so dass sich als Durchschnitfigur \llcorner ergab. Hierdurch war der Teller in einzelne Abteilungen geteilt, die voneinander durch diese Querarme getrennt waren.

Um nun jeden Rest von vorhandener Durchbiegung und von Eigenschwingungen endlicher Grössenordnung zu eliminieren, wurden auf der Unterseite des Tellers noch Versteifungen angebracht. Diese Versteifungen haben die Form von rechtwinkligen Dreiecken, deren eine Kathete etwa 60 cm, die andere 20 cm ist; es wurden hierzu massive Eisenplatten von 1 cm Dicke genommen. Im ganzen sind drei solcher vorhanden, die voneinander um 120° abstehen und von der Mitte strahlenförmig ausgehen. Alle Eisenstücke sind miteinander fest vernietet. Auf der Unterseite des Tellers ist in der Mitte ein kurzer Schraubenbolzen angenietet, an welchem die beiden oben erwähnten Hebelsysteme angreifen. Nun wurden die einzelnen Fächer mit Beton ausgefüllt und auf der Oberseite glatt gestrichen, so dass eine möglichst genaue Ebene als Unterlagsplatte für die zu untersuchenden Instrumente vorhanden ist. Anbei gebe ich eine schematische Zeichnung des Querschnittes durch die Platte, wenn die Schnittebene durch die Mitte derselben geht und eine Versteifung enthält. Die andere Figur ist die Ansicht von oben gesehen, wenn die Platte noch nicht mit Beton ausgefüllt ist. Fig. 3 bezw. 2.

An dem Aussenrand des Tellers sind an drei um 120° voneinander abstehenden Punkten starke Eisenösen angebracht, um die Platte an den oben erwähnten Seilen zu befestigen. Die Anordnung habe ich hier so treffen lassen, dass sowohl eine Befestigung an drei Seilen, als auch auf drei Säulen möglich ist; darauf komme ich später zurück. Diese Platte, die etwa 200—250 kg wiegt, wenn sie mit Beton ausgefüllt ist, ist nun an einem geeigneten Gestell aufzuhängen. Das

¹⁾ Anmerk.: Bezüglich Plattenschwingungen und Pfeilerschwingungen vergleiche man Lehrbücher der Elastizitätstheorie.

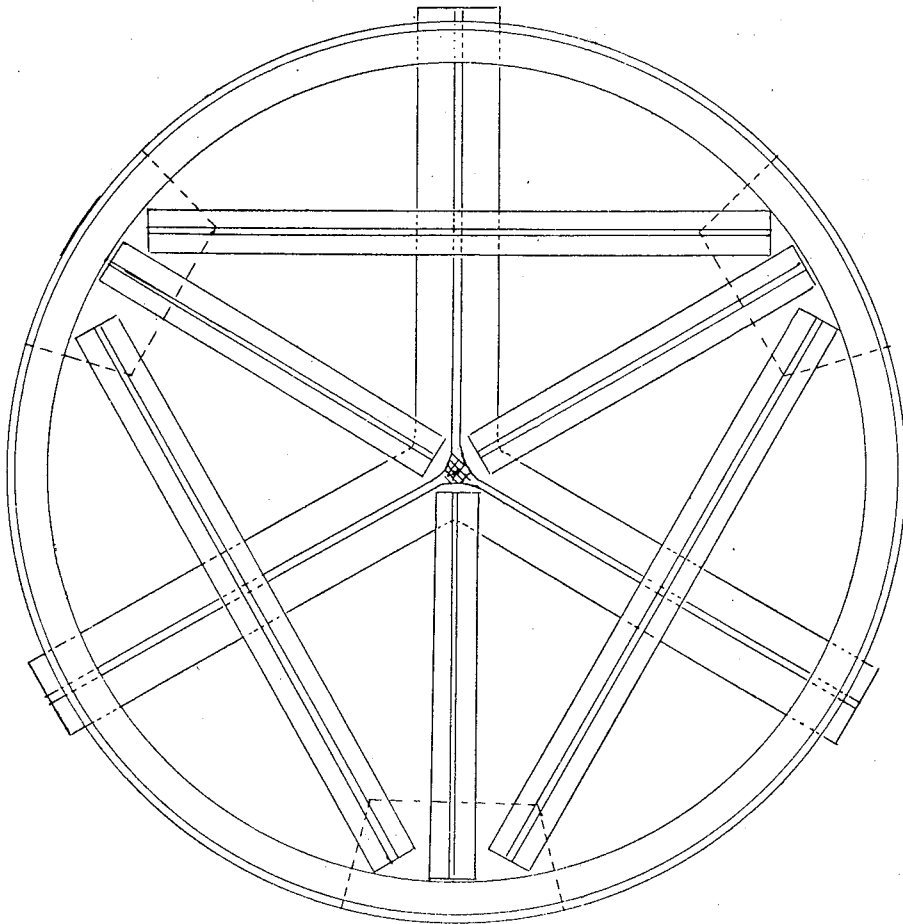


Fig. 2.

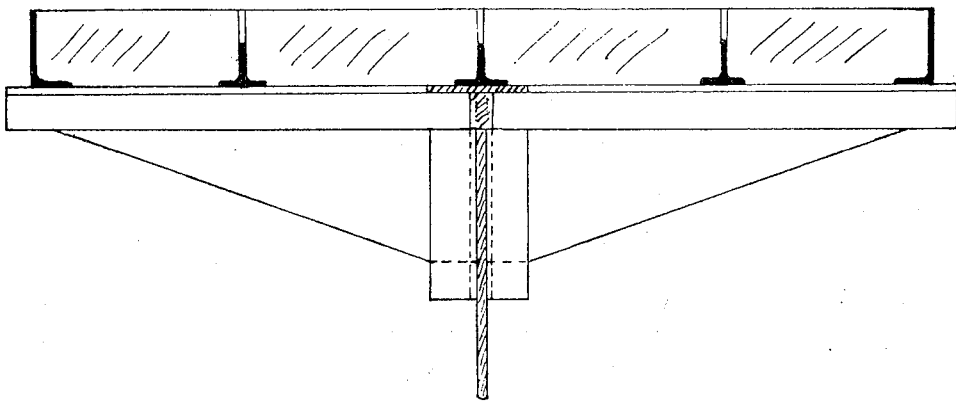


Fig. 3.

Gestell muss fest genug konstruiert sein, um diese Platte und noch das zu prüfende Instrument ohne jede Durchbiegung und Erschütterung zu tragen. Es muss ferner eine gewisse Höhe haben und mit dem Boden fest verankert werden können; doch muss die Möglichkeit bestehen es leicht vom Boden frei zu machen und es für einen Transport bequem zusammen zu legen.

Das Gestell besteht aus drei Pfeilern. Jeder Pfeiler ist gebildet von zwei \sqsubset -Schienen vom Querschnitt $10\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ und etwa 1 cm dickem Eisen. Diese beiden Schienen sind an fünf Stellen durch Quereisen miteinander vernietet, so dass sie beide ein Ganzes bilden. Die Verlängerungen der Grundseiten der Schienen stossen im Schnitt rechtwinklig zur Längsachse einer solchen Schienenverbindung unter 60° zusammen. An einer Verbindungsstelle sieht dieser Schnitt, wie folgende Figur zeigt, aus. cf. Fig. 4.

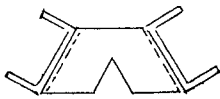


Fig. 4.

Um einen sicheren Fuss zu erhalten, ist an dem einen Ende einer solchen Säule ein grosses dreieckig geformtes Stück 1 cm dickes Eisenblech durch Winkeleisen angenietet. In diesem als Auflageplatte dienenden Eisenblech sind Löcher eingebohrt, um eine Befestigung an dem Boden durch Steinschrauben zu ermöglichen. Die folgende Figur 5 zeigt in der Projektion den Fuss.

Am Fuss eines solchen Eisenpfeilers sind weiterhin zur grösseren Sicherung und auch aus einem gleich zu erörterndem Grunde an den Grundseiten der Schienen 1 cm dicke grosse Eisenbleche, sogenannte Bordelbleche, angenietet, die auch mit der Fussplatte durch Niete fest verbunden sind. Der Kopf ist der Hauptsache nach ebenso konstruiert wie der Fuss.

Würde jeder dieser drei Pfeiler aufgestellt und einfach mit Steinschrauben mit dem Boden verbunden werden, so würden diese drei Säulen kräftig genug sein, die oben beschriebene Untersuchungsplatte und das auf dieser aufgestellte Instrument zu tragen. Bei den Versuchen würden sich aber kleine Schwankungen der Pfeiler bemerkbar machen, die auch nach Möglichkeit vermieden werden sollen. Ich möchte hier nur an das Beispiel einer oben belasteten Eisenstange erinnern. Hier in unserem Fall wirkt ausserdem die Kraft unsymmetrisch zur Längsachse der Pfeiler.

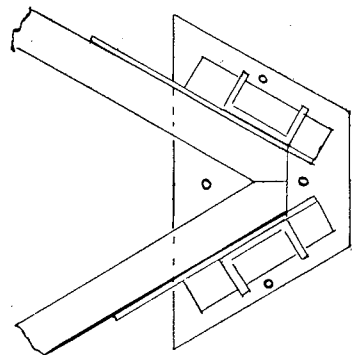


Fig. 5.

Zur Erhöhung der Sicherheit werden die im gleichseitigen Dreieck angeordneten Pfeiler auf den Füßen und an den Köpfen durch starke \sqsubset -Schienen vom Querschnitt (Profil) $10\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ miteinander verbunden. Um ein Auseinandernehmen und einen leichteren Transport zu ermöglichen, wurde diese Verbindungsschiene an den oben erwähnten Bordelblechen je durch 6 starke Schrauben angeschraubt. Durch diese Verbindung mittelst Schrauben ist, abgesehen von der grösseren Bequemlichkeit für den Transport, noch ein weiterer Vorteil erreicht.

Durch Vernieten anstatt Verschrauben würde es nie ganz genau möglich sein, die einzelnen Teile senkrecht miteinander zu verbinden. Beim Transport und beim Aufstellen würden innere kleine Zerrungen entstehen, so dass die Grundplatten an der Grundfläche nicht satt anliegen, sondern durch die Steinschrauben fest angezogen werden müssen. Hiedurch entstünden aber an verschiedenen Stellen Spannungserscheinungen, indem die Längsachsen der einzelnen Teile Kurven im Raume ergeben würden; das Gestell würde dann Vibrationen ausführen. Solche Verbindungsschienen gibt es im Ganzen 6, am Fuss drei und am Kopf drei.

Bereits beim Entwurf für eine solche hängende seismische Untersuchungsplatte habe ich s. Z. mir die Forderung gestellt, dass auch eine Bewegung der Platte im vertikalen Sinne auszuführen sei. Ich habe auch oben im allgemeinen Teil hierauf hingedeutet.

Das einfachste wäre nun gewesen, die Platte an drei Spiralfedern aufzuhängen. Auf diese Weise ist es sehr einfach, die Platte in vertikale Bewegungen gewünschter Periode und Amplitude zu versetzen, indem man in vertikaler Richtung durch den Schwerpunkt des Systems Platte und Instrument mit Hilfe eines Hebelarmes eine Kraft angreifen lässt. Gibt man der Platte in der erwähnten Richtung einen Impuls, so wird sie kurze Zeit Schwingungen machen, deren Periode von den Spiralfedern abhängig ist und $= 2\pi \sqrt{\frac{f}{g}}$ ¹⁾ ist.

Bei dieser Anordnung der Aufhängung an drei Spiralfedern lässt sich aber eine horizontale Bewegung der Platte nicht erzielen, was jedoch für die Untersuchung von grossem Wert ist. Die Aufhängung der Platte an drei Punkten muss also so geschehen, dass die Möglichkeit gegeben ist, auch beide Bewegungen voneinander zu trennen, die federnde Wirkung obiger 3 Spiralfedern muss also eliminiert werden können. Nach einigen Versuchen an einem kleinen Modell und Änderungen der Konstruktionszeichnungen, schien mir schliesslich, wenn man vor allem die einfache Anordnung nicht ausser acht lässt, folgende Konstruktion am geeignetsten. Zunächst wurde von der Beanspruchung einer Schraubefeder auf Zug Abstand genommen und die auf Druck ins Auge gefasst. Es lagen nun noch zwei praktische Wege vor. Erstens die Benutzung von Schraubefedern auf Druck und zweitens die Anwendung von Biegefedern, die aus ihrer Null-Lage durch eine auf sie wirkende Kraft herausgebracht werden.²⁾

Wie schon oben pag. 10 erwähnt, war der Kopf der Säulen ähnlich wie der Fuss eingerichtet. Auch hier ist eine feste eiserne Abschlussplatte angebracht und durch Winkeleisen mit den beiden den Träger bildenden Schienen vernietet. Dort, wo die Längsachse des Pfeilers das Abschlussblech schneidet, ist dieser durchbohrt. Die weitere Beschreibung muss an der Hand der beifolgenden schematischen Figur 6 geschehen:

¹⁾ f ist die durch die Belastung erzeugte Durchbiegung in m.

²⁾ Ich habe den erstgenannten Weg eingeschlagen.

In dieser Figur ist *k* die Abschlussplatte, ebenso 10 mm starkes Eisenblech, die in bereits bezeichneter Weise am Träger befestigt ist. Die punktierte Linie *AB* bezeichnet die Längsachse des Trägers. An dem Schnittpunkt dieser

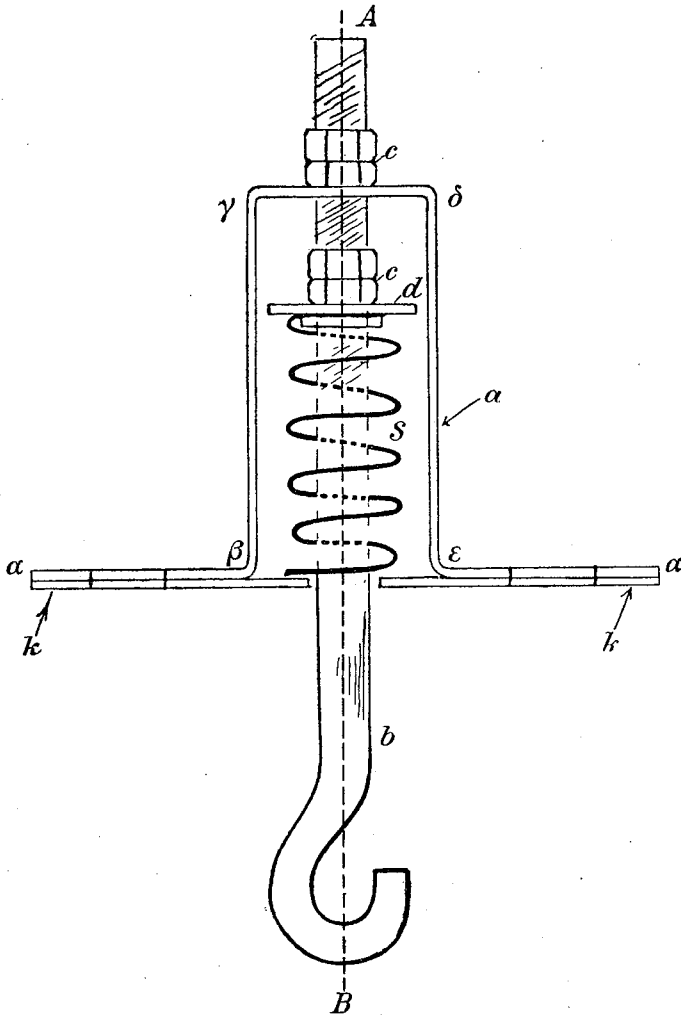


Fig. 6.

mit dem Eisenblech ist letzteres, wie gesagt, durchbohrt. Der Durchmesser des Loches ist 20 mm, sodass ein Zapfen von 15 mm frei durchgehen kann. Auf dem Eisenblech *k* sitzt sicher angeschraubt ein viermal rechtwinkliges Stück Bandeisen von 1 cm Dicke und 7 cm Breite. Die weiteren Abmessungen sind $\alpha\beta = \alpha\varepsilon = 90$ mm; $\beta\gamma = \delta\varepsilon = 160$ mm; $\gamma\delta = 90$ mm. An der Schnittstelle der erwähnten Längsachse *AB* mit $\gamma\delta$ als Mittelpunkt, ist wiederum ein 20 mm weites Loch angebracht. Der erwähnte Zapfen in der Figur *bb* hat an seinem durch $\gamma\delta$ gehenden Ende ein Schraubengewinde; an seinem unteren Ende ist er zu einem Haken ausgebildet. Der ganze Zapfen ist 25 cm lang. Oberhalb und unterhalb $\gamma\delta$ befinden sich auf dem Gewinde je zwei Muttern.

Verweilen wir nun einen Augenblick bei der bisher beschriebenen Vorrichtung. Sie bietet zunächst die Gelegenheit, den Zapfen *bb* mit Hilfe der vier Muttern *ccc* an $\gamma\delta$ festzuschrauben. Hierdurch ist am Hakenende die Möglichkeit geboten, ein Seil oder eine Kette anzuhängen. Wäre nur die horizontale Bewegungsfreiheit der Platte gewünscht, so wäre der Bügel $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon a$ freilich unnötig und man könnte dann den Zapfen *bb* direkt an *kk* anschrauben. Um die Bewegungsfreiheit in vertikaler Richtung zu erhalten, wurde eine Schraubenfeder *s* eingeschaltet, die auf

Druck beansprucht wird. Diese Schraubenfeder *s* umgibt mit ihren Windungen den Zapfen *bb*. Wenn sie nicht eingeschaltet, also nicht beansprucht ist, ruht sie einfach auf *k* auf. In diesem Fall sind sowohl die beiden äusseren wie inneren Mutternpaare *c* an $\delta\gamma$ fest angeschraubt, so dass also $\frac{1}{3}$ der aufgehängten Last an dem Bügel $\alpha\beta\gamma\delta\epsilon\alpha$ hängt und von dem oberen Schraubenmutterpaar aufgenommen ist. Die Schraubenfeder *s* trägt an dem oberen Ende einen kleinen Auflageteller, der ein wenig den Radius der Feder überragt, wie die folgende Figur andeutet. cf. Fig. 7.

Werden nun die oberen Schraubenmutter *c* gelöst, so wird der die Last tragende Zapfen *bb* sich mit den beiden inneren Schraubenmutterpaaren auf die Schraubenfeder *s* stützen, nicht direkt, sondern, wie sich aus den Figuren klar ergibt, mittelst der Unterlagsscheibe *d*. Auf diese Weise wird der Bügel $\alpha\beta\gamma\delta\epsilon\alpha$ entlastet und die Last von der Schraubenfeder *s* als Druckwirkung aufgenommen.

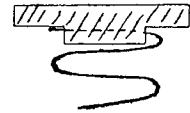


Fig. 7.

In dieser Art ist jeder der drei Säulenköpfe eingerichtet. In die Haken der Zapfen *b* werden nun mittelst Ringen Ketten eingehängt, die am anderen Ende ähnliche Zapfen *b'b'* mit Gewinde tragen wie *bb*. Die Zapfen *b'b'* werden an die oben erwähnten Winkeleisen (Ösen), die entsprechend durchbohrt sind, mit Hilfe von Schraubenmuttern befestigt. Die folgende Figur zeigt diese Befestigung näher. cf. Fig. 8.

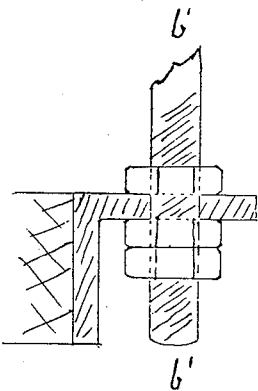


Fig. 8.

Statt der Kette als Bindeglied lässt sich auch einfacher Draht oder ein einfaches Drahtseil anwenden. Die schematische Zeichnung einer so gebauten seismischen Untersuchungsplatte ist im folgenden gegeben. pag. 14.

Beim Aufstellen eines Apparates auf der hängenden Platte würde es Schwierigkeiten haben, das Instrument genau einzustellen, da die Platte ja leicht beweglich ist. Um diese Unannehmlichkeit zu vermeiden, sind an den drei Säulen in der Höhe der herabhängenden Platte Schrauben angebracht, die es gestatten, die Platte so fest wie möglich festzulegen. Nachdem die Platte so festgelegt, ist es ein Leichtes, das zu untersuchende Instrument aufzustellen. Mit Hilfe der mehrfach erwähnten Schrauben, die sich am Kopf der Säule befinden, also auch der Schrauben, die die Verbindung der Kette mit der Platte herstellen, ist es auf einfache Weise möglich, die Platte mit Hilfe einer Libelle wagerecht einzustellen. Diese Einstellung kann vor der endgültigen Montage des Instrumentes auf der Hängeplatte geschehen, also auch noch dann, wenn das Instrument schon zum Teil aufmontiert ist. Im letzteren Fall muss natürlich die Pendelmass des Erdbebeninstrumentes arretiert werden, was sich ja stets tun lässt.

Um das Gestell, das die eigentliche seismische Untersuchungsplatte tragen

soll, mit dem Boden fest zu verbinden, wurde im Prüfungszimmer des Observatoriums der Kaiserlichen Hauptstation für Erdbebenforschung ein Sockel aus Beton

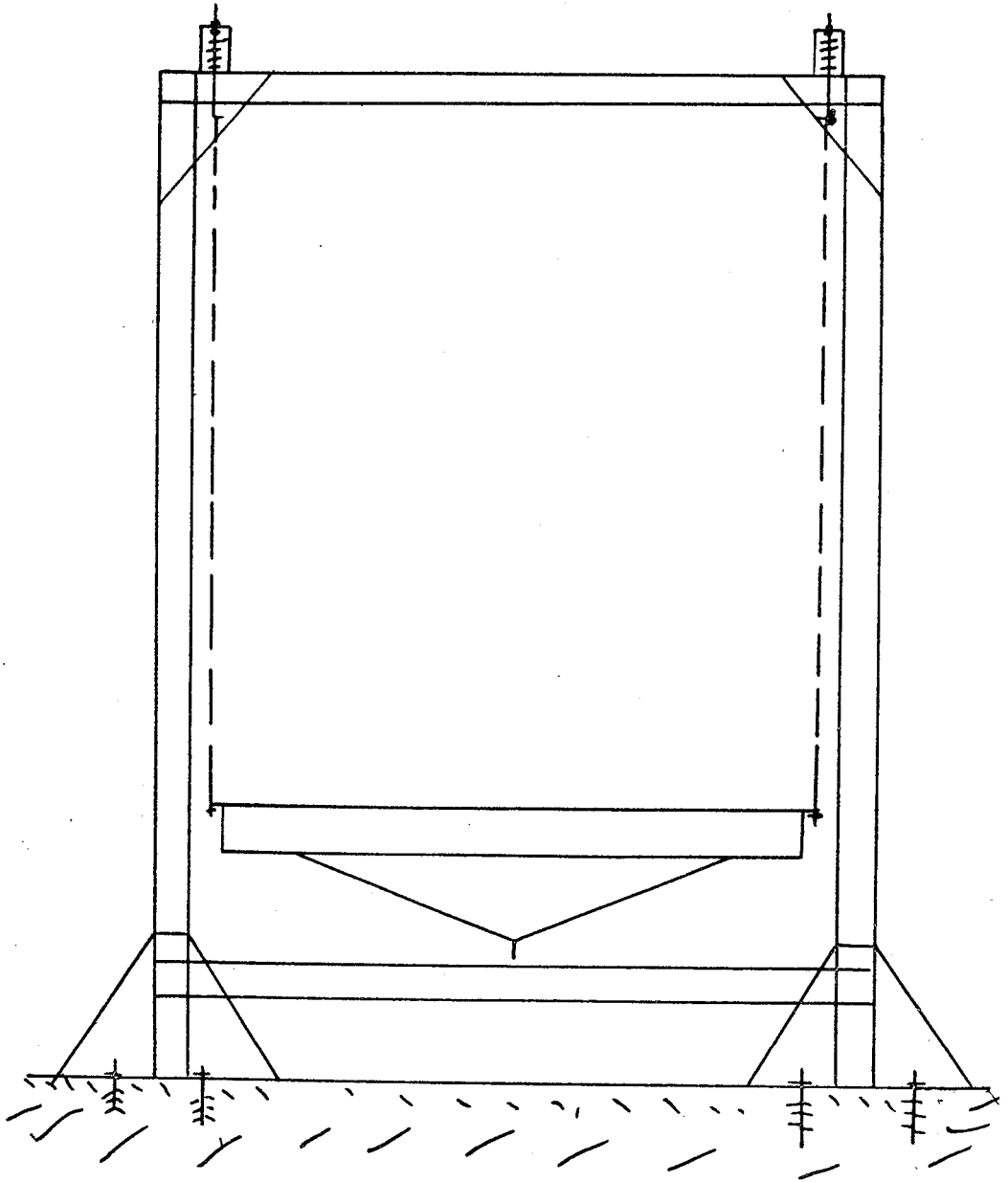


Fig. 9.

in einfachster Weise hergestellt. In der Form eines gleichseitigen Dreieckes von etwas grösserer Fläche, als das Gestell es gerade beanspruchte, wurde etwa 40 cm tief die lockere Erde ausgehoben und durch eine Masse von Zement, Kies, Stein-

schlag und Sand ersetzt. Vor dem Erstarren dieser Masse wurden an den nötigen Stellen Steinschrauben eingelassen, die zum Anschrauben des Gestelles mit Hilfe der Fussplatten dienen sollten. Der Raum, den die Untersuchungsplatte nebst Gestell beansprucht, ist reichlich gemessen $2,5 \times 2,5 \times 3,0$ m. Hier ist miteinbezogen der Platz für den Beobachter, die Hebelsysteme und für sonstige Hantierungen.

Die Ausführung dieser Eisenkonstruktion ist von der Firma Wolf, Netter & Jacobi in Strassburg i. E., Werkstätte für Eisenkonstruktionen, nach meinen Angaben übernommen und sehr solide ausgeführt worden. Die Ingenieure der Firma haben sich dieser Arbeit mit grossem Eifer hingegeben und mir mit ihren praktischen Erfahrungen auf dem Gebiete der Eisenkonstruktionen beigestanden.

Wie sich aus den obigen Zeilen ergibt und wie auch schon anfangs darauf hingedeutet ist, lässt sich dieser Untersuchungsapparat einfach versenden, so dass er also nicht an einen bestimmten Ort gebunden ist.

In einer Weise lässt sich dieser Prüfungsapparat noch vereinfachen und im Preise um ein Beträchtliches billiger gestalten.

Zunächst sei festgestellt, dass im Maximum die Platte mit ca. 3000 kg belastet werden kann, wenn die Drähte bzw. Ketten, die zum Aufhängen der Platte dienen, entsprechend stark sind. Die Sicherheit, mit der hier gerechnet ist, ist eine etwa 4—5fache. Fassen wir aber zunächst ein mittelgrosses Instrument von etwa Gesamtgewicht 300 kg ins Auge, wozu noch das Eigengewicht der Platte kommt, so dass etwa 550—600 kg Last vorhanden sind. Ist nun ein Raum vorhanden, dessen Decke auf einer freien Fläche von etwa $2,5 \times 2,5$ m so stark ist, dass sie, ohne schädliche Durchbiegung zu erleiden oder in Eigenschwingungen zu kommen, diese Last an drei Punkten aufnehmen kann, so wäre die oben angezogene Einfachheit erreicht. Zu diesem Zweck werden die drei Zapfen bb, die am Bügel $\alpha\beta\gamma\delta\epsilon\alpha$ befestigt sind bzw. auf der Schraubenfeder s ruhen, in die Decke eingelassen, nur in etwas umgeänderter Art.

Wir denken uns zunächst starke Schraubenzapfen oder auch Steinschrauben. Erstere können durch die Decke durchgehen und durch mehrere Schraubenmuttern einfach befestigt werden; letztere müssen, da sie in das Mauerwerk der Decke, am besten Beton, eingelassen werden sollen, starke Widerhaken oder auch Quereisen haben. Die weitere Anordnung sei an der Hand der folgenden Figuren 10 und 11 gegeben.

Der Zapfen hat am anderen Ende einen starken Kopf oder aber ein Gewinde, so dass etwa drei starke Muttern m Platz haben. Der Durchmesser des Zapfens ist, reichlich sicher berechnet, etwa 15 mm; die freie Länge, also das aus der Decke herausragende Ende ist etwa 15 cm. Der Zapfen trägt zunächst nach Art einer Unterlagsscheibe einen runden Eisenteller a, auf welchem die Schraubenfeder s den Zapfen b umschliessend aufsitzt und die am anderen Ende wieder eine Art Eisenteller a' trägt. Die Windungen der Feder s berühren aber nicht den Zapfen b. Das Analogon zu unserem obigen Bügel $\alpha\beta\gamma\delta\epsilon\alpha$ hat hier eine etwas andere Form. Der jetzige Rahmen ist ein aus kräftigem Bandeisen geschlossenes Rechteck e, cf. Fig. 11, das in der Mitte von $\beta\gamma$ durchbohrt ist und zwar um etwa 5—7 mm

weiter als der Zapfen b dick ist. Die gegenüberliegende Seite $\alpha\delta$ ist ebenfalls in der Mitte durchbohrt, um den Haken h aufzunehmen. Dieser wird an seinem Gewindende einfach mit je einer Mutter festgelegt. Auf diese Weise werden auch die beiden anderen Haken in der Decke befestigt und hergerichtet. Werden nun die Ketten mit der Platte eingehängt, so sehen wir sofort, dass eine Bewegung im vertikalen Sinn leicht möglich ist.

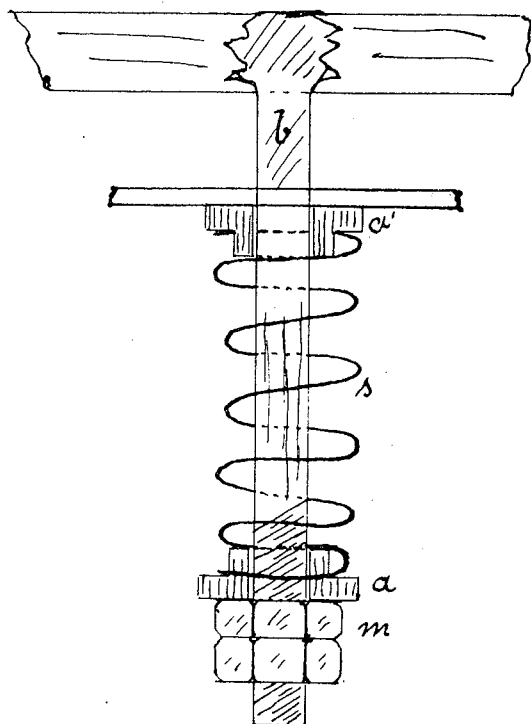


Fig. 10.

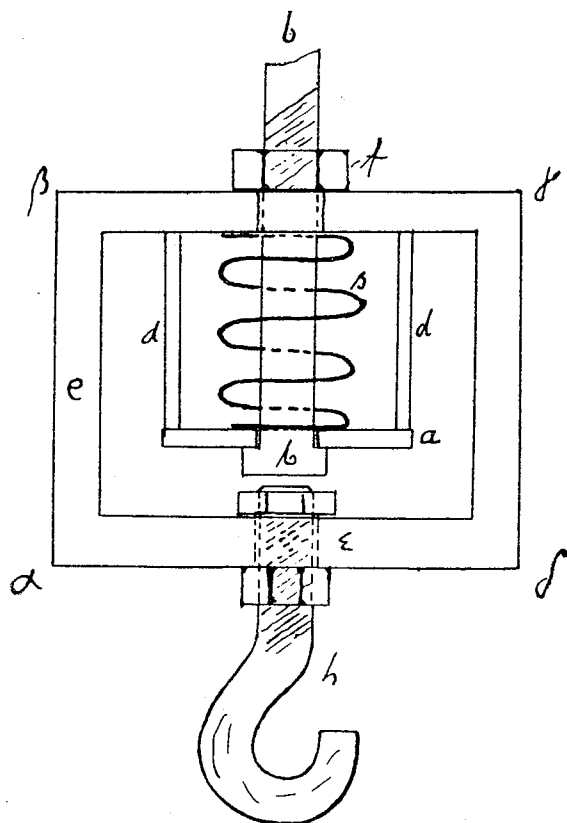


Fig. 11.

Um eine horizontale Bewegung möglich zu machen, fehlen noch zwei Stücke. Zunächst denken wir uns einen eisernen Hohlzylinder (ein Stück eines Eisenrohres) von einer lichten Weite = Schraubenfederdurchmesser + 10 mm, der durch einen durch die Längsachse gehenden Schnitt geteilt ist. Die Höhe dieses Rohrstückes ist gleich der Höhe der Schraubenfeder + 10 mm. Wir entlasten nun die drei Zapfen b der Reihe nach, indem die Platte nacheinander ein wenig gehoben wird, und setzen die beiden Zylinderteile d so auf den Teller a auf, dass sie die Schraubenfeder umgeben; lässt man nun die Last wieder wirken, so wird der eben eingesetzte Zylinder durch den Rahmen $\alpha\beta\gamma\delta\epsilon$ das Gewicht der Platte aufnehmen, während die Feder, da der Zylinder um 10 mm höher als die Schraubenfeder ist,

frei ist. Nun wird noch die Schraubenmutter f, die schon vorher in den Zapfen eingesetzt war, angezogen, so dass das Rechteck $\alpha\beta\gamma\delta\epsilon$ fest auf dem Eisenzylinder d sitzt.

Da es sehr leicht vorkommen kann, dass man das Einsetzen der Schraubenmutter f vergisst, so macht man sie am besten aus zwei Teilen (Backen), die an das Gewinde angelegt und durch je zwei kleine Schrauben miteinander zu einer Schraubenmutter verschraubt werden, wie Figur 12 andeutet.

Es ist jetzt leicht möglich, die Platte horizontal zu bewegen.

Vielleicht interessieren noch einige Gewichts- und Maasszahlen.

Das Gewicht der eigentlichen Platte ohne Beton ist 110 kg, durch das Ausfüllen mit Beton wird sie, je nach der Zusammensetzung, 200 bis 250 kg schwer.

Das Gewicht einer Säule, wie oben beschrieben, ist 100 kg, die drei Säulen wiegen also 300 kg. Die sechs Verbindungsschienen wiegen zusammen 105 kg. Das ganze Gestell wiegt somit, wenn die Platte nicht mit Beton ausgefüllt ist, ca. 500 kg. Da die einzelnen Teile sehr starr und massiv sind, ist eine besondere Verpackung nicht nötig.

Die Tragfähigkeit der Platte ist, wenn die Last gleichmässig über die ganze Fläche verteilt wird, 2000 bis 2500 kg, die durch die Ausfüllung mit Beton und Eisenquerstäben als Einlage noch bedeutend erhöht wird.

Die Tragfähigkeit einer Säule ist ungefähr 15000 kg. Die Seite des als Grundfläche dienenden gleichseitigen Dreiecks ist 1,5 m: der Radius der Platte ist 0,6 m. Die Höhe des ganzen Gestelles ist 2,7 m. Die Länge jeder Kette, deren Zugkraft etwa 450 kg ist¹⁾, ist 1,6 m und kann durch Einhängen der Glieder verringert werden.

Die Druckfedern sind in doppelter Art vorhanden. Die einen haben eine Spannkraft von je 300 kg, die anderen von je 200 kg.

Der Preis des Eisengestelles = Platte und Gestell zum Aufhängen derselben ist 370 Mk. Der Preis der noch zu erwähnenden Schiebeplatte beträgt etwa den zehnten Teil.

Die Berechnung der Trägheitsmomente und Widerstandsmomente der einzelnen Querschnitte kann der Leser, den es interessiert, an der Hand oben gegebener Daten wohl selbst vornehmen. Es sind das bekannte Dinge aus dem Kapitel der Mechanik, speziell der Festigkeitslehre.

In Figur 13 ist in vereinfachter Art und Weise die Ansicht und der Aufriss einer solchen seismischen Untersuchungsplatte gegeben. Auf einen beliebigen

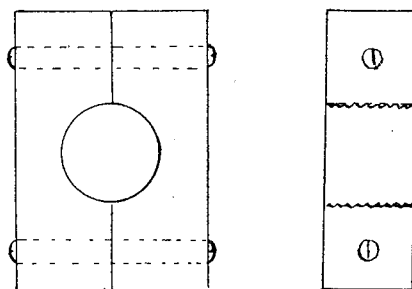


Fig. 12.

¹⁾ Anmerk. Natürlich kann auch erforderlichen Falles eine stärkere Kette in Anwendung genommen werden.

Punkt Q des Umfanges der Platte wirke eine Kraft $mg = K$. Ist α der Winkel der Krafrichtung gegen den Radius der Kreisplatte, dann sind die beiden Komponenten in Richtung des Radius bzw. der Tangente in $Q = K \cos \alpha$ bzw. $K \sin \alpha$.

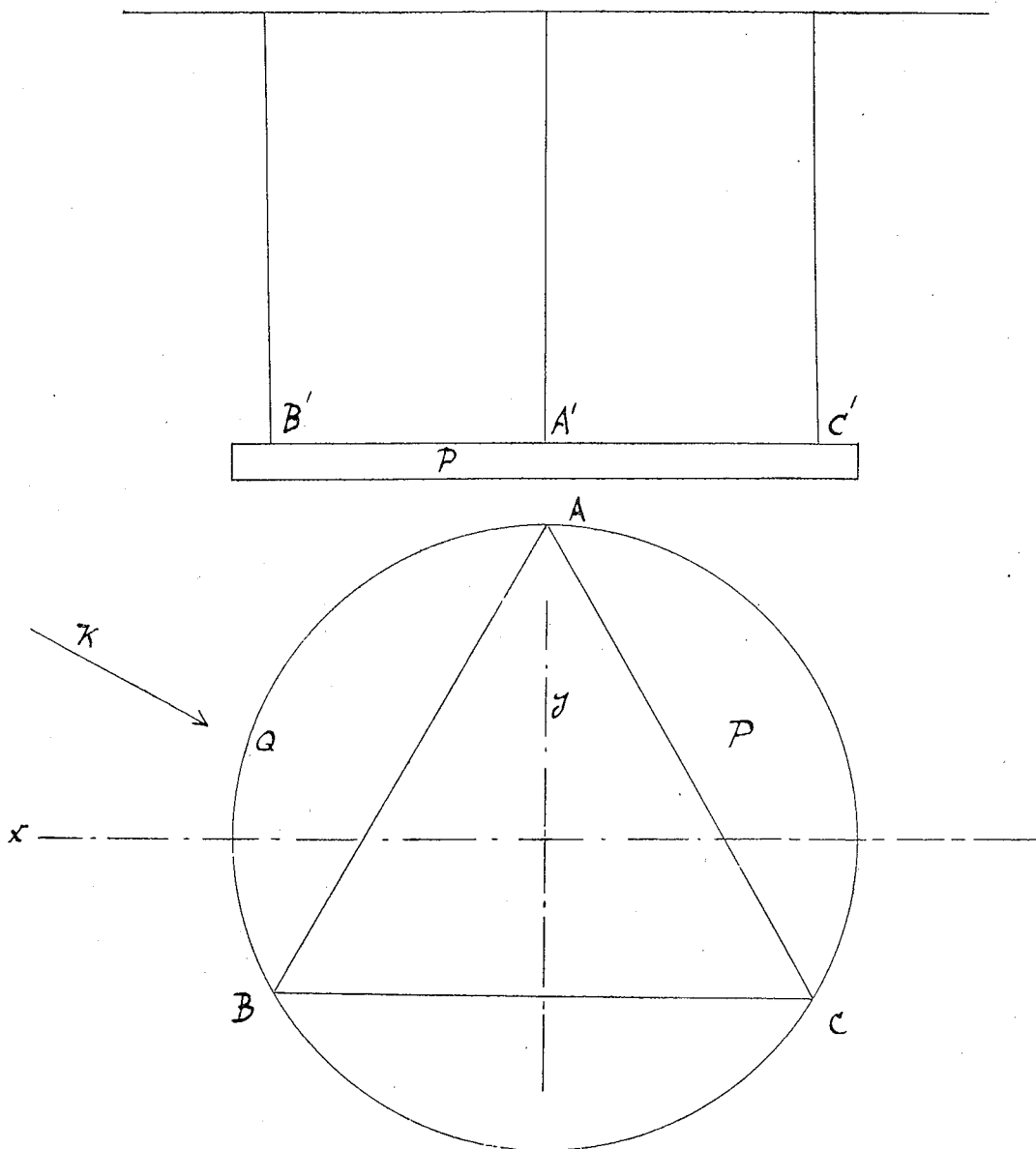


Fig. 13.

Nehmen wir für den Augenblick den einen Durchmesser als die x -Richtung, den anderen zu ihm senkrecht stehenden als die y -Richtung, und hat der Punkt Q die Koordinaten $x_1 y_1$, so hat der infolge der Kraftwirkung resultierende Punkt Q'

die Koordinaten $x_1 = K \cos(\alpha' + \alpha)$ bzw. $y_1 = K \sin(\alpha' + \alpha)$, wenn α' der Winkel der x-Achse gegen den Radius in Q ist. Dies würde nur gültig sein, wenn die Platte sich auf Kugeln bewegen würde, ein Fall, der nachher in praktischer Ausführung versucht werden soll. Hier ist die Platte an drei Fäden aufgehängt. Der Punkt Q wird also infolgedessen aus seiner ersten Lage um den Betrag $2l \sin^2 \frac{\beta}{2}$ gehoben, wenn l die Länge des Aufhängefadens und β der Winkel zwischen den beiden Lagen von l ist. Wird der Platte in Richtung eines Radius ein Stoss erteilt, so verschiebt sie sich im Raum parallel und ihr Schwerpunkt bewegt sich auf einem Kreisbogen; die geradlinige Verbindung jedes Punktes zwischen den beiden Lagen ist $= 2l \sin \frac{\beta}{2}$. Der Betrag der horizontalen Verschiebung ist $l \sin \beta$, während derjenige für die vertikale Verschiebung wie oben $= l(1 - \cos \beta)$ ist.

Es wird interessant sein, sich numerische Grössenverhältnisse vor Augen zu führen. Die Aufhängefäden seien etwa 1,8 m lang, der Winkel $\beta = 1^\circ$, dann ist $2l \sin \frac{\beta}{2} = 31,428$ mm. Der Betrag der horizontalen Verschiebung ist $l \sin \beta = 31,410$ mm, und der der vertikalen $l(1 - \cos \beta) = 0,270$ mm. Setzen wir nun $\beta = 10'$, dann wird $2l \sin \frac{\beta}{2} = 5,236$ mm; $l \sin \beta = 5,236$ mm und $l(1 - \cos \beta) = 0,009$ mm. Für $\beta = 5'$ wird: $2l \sin \frac{\beta}{2} = 2,618$ mm; $l \sin \beta = 2,618$ mm und $l(1 - \cos \beta) = 0,000$ mm. Wir sehen aus den gegebenen Beispielen; wie es sich ja auch aus den Ausdrücken ergibt, dass bei kleinen Amplituden der Platte die vertikale Verschiebung praktisch zu vernachlässigen ist. Soll ein Apparat auf seine Brauchbarkeit bei der Aufzeichnung von Fernbeben untersucht werden, so treten noch kleinere Bewegungen auf, die auch mit der Plattform ausgeführt werden müssen. 2—3 mm gehören in diesen Fällen zu den Ausnahmen. Namentlich bei den Versuchen, die sich mit der Wiedergabe der Bewegungen bei den Vorläufern beschäftigen werden, treten solche Grössen überhaupt nicht auf, hier sind Bruchteile von mm massgebend. Dadurch wird die Untersuchung freilich sehr erschwert.

Wir haben die Kraft eben in Richtung eines Radius wirken lassen; lassen wir sie nun senkrecht zu diesem in Richtung einer Tangente wirken und lassen wir zunächst die Starrheit der Aufhängefäden ausser acht, so ergibt sich eine einfache Drehung der Scheibe ohne vertikale Komponente. Ist γ der Winkel, um den die Platte um ihre senkrechte, durch den Mittelpunkt gehende Achse gedreht wird, so ist $2l \sin^2 \frac{\gamma}{2}$ die Erhebung der Platte infolge der starren Aufhängung. Da auch hier wieder hauptsächlich nur sehr kleine Werte von γ in Betracht kommen, so ist diese vertikale Bewegung praktisch zu vernachlässigen. Bei diesem Versuch ist es zunächst notwendig, eine reine Drehung der Platte zu erhalten¹⁾, und um hier möglichst

¹⁾ Anmerk. d. h. ohne jede horizontale Verschiebung.

sicher zu arbeiten, muss an der Platte noch folgende Hilfsvorrichtung angebracht werden.

Bei der Beschreibung der seismischen Hängeplatte habe ich erwähnt, dass sich auf der unteren Seite dieser ein Zapfen befindet. Auf diesen mit einem Gewinde versehenen Zapfen schraube ich nach Art einer Schraubenmutter einen Eisenzylinder, der aussen möglichst glatt abgedreht ist. Der Durchmesser dieses Zylinders ist 30 mm, seine Höhe 100 mm. Dieser Zylinder passt möglichst genau in einen Rohrstutzen hinein, der auf der einen Seite einen ziemlich vorspringenden Ansatz hat. Der Ansatz wird mit Hilfe von in den Boden eingelassenen Druckschrauben d an den Boden festgeklemmt, nachdem der Zylinder in das Rohr hineingebracht worden ist. Der Rohrstutzen hat ferner in mittlerer Höhe des Zylinders drei Druckschrauben e, welche eine noch genauere Führung ermöglichen sollen. Die

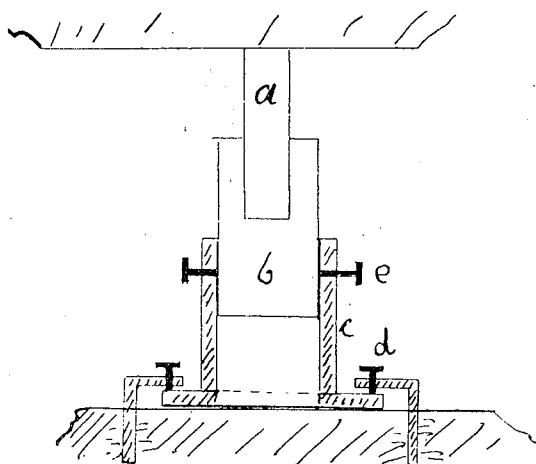


Fig. 14.

Figur 14 zeigt die nähere Einrichtung.

Hier ist a der Zapfen, b der angeschraubte Zylinder, c der Rohrstutzen mit den beiden Druckschrauben e und d. Bei den letzteren wird als Mutter der kurze Schenkel dreier in den Boden festgekippter passender Winkelleisen benutzt. Ist diese Hilfsvorrichtung angesetzt und sind die Schrauben e ein wenig angezogen, so ist bei einer am Rand wirkenden Kraft nur der Effekt einer Drehung der Platte möglich, auch wenn die Kraft schief zum Radius wirkt.

Zum Bewegen der Platte, wie auch zum Aufzeichnen der Plattenbewegungen sind Hebel nötig. Wir haben gesehen,

dass die Bewegungen der Platte klein sein müssen, wenn der zu untersuchende Apparat Bewegungen von der Grössenordnung aufzeichnet, die bei Beben vorkommen, deren Herd nicht mit der Station zusammenfällt. Um diese kleinen Bewegungen der Platte mit Sicherheit erteilen zu können, muss ein Hebel, der die ihm gegebenen Bewegungen im verkleinerten Massstabe an die Platte weitergibt, benutzt werden. Dieser Hebel greift an einem Ende unterhalb des Massenmittelpunktes der Platte an, am anderen Ende befindet sich die Handhabe, mit der er bewegt wird.

Die Anordnung dieses Bewegungshebels ist in folgender Weise geschehen: Seitlich vom Gestell wurde ein kleiner Steinquader in die Erde eingelassen und fest zementiert. In den Kopf dieses kleinen Pfeilers ist ein Zapfen zu einem Teil eingepfist, an welchem die Drehungsachse des Hebels anzuschrauben ist. Da die kleinen Bewegungen möglichst sicher ausgeführt werden müssen, ist auch bei der Herstellung des einarmigen einfachen Hebels darauf besonders geachtet worden. Der Hebel ist aus Eisen angefertigt, die Drehachsen sind Zylinder aus Eisen, die in

einfachen Zapfenlagern gelagert sind. Zylinder und Lager passen möglichst dicht ineinander, so dass jegliches Spiel verhindert wird. Für die Handhabe ist eine Begrenzung vorgesehen, die aus zwei Schrauben besteht, so dass man von Anfang an die grösste Amplitude, die man der Platte geben will, festlegen kann. Hat man zwischen den zwei Schrauben noch eine Millimeterskala angebracht, die sich unterhalb eines festen Punktes der Handhabe befindet, so hat man auch für die weiteren Amplituden, die man dem Hebel, der im Verhältnis ca. 1:8 verkleinert, geben muss, einen Anhalt. Eine Uhr, die Sekunden schlägt, ist ferner noch für die Beobachtung der Perioden nötig. Vom Hebel zur Platte geht noch ein eiserner Arm, wie oben angedeutet. Wird die Forderung gestellt, der Platte eine Reihe periodischer Bewegungen von bestimmter Periode und Amplitude zu geben, oder solche Bewegungen mit aufgelagerten stossartigen, so scheint mir folgende Vorrichtung doch beachtenswert zu sein.

Am Ende der Handhabe ist auf irgend eine Weise ein fester Punkt markiert. Unter der Handhabe ist ein Registrierapparat mit Trommel eingestellt. Das Triebwerk habe eine bestimmte minutliche Geschwindigkeit, etwa 15 mm. Auf der Registriertrommel ist ein Bogen aufgespannt, auf welchem eine beliebige Kurve aufgezeichnet ist, nur so, dass die maximalen Amplituden die eingestellte nicht übertreffen. Ausser der Kurve $y = f(t)$, wenn t die Abszisse und y die Ordinate ist, ist noch die Nulllinie eingezeichnet.

Die Einstellung gestaltet sich in folgender Weise: Der Hebel, der zur Bewegung der Platte dient, wird mit der Platte verbunden; das Registrierwerk nebst Trommel wird so aufgestellt, dass die Trommelachse senkrecht zum Hebelarm steht, und der markierte Punkt bei ruhender Platte längs der Nulllinie entlang zu gehen scheint, wenn das Triebwerk in Bewegung gesetzt ist. Man lässt nun den Punkt an der der Kurve eine Strecke vorangehenden Nulllinie entlang ziehen und gibt acht, dass er sie nicht verlässt; beginnt die Kurve, so führe man mit der Hand den Griff des Hebelarmes einfach so, dass der Punkt vom Kurvenzug nicht abweicht. Diese Beobachtung hat eine gewisse Ähnlichkeit mit der Beobachtung des Durchganges eines Sternes am beweglichen Faden beim *Repsoldschen* Mikrometer. Nach der vorgelegten Kurve $y = f(t)$ wird nun die Platte den gegebenen Amplituden und Perioden genau entsprechend ¹⁾ nachgeführt. Man kann eine Reihe solcher Kurven, die den verschiedensten Funktionen von t entsprechen, darstellen und dann auch richtige Erdbebenkurven anwenden. Die Kurven namentlich müssen in den Grössenverhältnissen gehalten sein, dass die Bewegungen der Platte 2—3 mm nur im äussersten Falle überschreiten, oder das Vergrösserungsverhältnis muss geändert werden. Für die Untersuchung der Apparate für lokale oder sehr nahe Beben kann man sich auch leicht solche Kurven verschaffen. Aus dem Seismogramm lässt sich die wahre Bodenbewegung angenähert berechnen und lassen sich die Schrauben für das Maximum entsprechend einstellen ²⁾. Für den weiteren

¹⁾ Anmerk. Daher muss auch die Konstruktion des Bewegungshebels äusserst sorgfältig geschehen.

²⁾ Anmerk. Eine Uhr ist für diesen Fall direkt nicht nötig.

Verlauf einer solchen Beobachtungsreihe kommt es darauf an, wie man sich zu der Voraussetzung stellt, dass die Platte die auf diese Weise vorgeschriebenen Bewegungen des markierten Punktes unverfälscht nachmacht. Ist sie erfüllt, so dass also die „Musterkurve“ direkt zur Vergleichung mit der vom Apparat gegebenen herangezogen werden kann, so ist ein besonderes Hebelsystem zur Registrierung der Plattenbewegungen unnötig. Aus der vorgelegten Kurve $y = f(t)$ lassen sich alle nötigen Daten, Amplitude, Periode, Beschleunigung entnehmen und mit der vom zu untersuchenden Instrument erhaltenen Kurve $\varphi(t)$ vergleichen.¹⁾ Die Konstanten des Instrumentes müssen natürlich genau bekannt sein. Hat der Apparat eine Dämpfungsvorrichtung, so ist es auch vorteilhaft, bei verschiedenen Dämpfungsgraden 0 bis a periodisch Untersuchungen anzustellen. Im zweiten Teil dieser Arbeit gebe ich diese Beobachtungen.

Lässt man die Voraussetzung, dass die dem Hebelarm gegebenen Bewegungen unverfälscht auf die Platte einwirken, nicht gelten, so bleibt nichts anderes übrig, als ein zweites Hebelsystem mit der Platte zu verbinden, das den Zweck hat, die Bewegungen dieser aufzuzeichnen. Genau zugesehen macht man jetzt wiederum die Voraussetzung, dass das Registrierhebelsystem die Bewegungen der Platte, wie sie aber auch vom Schwerpunkt des Apparatgestelles gemacht werden, richtig aufgezeichnet werden. Sorgt man dafür, dass die Arme im zweiten Hebelsystem möglichst starr (ich habe Messingrohr verwenden lassen) sind, die Verbindung und die Bewegung in den Drehachsen einwandfrei ist, so kann man wohl annehmen, dass die Platte sich so bewegt, wie das zweite Hebelsystem es n -mal vergrößert angibt. Dieses zweite Hebelsystem gibt uns nun die Vergleichskurve $\psi(t)$, die genau genommen $f(t)$ gleich sein soll, nur n -mal vergrößert. Einen Vorteil, den die Anwendung des zweiten Hebelsystems mit sich bringt, ist der Umstand, dass man es in der Hand hat, die Vergrößerung dieses festzulegen, man sie also auch gleich der des Apparates, der untersucht werden soll, machen kann und ebenso die minutliche Geschwindigkeit des zu diesem Hebelsystem gehörigen Registrierwerkes. Die Anwendung dieses zweiten Hebels erleichtert auch etwas die Beobachtung, insofern man nunmehr nicht gar so ängstlich bei dem Nachfahren der Kurve $f(t)$ zu sein braucht, wogegen man sonst ganz genau den Zügen von $f(t)$ nachgehen muss, was oft anstrengend ist. Auch kann man die minutliche Geschwindigkeit beim ersten Registrierapparat grösser, etwa $20 - 30$ mm, einstellen, was sehr bequem ist. Ich habe von vornherein mich nach reiflicher Überlegung für zwei Hebelsysteme entschieden.

Das zweite Hebelsystem, das Registrierhebelsystem, habe ich folgendermassen in der Werkstätte des Observatoriums der kaiserlichen Hauptstation für Erdbebenforschung bauen lassen.

Das Hebelsystem besteht aus zwei Armen, einem mit kleiner Vergrößerung und einem zweiten mit grösserer Vergrößerung.

¹⁾ Anmerk. Solche Vergleichungen sind auch für spätere Rückschlüsse, aus dem Diagramm, namentlich der Vorläufer, auf die Bewegungen des seismisch bewegten Beobachtungspunktes wichtig.

Der erste Hebel, ein einarmiger, besteht aus zwei Messingrohren, die, wie in der Figur 15 angedeutet, miteinander durch Querstäbe verbunden sind. Die Drehungsachsen sind beiderseits zugespitzte kleine Eisenzylinder, die zwischen Pfannen ruhen, die in Schrauben eingebohrte sind. Der zweite Arm hat eine in gleicher Weise gebildete Drehungsachse und ist ein zweiarmiger Hebel; der den Schreibstift tragende Arm ist aus Aluminium. Das ganze System ist auf einer Platte aufmontiert und auf einen Betonsockel angeschraubt. Durch eine Verbindungsstange ist die Verbindung mit dem Zapfen, an welchem auch der erstbeschriebene Hebel angreift, und so auch mit der Platte hergestellt. Vor dem Hebelsystem ist ein Registrierapparat aufgestellt. Es ist darauf zu achten, dass die beiden Verbindungsarme, die von den beiden Hebelsystemen nach dem eben erwähnten Zapfen gehen, in einer Geraden sich befinden; sie sind so am Zapfen angebracht, dass sie leicht entfernt werden können.

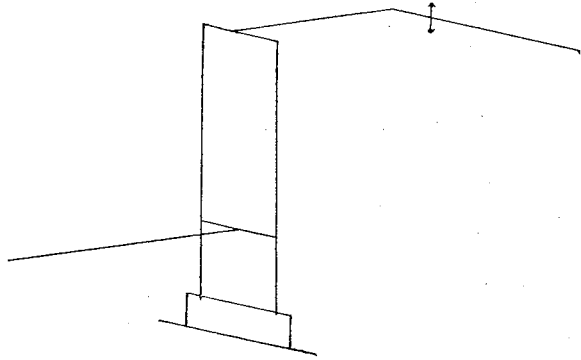


Fig. 15.

Entfernen wir die Verbindung der Platte mit den beiden Hebelsystemen und betrachten die Platte für sich allein, so haben wir ein einfaches Pendel vor uns. Ist β die Abweichung von der Nullage, so lautet die bekannte Bewegungsgleichung, wenn kleine Schwingungen in einer Ebene vorausgesetzt werden:

$$\frac{d^2 \beta}{dt^2} + 2a \frac{d\beta}{dt} + b^2 \beta = 0$$

Die Plattenbewegungen, die durch ein einmaliges Anstossen in bestimmter Richtung erzielt werden, sind freie Schwingungen von der Periode $\frac{4\pi}{\sqrt{b^2 - a^2}}$. Denken wir uns nun auf dieser Platte ein Pendel, das zu untersuchende Instrument, aufmontiert und die Platte in Schwingungen versetzt, so macht das aufgesetzte Instrument ebenfalls Schwingungen, aber keine freien, sondern erzwungene Schwingungen; erzwungen durch die periodisch wirkende Kraft der schwingenden Platte. Die Gleichung der Bewegung ist dann bekanntlich:¹⁾

$$\frac{d^2 \beta}{dt^2} + 2a \frac{d\beta}{dt} + b^2 \beta = A \cos \alpha t.$$

Wir haben also ein Doppelpendel vor uns. Betrachten wir die schwingende Platte im Raum, so haben wir den Fall des sphärischen Pendels vor uns, der wohl nur in dem Fall zur Geltung käme, in welchem das Instrument in seinem Verhalten bei sehr nahen Beben untersucht werden soll.

¹⁾ Anmerk. Vorsicht, wenn das Triebwerk des zu untersuchenden Instrumentes ein hängendes Gewicht hat.

Es ist bereits auf Seite 19 darauf hingewiesen worden, dass die Platte infolge ihrer Konstruktion eine reine horizontale Bewegung nicht zulässt, eine vertikale Komponente ist immer vorhanden, wenn sie auch praktisch vernachlässigt werden kann. Soll die Bewegung der Untersuchungsplatte nur in der horizontalen Ebene geschehen, so ist auch die Möglichkeit gegeben, die Einfachheit der Konstruktion noch weiter zu treiben und so eine solche Platte allgemeiner zugänglich zu machen. Auch der Preis wird dann naturgemäss ein niedrigerer.

Bleiben wir zunächst bei der oben angeführten Möglichkeit des Rollens einer Platte auf drei Kugeln und sehen wir zu, ob die vorhandene hängende Platte sich nicht auch durch eine kleine Umänderung in der Konstruktion als „Schiebeplatte“ einrichten lässt. Auch hier muss ich bemerken, dass die Grössenordnung der horizontalen Verschiebungen allgemein 1—2 mm nicht übersteigen darf. Ferner darf aber nicht vergessen werden, dass bei der Ausführung des Versuches die Kraft, die Platte zu verschieben, eine beträchtliche ist, da der Reibungswiderstand der Platte zu überwinden ist. Man muss also auch irgend eine Vorkehrung zur möglichst sicheren, ruhigen Bewegung der Platte treffen. Für die Befestigung der Platte an den drei Anhängerketten sind drei Winkelstücke aus Eisen am Kranz der Platte angebracht, denen gegenüber je eine Säule steht. An jedem dieser Ansätze wird eine auf

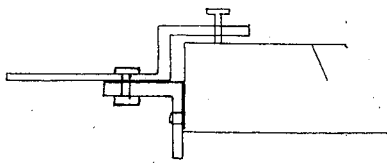


Fig. 16.

einer Seite glatt gehobelte Eisenplatte angeschraubt, und zwar mit der glatten Fläche nach unten. Die Eisenplatte hat auf der der Platte zugekehrten Seite zwei Winkel mit zwei Druckschrauben und wird so mit den Winkelansätzen an der Betonplatte verschraubt, dass die Druckschrauben als Gegenlager dienen können und auf diese Weise die Festigkeit

bedeutend erhöht wird. Die Figur 16 dient zur näheren Erläuterung.

Mit jeder Säule war, wie wir oben gesehen, eine Schraube zum Festlegen der Platte verbunden. An derselben Stelle sind die beiden, die Säule bildenden Schienen durch ein 1 cm starkes, 15 cm hohes Eisenblech verbunden, das in der Mitte einen 1 cm breiten Schlitz hat. Ein entsprechend grosses und zugeschnittenes Stück eines ungleichschenkligen Winkeleisens wird mit dem kürzeren Arm an das Verbindungseisen festgeschraubt, indem der Schlitz benutzt wird. Die obere Fläche des grösseren Schenkels ist glatt gehobelt. Legt man auf jede dieser drei glatten Flächen je eine Stahlkugel vom Durchmesser 50 mm und auf diese die Platte mittelst der beschriebenen Ansätze, so ist unsere Schiebeplatte hergestellt. Die folgende Figur 17 zeigt schematisch die Anordnung dieser Einrichtung. Die wagerechte Einstellung dieser Platte muss natürlich mit Sorgfalt geschehen, wenn auch das Instrument, das untersucht werden soll, eine solche Vor-

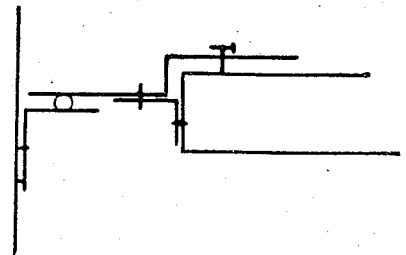


Fig. 17.

richtung für sich hat. Eine Feineinstellung der Platte lässt sich bei den vorhandenen Drucken in einfacher Weise nicht anbringen, und ich halte sie auch nicht für notwendig.

Infolge der Lagerung auf Kugeln kann die Schiebepatte in der Ebene nach allen Richtungen verschoben werden. In den meisten Fällen wird aber eine Bewegungsmöglichkeit in einer bestimmten Richtung genügen und dann ergibt sich noch eine besonders einfache Lösung. Zwei \perp -Eisen von der Höhe $h = 10$ cm, der Breite 5 cm und entsprechender Stärke werden in bestimmter Länge etwa 1 m zurecht geschnitten. An den Stirnflächen werden diese beiden Eisen miteinander durch Querleisten aus Eisen zu einem rechteckigen Rahmen verbunden. Legt man nun unter die Flanschen jeder der Schienen je zwei Rollen, massive Eisenzylinder, so lässt sich dieses rahmenartige Gestell bequem hin und her schieben. Um der Forderung Genüge zu tun, dass ein solches Gestell für möglichst viele Instrumente passt, habe ich die Anordnung getroffen, dass die beiden \perp -Eisen entlang den Querleisten verschiebbar sind. Die Füße des zu untersuchenden Apparates, oder dessen Unterlagsplatte, kommen auf den Rücken der beiden Schienen zu stehen. Für die Befestigung der \perp -Eisen sind an den Enden dieser Zapfen mit Gewinde angenietet. Zur näheren Erläuterung mögen die folgenden Figuren 18 und 19 dienen:

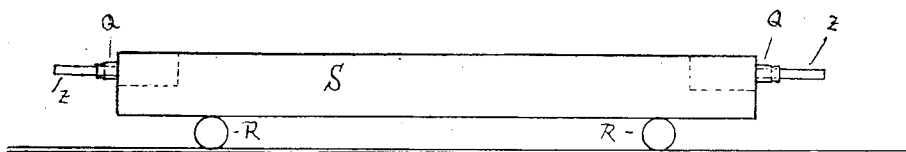


Fig. 18.

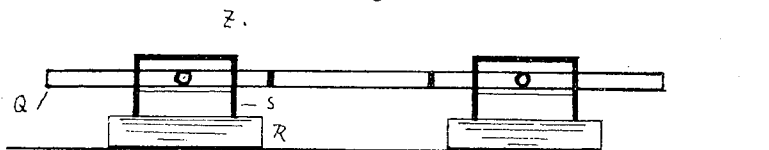


Fig. 19.

Die Figur 19 zeigt den Schieberahmen von der Stirnseite. Hier sind S die beiden Schienen, Z die angenieteten Zapfen und Q die Querleisten, deren Form sich leicht aus der Figur ergibt; R sind die Rollen. Die Querleisten Q werden durch Schraubenmuttern, die auf das Gewinde der Zapfen Z passen, festgeschraubt. Werden die Muttern gelockert, dann lassen sich, wie leicht ersichtlich, die beiden Schienen S voneinander entfernen oder einander nähern. In dem vorliegenden Fall, einer fertig gebauten Schiebepatte dieses Musters, sind die beiden Grenzen 80 und 40 cm. Auf diese beiden Schienen kann nun das Instrument einfach aufgestellt werden. Dass die Unterlagsfläche, auf der die Rollen, die aus starken, 20 cm langen Eisenzylindern vom Radius 2 cm bestehen, gleiten, glatt sein muss, ist wohl vorauszusetzen. Es ist also auf die einfachste Weise eine solche Schiebepatte herzustellen. Auf die Bewegungsfreiheit in vertikaler Richtung ist Verzicht geleistet.¹⁾

¹⁾ Anmerk. Für die Untersuchung photographisch registrierender Pendel lässt sich diese Platte besonders klein und handlich herstellen.

Soll aber diese doch vorhanden sein, so genügt es wohl, wenn ich auf das Untergestell eines Eisenbahnwagens hinweise. Hier muss noch eine Möglichkeit hinzukommen, die es gestattet, die Wirkung der Wagenfedern (übereinandergelegte Blattfedern) zu eliminieren, so dass, wenn gefordert wird, reine horizontale Verschiebung ermöglicht ist. Es würde zu weit führen, diese Anordnung näher zu erörtern, die auch noch komplizierter und m. E. teurer sein würde als die oben angeführten.

Die Bewegung der Schiebeplatte kann mit Hilfe eines Hebels, wie oben geschildert, geschehen. Da die Bewegungsgrößen der Platte sehr klein sein und möglichst alle Perioden, die bei einem Beben auftreten, in den Bereich des Versuches gezogen werden sollen, so habe ich der grösseren Sicherheit wegen folgenden Bewegungsmechanismus eingerichtet. Die Schiebeplatte wird zunächst so aufgestellt, dass eine kleinere Seite parallel einer Wand des Beobachtungsraumes steht und ungefähr 1 m entfernt ist. An dem Quereisen Q werden symmetrisch zur Mitte ungefähr 20 cm voneinander entfernt 2 starke Haken befestigt. Ihnen gegenüber werden ebenfalls zwei Haken in die Wand eingelassen und die einander gegenüberstehenden Haken durch ein etwas locker hängendes Drahtseil verbunden. Diese beiden Drahtseile werden durch einen in die Mitte der Seile eingesetzten Querstab umeinander gedreht. Was jetzt geschieht, ist wohl sofort klar; durch das Drillen werden die Seile verkürzt und die Platte wird zur Wand herangezogen. Um einen Rückgang in die Ruhelage bzw. Überschreiten derselben zu ermöglichen, muss eine rückwirkende Kraft angebracht werden, die entweder durch Druck oder Zug auf die Platte wirkt. Beide Wirkungen lassen sich durch Anbringen von Schraubenfedern ermöglichen, die an Pfosten gerade über dem Quereisen Q angebracht sind und zwar auf derselben Seite wie die obigen Seile, wenn die Federn auf Druck wirken sollen. Sollen die Schraubenfedern auf Zug beansprucht werden, dann müssen sie auf der anderen Seite befestigt werden. Zugwirkung lässt sich noch auf folgende Weise erreichen: Auf der Stirnseite, auf der die Bewegungsvorrichtung nicht angebracht ist, ist ein Seil befestigt, das über eine Rolle geführt wird und an seinem Ende ein Gewicht trägt, dessen Zugkraft etwas grösser ist als die Kraft, die nötig ist, um die Platte gerade ins Rollen zu bringen. Wird somit die Platte durch die Drillung der Seile nach der Wand hingezogen und lässt man den Querstab nach, so zieht das auf der anderen Seite wirkende Gewicht die Platte zurück. Auf diese Weise kann man eine periodische Bewegung erzielen. Ein dritter Weg, auch einfach, ist folgender: Auf beiden Stirnseiten der Platte werden Seilpaare, wie oben beschrieben, angebracht; das eine von ihnen dient als Handhabe zur Bewegungserteilung, das andere als rückwirkende Kraft. Die letztere erzielt man dadurch, dass der Querstab mit Hilfe dessen die beiden Seile dieses Seilpaares umeinander gedreht werden sollen, an seinem Ende belastet wird und so das auf und ab schwingende Gewicht rückwirkt. Diese Vorrichtung habe ich auch im Wochenbericht No. 18 der Kaiserlichen Hauptstation für Erdbebenforschung als Apparat für die Aufzeichnung der vertikalen Komponente des Erdbebenstrahles vorgeschlagen

und auch praktisch versucht. ¹⁾ Dieser erwähnte Vorschlag für die Bewegung der Schiebeplatte ist natürlich auch für die oben erörterte Platte, die vor allem als Hängeplatte eingerichtet ist, anwendbar. Die Bewegungen der Schiebeplatte müssen mittelst eines registrierenden Hebelsystems aufgezeichnet werden in der gleichen Weise wie oben. ²⁾

Wir haben bisher vor allem die Bewegung der Platte, also auch des Apparates in der Horizontalen betrachtet. Der Platte konnten Bewegungen erteilt werden, denen irgend ein Gesetz zwischen den ebenen Koordinaten und der Zeit t zugrunde lag. Am Schreibtisch konnten wir uns die Kurve konstruieren und ihr entsprechend in oben angegebener Weise die Platte bewegen. Für jeden Zeitmoment liessen sich die Grössen für die Bewegung, Geschwindigkeit für den Durchgang durch die Nulllage und die Beschleunigung an den Umkehrpunkten angeben. Aus der Beobachtung erhielten wir so künstlich das Verhalten des untersuchten Apparates, wenn nur die horizontale Komponente des Erdbebenstrahles wirkt.

Im Laufe dieser Zeilen haben wir bereits zwei Möglichkeiten gehabt, eine Bewegung der Untersuchungsplatte im vertikalen Sinn zu erlangen. Hierbei ist natürlich die Vorrichtung zur Bewegung der Platte in ähnlicher entsprechend umgeänderter Weise gedacht. Eine eingehendere Beschreibung dieser ist nach dem

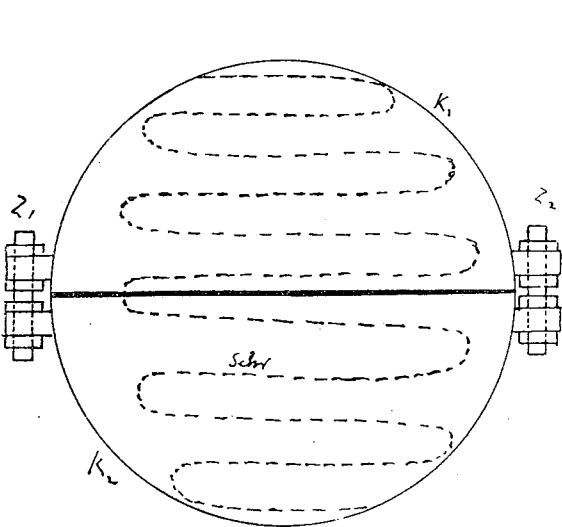


Fig. 20.

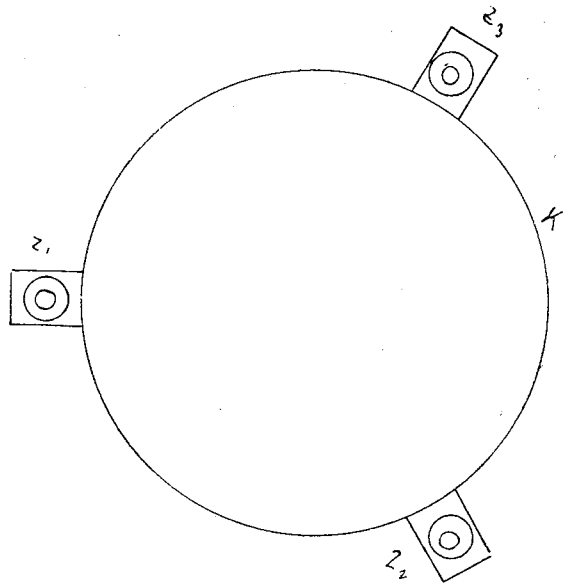


Fig. 21.

obigen wohl überflüssig. Ebenso muss auch das die Bewegungen der Platte registrierende Hebelsystem an seinem ersten Hebelarm eine kleine Änderung

¹⁾ Anmerk. cf. anch.: Einfache Erdbebenapparate von Dr. C. Mainka, Zeitschrift: Der Mechaniker Berlin 1909, Nr. 6.

²⁾ Anmerk. Kleine Bewegungen, wie hier erwünscht ist, kann man möglichst sicher erreichen, indem man die eben geschilderte Bewegungsvorrichtung durch ein verkleinerndes Hebelsystem auf die Platte wirken lässt.

erfahren, indem der erste Hebel einfach zu einem Winkelhebel umgestaltet wird, was bei der Konstruktion des Hebelsystems bereits beachtet ist. Der erste Arm ist auch als Winkelhebel gebaut, der nämlich als gewöhnlicher Hebel durch einfache Benutzung des entsprechenden Angriffspunktes in Betrieb gesetzt werden kann.

Ein dritter Weg, eine vertikale Bewegung zu erlangen, ist in folgender Weise gedacht: Hierfür benützen wir zunächst die günstige Forderung, nur kleine Bewegungen zuzulassen, ferner die schon oben in Erwägung gezogenen Kugeln für die horizontale Bewegungsmöglichkeit. Aus der eben erwähnten Forderung folgt nämlich, dass nur ein sehr kleiner Teil der Kugeloberfläche benutzt wird, es wird sich also nicht als schädlich erweisen, wenn die Kugeloberfläche an irgend einer vom Berührungspunkt z. B. 90° entfernten Stelle unterbrochen ist. Statt einer ganzen Kugel nehmen wir zwei Halbkugeln vom gleichen Radius, die mit ihren Rändern aufeinander passen. An drei Stellen, die in den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks angeordnet sind, sind an jeder Kugeloberfläche Ansätze angebracht. An der Hand der Figuren 20 und 21 wollen wir die Vorrichtung näher betrachten.

K_1 und K_2 sind die beiden aufeinanderpassenden Halbkugeln, die an den Stellen Z_1 , Z_2 und Z_3 die Ansätze tragen. Zur Aufnahme eines Zapfens sind diese durchlöchert. Die an beiden Enden mit einem Gewinde versehenen Zapfen können nun mit Hilfe von je vier Muttern so an den Ansätzen verschraubt werden, dass die beiden Kugelhälften aufeinanderpassen. Die Zapfen gehen durch die Löcher in den Ansätzen frei durch. Denken wir uns in jede der n -vorhandenen Kugeln eine Schraubenfeder derartig eingesetzt, dass ihre Achse senkrecht zum Äquator der Kugel steht und ihre Enden gegen die Kugelwand stossen, so ist die Absicht sofort klar. Lösen wir jede der Schrauben etwas, so dass die belastete Kugel, infolge der Elastizität der Feder, auf- und abspielen kann, so haben wir die vertikale Bewegungsmöglichkeit.

Die Schraubenfedern können wir uns auch einfach um jeden der Zapfen herumgelegt denken; dann müssen die inneren Schraubenmutter entfernt werden und die äusseren nachgelassen werden.

Es sind n Kugeln angenommen worden und zwar, weil dann die Federn nur für den n ten bzw. 3 nten Teil des Gewichtes der Platte berechnet zu werden braucht, was für die Ausführung nicht zu unterschätzen ist.

Hier, wie auch bei den früher gezeichneten Vorrichtungen für die Bewegung in vertikaler Richtung, muss aber darauf geachtet werden, dass die Federn, namentlich die an der Peripherie der Platte vorhandenen, gleich stark sind, da sonst Neigungserscheinungen auftreten.

Für den Fall, dass wir es vorziehen, die Feder um die Zapfen zu legen, genügen Vollkugeln bzw. halbe Vollkugeln, wodurch ein Gewinn an Einfachheit erreicht ist. Auch die Rollen, massive Eisenzyylinder, die wir oben bei der einfachen Schiebepatte in Anwendung sahen, lassen sich in entsprechender Weise umändern so dass auch vertikale Bewegungsfreiheit vorhanden ist; hier ist die

Bewegung in der Ebene nur vom ersten Freiheitsgrad¹⁾. Wenn auch zugegeben werden muss, dass die Konstruktion solcher elastischer Kugeln ein wenig kompliziert ist, so ist, allerdings auch bei der Hängeplatte, die Möglichkeit da, die Krafrichtung schief gegen die Platte wirken zu lassen. Für diesen Zweck müssen an drei Punkten der Platte Schraubenfedern oder Zuggewichte angebracht sein deren Wirkung in der Ebene der Platte liegen. Die folgende Figur 22 zeigt diese Einrichtung näher.

Für den Fall einer schiefen Krafrichtung sind aber zwei registrierende Hebelsysteme nötig, eines für die vertikale, eines für die horizontale Komponente. Auch eine Zweiteilung des für die horizontale Komponente vorhandenen Hebelsystemes lässt sich einrichten, so etwa, dass der eine Hebelarm die Bewegungen der Platte senkrecht zur Aktionsrichtung des zu untersuchenden Instrumentes, der andere die Bewegungen der Platte in der erwähnten Richtung aufzeichnet.

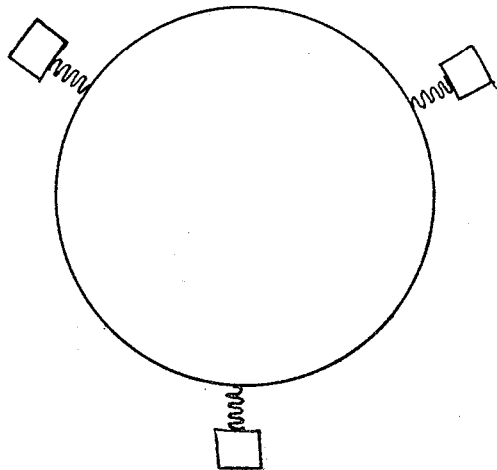


Fig. 22.

Bei dieser Anordnung lässt sich die Untersuchung so eingehend wie möglich gestalten. Hierbei ist nur eines zu beachten, dass die oben erwähnten gedrehten Drähte als Bewegungsmechanismus ungeeignet sind, da die Platte dann Drehungen um eine senkrechte Achse in der Ebene ausführt. Wird die Verbindung eines solchen Mechanismus zu einem Kugelgelenk umgestaltet, dann wird diese Drehung nahezu eliminiert. Sollen aber die Bewegungen der Platte bei ihrer Kleinheit einen möglichst allgemeinen Charakter tragen, dann ist gerade die Verwendung der erwähnten Drillvorrichtung nutzbringend. In diesem Fall liegt für die Platte die Verbindung einer Drehung und einer Schiebung längs der gegen die Senkrechte auf die Platte geneigten Drehachse vor, d. h. aber wir haben es mit einer Schraube zu tun. Die Anordnung, diese Bewegung zu erlangen, geschieht in folgender Weise: Unterhalb der Platte, parallel zu ihr, und starr mit ihr verbunden, ist eine Kreisscheibe angebracht. In der Entfernung e ist auf dem Boden unter der Platte eine zweite Scheibe vom gleichen Durchmesser befestigt, doch so, dass sie sich versetzen lässt. Die Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Scheiben ist gegen e

¹⁾ Anmerk. Auch mit Hilfe von Rollenwalzen lässt sich eine Platte in der Ebene nach beliebiger Richtung verschieben. Allgemein angedeutet denke ich mir die Lösung in folgender Weise:

Eine Platte P besitze für die Möglichkeit der rollenden Fortbewegung an 4 Stellen je eine Walze (massiver Zylinder aus Stahl). Die Enden der Längsachsen dieser sind in Lagern, die an der Platte befestigt sind, drehbar; die Achsen sind parallel der Platte und untereinander parallel. Jede dieser 4 Walzen ruht nun wieder auf je 1 Walze. Die Achsen dieser stehen senkrecht zu den der ersteren und sind gleichfalls in Lagern, die im Boden befestigt sind, drehbar. Ich begnüge mich vorläufig mit dieser kurzen Bemerkung. Die Lager können aber auch ganz fortfallen.

um den Winkel α geneigt. An je n -Punkten sind am Rande jeder Scheibe Löcher gebohrt zum Befestigen von n -Drahtseilen. Zieht man diese Drahtseile, so erhält man zunächst das bekannte Modell einer Regelfläche, wenn man die eine Scheibe gegen die andere verdreht, die Drahtseile sind die Erzeugenden. Für das bequemere Zustandekommen der Drillung der Drähte sind diese durch eine dritte Scheibe von kleinerem Radius gezogen. Die letztere befindet sich in der Mitte zwischen den beiden grösseren Scheiben. Mit dieser Mittelscheibe ist ein Querstab

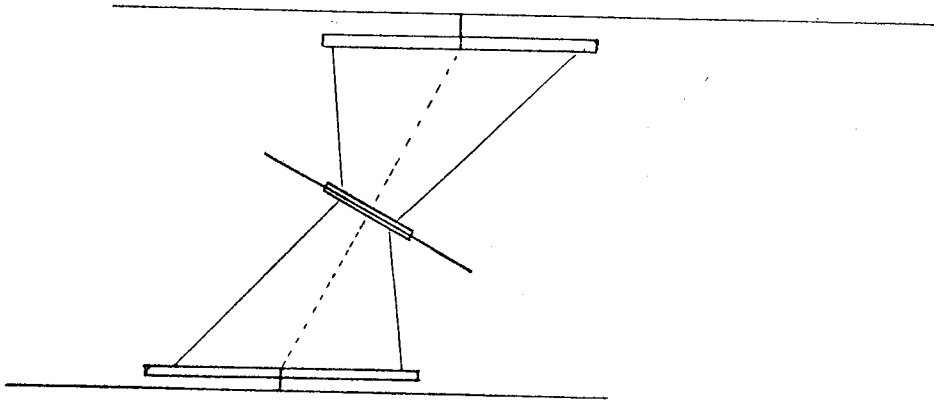


Fig. 23.

verbunden, der bequem eine Drillung der Drähte zulässt. Für den Versuch ist die Platte an den oben drei erwähnten seitlichen Schraubenfedern festgelegt. Die vorstehende Skizze 23 zeigt die beabsichtigte Einrichtung.

Für $n=2$ ergibt sich der einfachste Fall, der schon gelegentlich der Bewegung der Schiebeplatte zur Sprache gekommen ist und hier nur schief angeordnet zu werden braucht. Für den Versuch wird man gut tun, diese Drillvorrichtung zuerst zu spannen und den Querstab für die neue Lage der Platte in geeigneter Weise teilweise festzulegen und dann die kleinen Bewegungen für die Untersuchung des Apparates auszuführen. Dieser Abschnitt der Prüfung der Instrumente auf einer Plattform ist der schwierigste, aber doch interessanteste. Die Bewegungen der Platte zeichnen drei Hebelsysteme auf, nämlich: ein Hebelsystem ist bestimmt für die Registrierung der Drehung der Platte, ein zweites für die Komponente der vertikalen Bewegung und ein drittes für die horizontale Komponente in bestimmter Richtung. Die mechanische Registrierung auf berussten Streifen halte ich für diesen Fall als den einfachsten und besten Weg.

Im Anfang dieser Arbeit habe ich kurz den Vorschlag von Prof. Hecker erwähnt. Nach diesem soll ein Pfeiler benutzt werden, der die Stelle der Platte vertritt. Ähnlich wie bei den Beobachtungen des Mitschwingens des Pendelstativs bei den Schwerebestimmungen soll auch hier der Pfeiler durch ein Dynamometer in Bewegung gesetzt werden. Die Pfeiler müssen ziemlich massiv gebaut sein, da auch hier vielleicht im verstärkten Grade die freien Schwingungen

desselben zu fürchten und zu eliminieren sind. Die Kraft, die angewendet werden muss, um den Pfeiler in gewünschter Weise zu bewegen, muss ziemlich beträchtlich sein. Die Bewegungen des Pfeilers werden auch wie oben registriert und für den Vergleich und die Untersuchung des Instrumentes benutzt.

Es galt zunächst, die sicherste Art und Weise zu finden, mittelst deren der Pfeiler bewegt werden kann. Im Observatorium der Kaiserlichen Hauptstation für Erdbebenforschung sind im grossen photographischen Beobachtungszimmer zwei grosse Beton-Pfeiler errichtet. Jeder ist 3 m hoch und steht in einer Tiefe von 2,3 m in einem Brunnen, isoliert vom umliegenden Fussboden. Zu etwa 70 cm ragt jeder über den Fussboden hervor; sie sind rund und die Oberfläche, die das Instrument tragen soll, hat einen Durchmesser von 70 cm. Die Mittelpunkte beider sind ca. 2 m voneinander entfernt. Eine genauere Beschreibung dieser findet sich in den Beiträgen zur Geophysik, herausgegeben von G. Gerland, Band 5, in der Beschreibung des Observatoriums der Kaiserlichen Hauptstation für Erdbebenforschung zu Strassburg i. E. vom Kaiserlichen Baurat Jaehnicke. Ich habe diese günstige Gelegenheit benutzt, und nach einigen angestellten Versuchen habe ich folgende Einrichtung für die Untersuchung der Instrumente auf diesem Wege getroffen.

Die Enden eines 7 m langen, 12 mm starken Drahtseiles wurden miteinander fest verbunden, so dass ein Nachgeben bei grosser Kraftanwendung unmöglich war. Die Zugfestigkeit des Seiles ist über 600 kgqcm. Dieses endlose Seil wurde um beide Pfeiler geschlungen, so dass die Angriffslinie etwa 15 cm unterhalb der Kante der Pfeiler zu liegen kam. Was weiter geschieht, ist nach dem Früheren leicht zu erraten. Die beiden mittleren Teile des Seiles wurden durch einen Querstab umeinander gedreht. Auf diese Weise wurden beide Pfeiler aus ihrer Ruhelage herausgebracht und durch mehr oder weniger kräftiges Anziehen Bewegungen derselben erzielt. Nur ein Umstand ist zu beachten, die Pfeiler müssen erst durch Drillen der Seile in eine neue Nulllage gebracht werden, um die sie die erzwungenen Schwingungen ausführen. Die Grösse der Periode und der Amplitude (natürlich innerhalb annehmbarer Grenzen) liegt im Belieben des Beobachters. Belaste ich das eine Ende des Querstabes durch ein entsprechend grosses Gewicht so, dass dieser horizontal stehen bleibt und angestossen kleine Schwingungen um die Nulllage macht, so machen auch die Pfeiler periodische Schwingungen, freilich nur für kurze Zeit. Dieser Weg, die Pfeiler in Bewegung zu setzen, scheint mir nach allem der einfachste zu sein und bringt möglichst wenig Mängel mit sich.

Neben dem Bewegungsmechanismus muss wiederum eine Registriervorrichtung vorhanden sein, die es gestattet, die Pfeilerbewegungen aufzuzeichnen. Man kann natürlich mechanische und optische Registriervorrichtungen einrichten; letztere ist in diesem Fall angewendet. Ein Spiegel vom Radius 4,77 m ist für die Konstruktion eines optischen Hebels benutzt, so dass die resultierende Vergrösserung etwa 900fach ist. Die Drehachse ist zwischen Spitzen gelagert; vorher hatte ich einen gespannten Draht als Drehachse verwendet, der sich aber nicht bewährte. Am Pfeiler ist unterhalb des Zugseiles ein Eisenstück anzementiert, an welchem

die Verbindungsstange, die die Pfeilerbewegungen auf den optischen Hebel übertragen soll, angeschraubt ist. Die Verbindung geschieht hier auf die schon an anderen Orten von mir empfohlene Art: am Arm des optischen Zeigers ist eine Achatpfanne angebracht, gegen die die Spitze des Verbindungsarmes drückt; um beide ist eine Spiralfeder gewickelt, so dass ein Freiwerden des einen Teiles verhindert wird. Der Spiegel ist auf einem mit dem Boden des Saales befestigten Konsol angebracht. Das von einer Nernstlampe auf den Spiegel auffallende Licht wird auf eine mit photographischem Papier bezogene Registriertrommel reflektiert. Die Lichtquelle muss in diesem Fall intensiv sein, da die kurzperiodischen Bewegungen sonst nicht scharf genug aufgeschrieben werden; wird die Vergrößerung des optischen Hebels heruntergedrückt, so werden nicht alle Bewegungen des Pfeilers deutlich genug hervortreten. Es kommen noch andere Punkte hinzu, die beachtet werden müssen; diese werden bei den eigentlichen Beobachtungen berücksichtigt.

Kehren wir nun noch einmal kurz zur Hängeplatte zurück und versuchen wir, ob es möglich wäre, diese Art der Untersuchung eines Instrumentes auf einem bewegten Pfeiler, auch mit der Platte und dem Gestell auszuführen.

Die Konstruktion der Hängeplatte ist, wie es sich oben zeigte, so vorgesehen, dass die Platte fest mit dem Gestell verbunden werden kann. Die Platte ist dann ziemlich am unteren Ende des Gestelles angeschraubt, dessen einzelne Säulen bekanntlich fest mit dem Boden verankert sind; am oberen Ende sind sie durch starke Schienen mit einander fest verbunden. Die Schienen sind im gleichseitigen Dreieck angeordnet, in dessen Schwerpunkt, der in der Gestellachse liegt, die bewegende Kraft angreifen muss. In gewisser Weise sind hier die Verhältnisse, wenn auch analog, aber doch umgekehrt angeordnet. Greift in dem eben erwähnten Punkt eine Kraft an und wirkt sie im beliebigen Rythmus, wie mit beliebiger Amplitude, so wird auch die Platte mit dem Instrument in Bewegung gesetzt. Werden noch die Verrückungen der Platte mit Hilfe eines Hebelsystems, wie oben mehrfach erwähnt, registriert, so ist eine Vergleichung dieser und der Instrumentaufzeichnungen ermöglicht. Es bleibt nur noch übrig, über die Anordnung der Kraft einige Worte zu sagen.

Ein Drahtseilrad wird mit seiner Ebene in dem gleichseitigen Schienen-Dreieck so angebracht, dass sein Mittelpunkt mit dem des Dreiecks zusammenfällt. Die Befestigung des mittelgrossen Rades geschieht am einfachsten durch Holzversteifungen, die nach den bekannten Linien im Dreieck angeordnet sind. An der Mauer, die dem Gestell am nächsten ist, wird in geeigneter Weise ebenfalls ein solches Seilrad angebracht. Um die Radkränze beider wird ein wie oben in sich geschlossenes Drahtseil von entsprechender Stärke geschlungen, dieses durch einen Querstab gedrillt und so Bewegungen des Gestelles erzielt. Das Weitere ist nach den obigen Erläuterungen klar.

Untersuchen wir jetzt noch die Frage, wie weit es möglich ist, die seismische Schiebeplatte, die ja ganz besonders einfach ist, mit den Pfeilerbewegungen zu verbinden. Ferner stellen wir nun noch die Forderung, dass grosse Pfeiler nicht vorhanden sind und auch nicht benutzt werden sollen.

Nach einigen Handversuchen scheint mir folgender Weg sehr einfach und möglichst einwandfrei zu sein. Mit Hilfe von den bekannten bei Wasserleitungen genutzten Tonröhren von ungefähr 1 m Höhe und etwa 30 cm Durchmesser werden 3 kleine Pfeiler gebaut. Eine möglichst starre Verbindung jedes dieser Pfeiler mit der Erde wird dadurch erzielt, dass mittelstarke Eisenschienen zum Teil im Boden einbetoniert sind und zum Teil in das Innere der mit Zement ausgefüllten Röhre hineinragen. Der Kopf eines jeden Pfeilers hat Eisenklammern, mittelst deren die Schiebeplatte mit dem Pfeiler verbunden werden kann. Die Pfeiler sind im gleichseitigen Dreieck, dessen Seite ca. 70 cm ist, angeordnet; etwa 15 cm unterhalb der Köpfe ist ein starkes Brett angebracht, mit dem das schon erwähnte Drahtseilrad verbunden ist, dessen Mittelpunkt mit dem Mittelpunkt des Dreiecks zusammenfällt. Die weitere Anordnung geschieht in ähnlicher Weise wie oben. Das die Bewegungen der Schiebeplatte registrierende Hebelsystem muss in diesem Fall unbedingt mit der Schiebeplatte und nicht mit einem der Pfeiler verbunden werden.

Der Nachteil der Benutzung von Pfeiler für die Untersuchung der Instrumente ist der, dass kleine Neigungserscheinungen auftreten. Freilich muss gleich zugegeben werden, dass bei allen obigen Vorrichtungen solche Fehlerquellen, wenn auch im kleinen Grade, auftreten; es liegt das eben in der unvollkommenen Ausführung. So z. B. wird es nahezu unmöglich sein, die bei der Benutzung der Schiebeplatte notwendigen eisernen Zylinder, die als Walzen benutzt werden müssen, genau gleichrund zu erhalten. Man muss eben darauf sehen, alle Einzelheiten, auf die es besonders ankommt, möglichst fehlerfrei zu konstruieren.

Der Idealfall einer genauen horizontalen Bewegung wäre vielleicht ein hohler viereckiger Kasten, der in einer Flüssigkeit schwimmt und als Plattform zur Aufnahme des Instrumentes dient. Aber auch hier wird die Forderung nicht genau erfüllt; infolge der Bewegungen der Pendelmasse, wenn sie auch nur klein sind, werden Neigungserscheinungen auftreten, die nur dann verschwindend sind, wenn der Kasten, diese schwimmende Untersuchungsplatte, grössere Dimensionen hat. Zum Bau einer derartigen Einrichtung wird man sich aber kaum entschliessen.

Im Verlauf dieser Zeilen habe ich drei verschiedene Vorrichtungen zur Untersuchung von Erdbebeninstrumenten eingehend erläutert. Je nach den herrschenden Verhältnissen wird man sich für diese oder jene in der Praxis entscheiden. Hinweisen möchte ich aber doch auf die möglichst universelle Verwendbarkeit der „seismischen Hängeplatte“. Ist eine absolute Untersuchung eines Apparates im Gang, so wird diese naturgemäss einige Tage oder auch Wochen in Anspruch nehmen. Ist eine Tagesreihe beendet, so ist es nicht nötig, den Apparat von der Plattform zu entfernen und ihn wieder anderswo, bis zur Fortsetzung der Reihe, für den wirklichen Betrieb aufzustellen. Wenn ein Erdbeben stattfindet, so wird das Pendel dieses registrieren, wenn nur Sorge getragen ist, dass die Untersuchungsplatte mit der Erde verankert ist¹⁾. Bei der Hängeplatte geschieht dies, wie wir oben ge-

¹⁾ Anmerk. Dieser Fall ist bereits eingetreten.

sehen, durch Anschrauben der Platte an die Gestell-Pfeiler, bei der Schiebeplatte durch Anschrauben derselben an eine Art von Prellböcken.

Hat man sich für die Benutzung einer seismischen Hängeplatte entschieden, so kann diese nach Beendigung der Versuchsreihe als Erdbebenpendel, sei es für die horizontale Komponente, sei es für die vertikale Komponente benutzt werden. Durch Auflegen von Eisenplatten kann die Masse entsprechend erhöht werden. Die Hängeplatte bietet noch einen weiteren Vorteil, der darin besteht, dass die Platte und das zu untersuchende Instrument bei Gelegenheit eines Erdbebens als registrierendes freilich ungedämpftes Erdbebenpendel dienen kann. Die minimalen Bewegungen des Systems Platte und Instrument werden von dem Registrierhebelsystem aufgezeichnet und können mit den Registrierungen des zu untersuchenden Erdbebeninstrumentes weiter verglichen werden. Bleibt die Platte im Anfang des Bebens infolge des Trägheitsgesetzes kurze Zeit unbeweglich, so wird das Instrument auf der Platte auch nichts aufzeichnen, wogegen das Registrierhebelsystem der Platte etwas verzeichnen wird, weil die Platte als Stosspunkt wirkt. Ich mache hier aufmerksam auf die Anmerkung pag. 5.

Im Laufe dieser Arbeit habe ich versucht, die Untersuchungsplatte so anzuordnen, dass ihr, oder besser gesagt dem Schwerpunkt derselben, mit möglichster Annäherung alle jene Bewegungen erteilt werden können, denen der Schwerpunkt des Instrumentengestelles bei Gelegenheit eines nicht allzunahen Bebens unterworfen ist. Aus diesem Grunde habe ich darauf gesehen, der Platte nach Möglichkeit kleine Bewegungen erteilen zu können.

Hierzu diene vor allem ein verkleinernder Bewegungshebel, der möglichst starr konstruiert sein muss.

Nichts hindert aber, anstatt des Hebels, der die Bewegungen verkleinert, einen solchen zu nehmen, der dieselben vergrößert. In diesem Fall wird dagegen das registrierende Hebelsystem die Bewegungen der Platte verkleinert wiedergeben müssen.

Sind diese beiden Vorrichtungen, die nach den obigen Zeilen leicht anzu bringen sind, auch mit der Untersuchungsplatte verbunden, so ist die Platte für die Beobachtung der Instrumente, wenn diese für die Registrierung von stärkeren lokalen Beben benutzt werden sollen, hergerichtet.

Die Untersuchung solcher Instrumente ist fast schwieriger als die der für die Registrierung von Beben mit entfernteren Herden bestimmten Apparate.

Gelegentlich einer solchen Beobachtungsreihe lässt sich auch die Brauchbarkeit eines Gestelles für die die genaue Zeit gebende Uhr untersuchen. Meiner Meinung nach muss ein solches Gestell für die sichere Aufhängung einer Uhr in Erdbebengebieten vorhanden sein. Ein solches Gestell muss nach Möglichkeit den Einfluss der Erschütterungen auf eine genaue Uhr schwächen oder ganz aufheben. Freilich kann man mit gewisser Annäherung sich bezüglich der Berechnung der genauen Zeit des Erdbebenstosses auf die Weise helfen, dass nicht zu weit liegende Stationen herangezogen werden. Dann braucht man aber auch keine Erdbebenapparate in solchen habituellen Schüttergebieten aufzustellen. Die Intensität lässt

sich aus dem Verhalten von grösseren geeigneten Gegenständen gegenüber dem Stoss ermitteln. Für den Zweck die Intensität eines Erdbebens im eigentlichen Schüttergebiet zu erforschen, lässt sich bequem eine Reihe von δ -Säulen, die an Standsicherheit und Bruchfestigkeit variieren, aufstellen, nachdem vorher die einzelnen Objekte einer solchen Säulenreihe auf der Untersuchungsplatte untersucht und, wenn ich so sagen darf, seismisch geeicht sind. Ich kann nämlich an der Hand der der Platte erteilten Bewegungen die beschleunigenden Kräfte ermitteln, die irgend welchen schadhafte Einfluss auf die Säulen ausüben.

Die seismische Hängeplatte lässt sich aber auch noch in anderer Weise verwenden, nämlich für die Untersuchung erdbebensicherer Häuser und Brücken. Für diesen Fall baue ich Häusermodelle nach erdbebensicheren Prinzipien und ebenso Brückenmodelle in einem bestimmten Verhältnis zur natürlichen Grösse¹⁾. Hier versagt vorerst die Untersuchungsplatte bei der Forderung der Nachahmung der horizontalen Verschiebungen, wie sie öfters in Erdbebengebieten auftreten. Aber auch diese lassen sich herstellen und so diese äusserst wichtigen Untersuchungen möglichst naturgetreu ausführen.

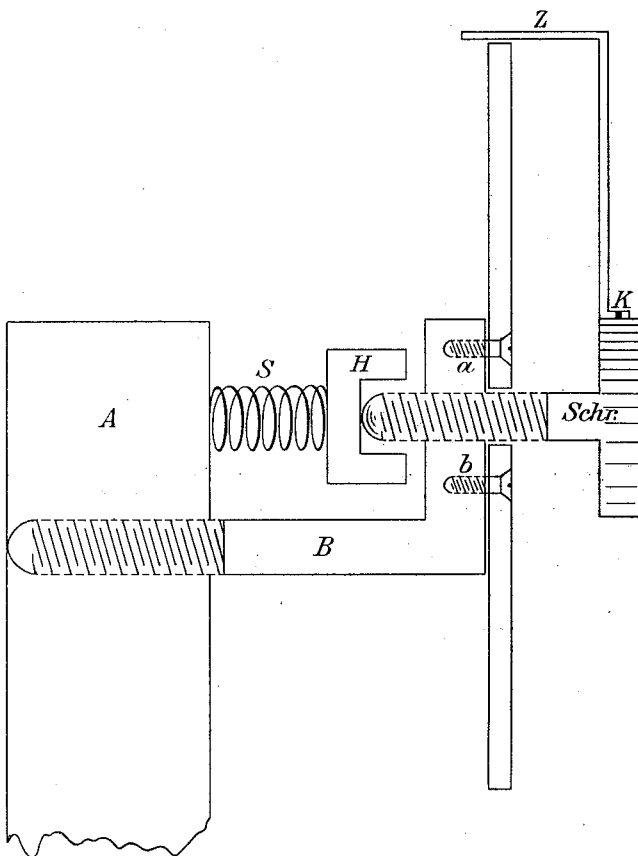
Ich benutze hierfür das Prinzip der oben geschilderten Schiebepatte, und zwar sind dann zwei solcher nötig. Beide müssen mit Beton ausgefüllt sein, und es muss möglich sein, beide dicht aneinander vorbei hin und her zu schieben. Das Untersuchungsmodell ist natürlich auf beiden Platten, die Grenzlinie unter beliebigem und zu veränderndem Winkel schneidend, befestigt. Die Konstruktion einer solchen Doppelplatte ist nicht schwierig, so dass ich mich mit dem Hinweis begnüge. Ich werde hierauf gelegentlich einer neuen Konstruktion eines erdbebensicheren Hauses und einer solchen Brücke näher eingehen, wobei ich auch die gegenseitige Verschiebung im vertikalen Sinn berücksichtigen werde.

Hiermit beendige ich diesen Teil der Arbeit „Eine neue seismische Untersuchungsplatte“ und werde in dem zweiten Teil, der die tatsächlichen Beobachtungen bringen wird, auf einzelne Punkte in jeder Hinsicht näher eingehen.

¹⁾ Dieses Verhältnis ist für die weitere Konstruktion der Häuser wichtig.

Erklärungen zu den beigegebenen Tafeln.

Tafel I gibt eine Totalansicht der neuen Untersuchungsplatte. Zur Linken des Beschauers befindet sich der Hebel, mit dessen Hilfe die Platte in horizontale Bewegung gesetzt wird. Zur Rechten des Beobachters ist das registrierende Hebelsystem montiert. Die Verbindung



beider Hebelsystem mit der Plattform durch zwei Verbindungsarme ist ebenfalls deutlich zu sehen. Die Vorrichtung, die minimalen Bewegungen der Platte möglichst sicher zu erreichen, habe ich gegen die vorangegangene Beschreibung aus verschiedenen Gründen noch etwas anders gestaltet. A in der nebenstehenden Figur ist ein Eisenstab vom quadratischen Querschnitt, (4 cm Quadratseite), der fest in den Erdboden eingerammt und einzementiert ist. B ist ein Haken aus starkem Bandeisens, der in den Eisenstab A fest eingeschraubt ist. Das Hakenende von B dient einer Schraubenspindel Schr. als Mutter. Diese Spindel hat einen ränderierten Kopf von 5 cm Durchmesser. Am Hakenende von B ist bei a und b ein in 100 Teile geteilter Teilkreis festgeschraubt. Eine Umdrehung der Schraube ist 1,2 mm, somit ein Teil des Teilkreises gleich 0,012 mm. Z ist der mit dem Schraubenkopf K befestigte Zeiger, der zum genaueren Ablesen der Teile dient. Zwischen dem Eisenstab A und dem Ende der Schraube Schr. befindet sich

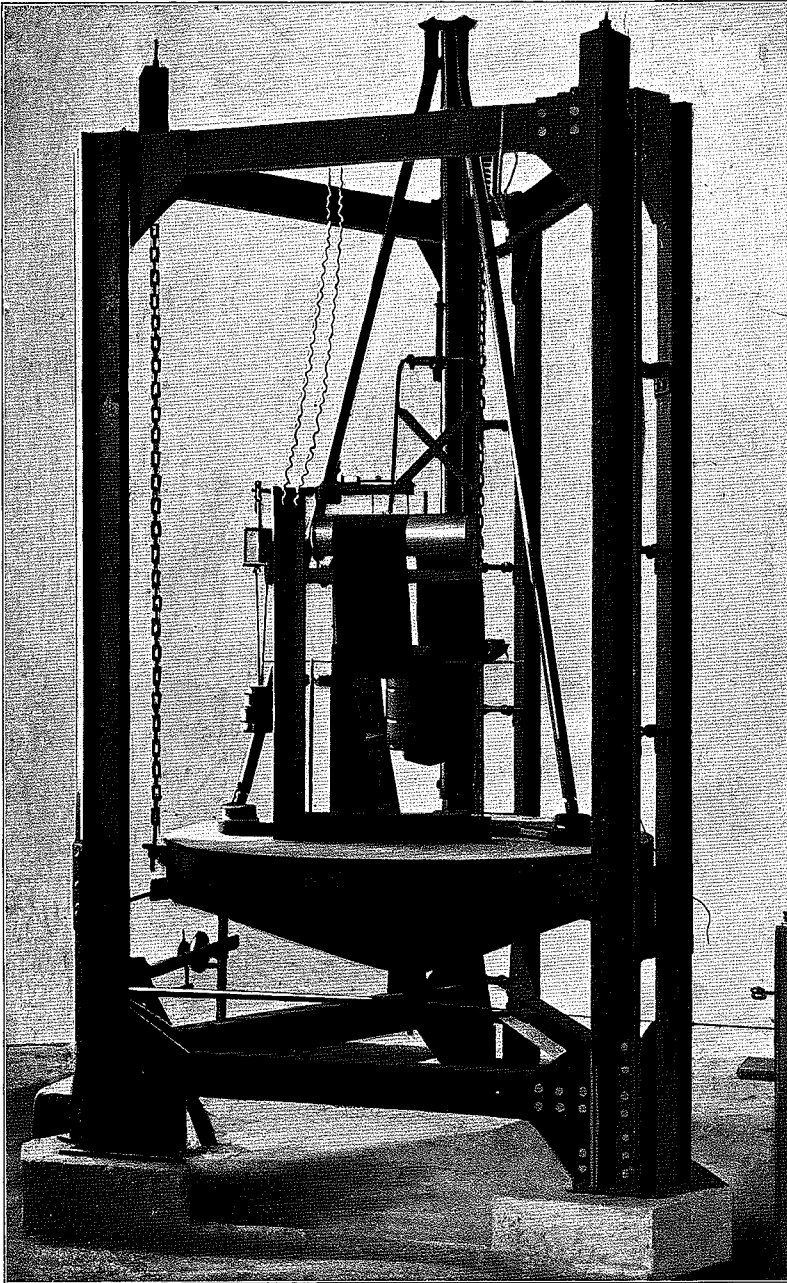
noch eine Schraubenfeder S und der Arm H des Bewegungshebels. Die Schraubenfeder S, die genügend stark ist, lehnt sich einerseits gegen den Eisenpfosten A, andererseits gegen den Arm H, den sie an das Ende der Schraubenspindel drückt. Schrauben wir nun die Schraube in B hinein, so wird H sich nach A hinbewegen und S zusammengedrückt. Beim Zurückdrehen der Schraube wird der Arm H infolge des Federdruckes genau der Spindel folgen. Die Bewegungen der Schraube werden durch das Hebelsystem 8 mal verkleinert und wirken

dann auf die Platte. Eine Bewegung der Schraube um einen Teil des Teilkreises würde also eine Bewegung der Platte von $1,5 \mu$ zur Folge haben. Das Weitere ist aus dem Text ersichtlich. Bemerkte sei noch, dass Tafel I das bifilare Kegelpendel meiner Konstruktion in einfacher Ausführung, gebaut in der Kaiserl. Hauptstation für Erdbebenforschung, auf der Platte aufgestellt, zeigt.

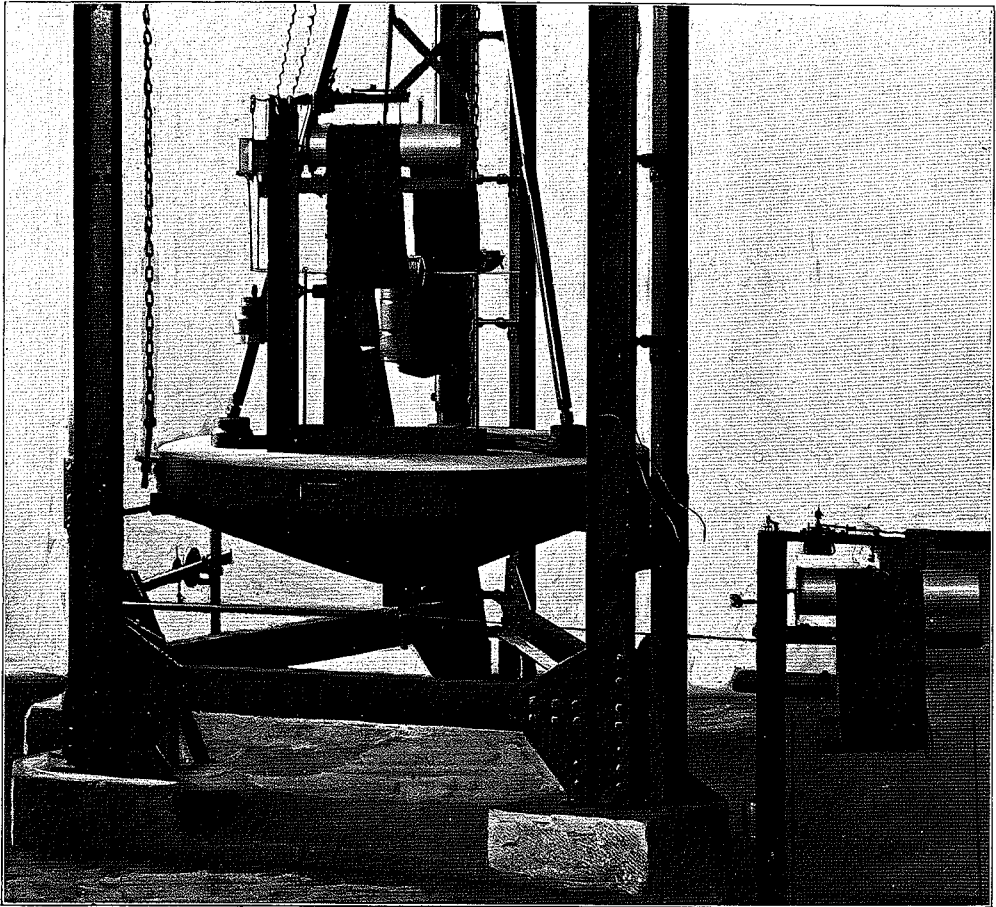
Tafel II zeigt ungefähr dasselbe wie Tafel I, nur den unteren Teil deutlicher. Ferner ist noch rechts vom Beschauer der Registrierapparat für die Registrierung der Bewegungen der Platte zu sehen.

Tafel III zeigt die Schiebeplatte. Auf derselben ist das bifilare Kegelpendel meiner Konstruktion in besserer Ausführung zu sehen. Der grösseren Deutlichkeit wegen ist der Registrierapparat der Platte, wie auch der des Pendels und der Bewegungsmechanismus weggelassen worden.

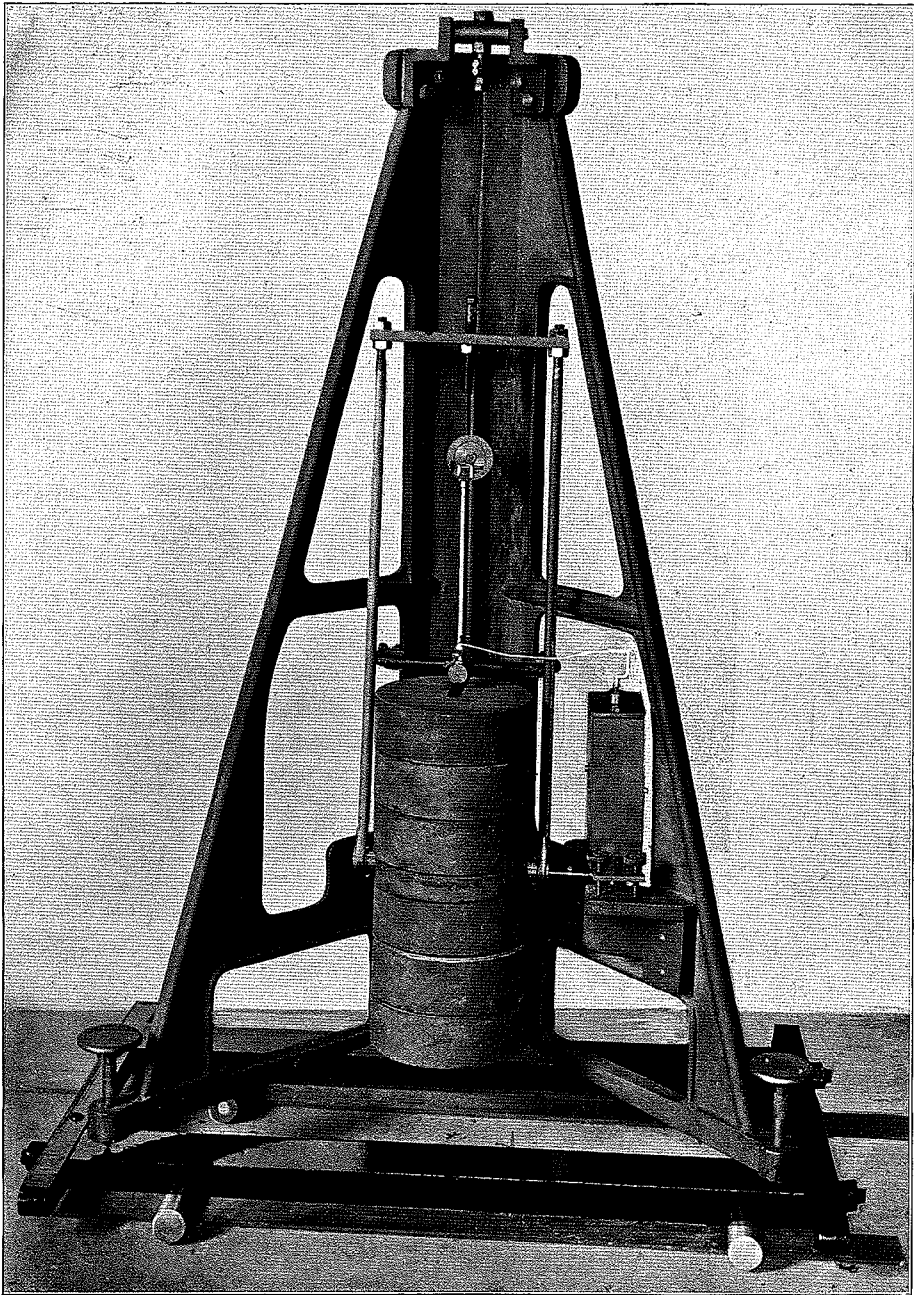




Tafel I.



Tafel II.



Tafel III.