

## Werk

**Jahr:** 1929

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:5

**Digitalisiert:** Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

**Werk Id:** PPN101433392X\_0005

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X\\_0005](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0005)

**LOG Id:** LOG\_0014

**LOG Titel:** Die Registrierung von Pendelschwingungen mittels kapazitiver Kontakte

**LOG Typ:** article

## Übergeordnetes Werk

**Werk Id:** PPN101433392X

**PURL:** <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

**OPAC:** <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

## Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

## Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen  
Georg-August-Universität Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen  
Germany  
Email: [gdz@sub.uni-goettingen.de](mailto:gdz@sub.uni-goettingen.de)

## Die Registrierung von Pendelschwingungen mittels kapazitiver Kontakte.

Von **H. Mahnkopf**. — (Mit zwei Abbildungen.)

Es werden Versuche behandelt, die teils in Zikawei und in Paris von P. Lejay, teils am Geodätischen Institut in Potsdam ausgeführt worden sind. Die Versuche zeigen, daß die elektrischen Kontakte in Präzisionspendeluhrn durch verhältnismäßig einfache, mit hochfrequenten, kurzwelligen Schwingungen arbeitende Apparate ersetzt werden können, und daß auch die Schwingungen von Schwerkraftpendeln sich mit Hilfe kapazitiver Kontakte unter Erreichung einer sehr hohen Genauigkeit registrieren lassen.

Den elektrischen Kontakten, insbesondere denjenigen in Pendeluhrn, haften gewisse Mängel an, die sich niemals ganz beseitigen lassen. Man hat daher versucht, sich von den elektrischen Kontakten, wenigstens in gewissen Fällen, vollständig zu befreien, indem man die Bewegung eines Pendels mit Hilfe von hochfrequenten Schwingungen (um den hier nicht angebrachten Ausdruck „Funkentelegraphie“ zu vermeiden) registriert hat. Solche Versuche sind teils von P. Lejay in Zikawei (China) und in Paris, teils am Geodätischen Institut zu Potsdam durchgeführt worden. Lejay berichtet über seine Versuche in den beiden Arbeiten: „Ein Schritt zur Beseitigung der Kontakte in den Präzisionspendeluhrn“<sup>1)</sup> und „Die genaue Bestimmung der Schwingungsdauer eines Pendels. Neue Registriermethoden und Uhrvergleiche größter Genauigkeit ohne Chronographen“<sup>2)</sup>. Die zweite Methode von Lejay sei an Hand der Fig. 1, die im wesentlichen der von Lejay gegebenen Abb. 4<sup>3)</sup> entspricht, kurz erläutert.

Das Pendel  $P$  trägt an seinem unteren Ende einen dünnen Draht  $d$  (etwa 10 mm lang, 0.1 mm dick) und eine kleine Platte  $P_1$  (etwa 10 mm lang, einige Millimeter breit), die elektrisch leitend miteinander verbunden, jedoch vom Pendelkörper isoliert sind. In der Mittellage des in Bewegung gesetzten Pendels  $P$  schwingt  $d$  dicht über einen längeren festen Draht  $A$ ,  $P_1$  dicht über eine feste Platte  $P_2$  hinweg.  $H$  ist ein kleiner radioelektrischer Sender (Heterodynapparat); als „Senderöhre“ kann eine geeignete Rundfunkröhre dienen. Der Draht  $A$  ist die Antenne des Senders. Der Sender ist auf eine Welle zwischen 200 und 600 m abgestimmt. Auf der anderen Seite des Pendels ist der Empfänger mit der Empfängerröhre  $G$  und der „Empfangsantenne“  $E$  aufgestellt.  $E$  verbindet die Platte  $P_3$  direkt mit dem Gitter der Röhre. Der Empfänger ist, wie wir sehen, aperiodisch abgestimmt, damit Schwankungen

der Senderwelle unschädlich gemacht werden. — Das Pendel  $P$  stellt nun bei jeder Halbschwingung eine „kapazitive Brücke“ zwischen den Antennen des Senders und des Empfängers her. Bei jedem Durchgang durch die Mittellage erfolgt ein plötzliches starkes Anschwellen der vom Sender auf den Empfänger übertragenen Energie, und dieser Impuls wird durch den in Fig. 1 angedeuteten Niederfrequenzverstärker noch so weit verstärkt, daß er von einem Oszillographen registriert wird. Bei dieser Registrierung der Pendeldurchgänge erfolgen die Einsätze, wie Lejay gezeigt hat, mit solcher Exaktheit, daß man, eine genügend gute Registriereinrichtung vorausgesetzt, mit dem zehntausendsten Teil der Sekunde noch arbeiten kann.

Wenn mit dieser Einrichtung praktische Messungen gemacht werden sollen, so müssen der Draht  $d$ , die Platten  $P_1$ ,  $P_2$  und das freie Ende der Antenne  $A$  selbstverständlich sorgfältig in feste, unveränderliche Isolierstoffe eingebettet werden, damit Veränderungen der Form und Lage dieser empfindlichen Teile und Änderungen der Schwingungsdauer des Pendels vermieden werden.

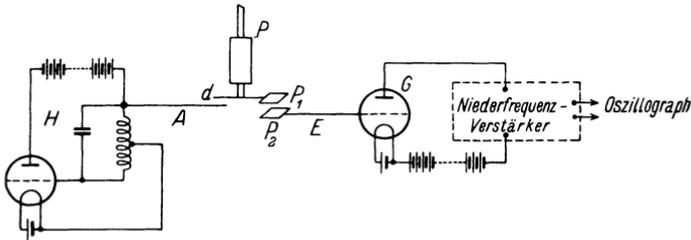


Fig. 1.

Im übrigen ist die Fig. 1 rein schematisch aufzufassen, insbesondere auch die in der Zeichnung gewählte Form des Pendels  $P$ . Wir können für das Folgende voraussetzen, daß es sich um Schwerkraftpendel handelt; bei den astronomischen Pendeln liegen die Verhältnisse durchweg noch etwas günstiger.

Die am Geodätischen Institut zu Potsdam durchgebildete Apparatur weicht von der in Fig. 1 dargestellten Einrichtung wesentlich ab. Das Prinzip der kapazitiven Brücke, das sich als vorzüglich erwiesen hat, und die aperiodische Abstimmung der Empfängerseite wurden von Lejay übernommen. Statt des Heterodynamapparates  $H$ , der in Fig. 1 als Sender dient, wurde jedoch in Potsdam ein Röhrengerät mit Rückkopplung benutzt, und zwar ein gewöhnlicher Audion-Rückkopplungsempfänger mit einer Röhre, in deren Anodenstromkreise die Rückkopplungsspule lag. Es ist bekannt, daß durch Einstellung der Rückkopplung die mit einem solchen Gerät gekoppelte Antenne zu starker Energieausstrahlung gebracht werden kann. Die über die kapazitive Brücke auf das Gitter der Empfängerröhre  $G$  übertragene Energiemenge war so groß, daß ein nach heutiger Auffassung veralteter Zweiröhren-Niederfrequenzverstärker bei weitem ausreichte, die dahintergeschaltete Registriereinrichtung zu betätigen, so daß keine der von Lejay angegebenen und benutzten Verstärkerschaltungen

mehr nötig war. Für die Registrierung der Pendelschwingungen wurde statt des in Paris benutzten Oszillographen in Potsdam ein in den Anodenstromkreis der letzten Verstärkerröhre gelegtes „Telephonrelais“ verwendet. Das ist ein festmontiertes Telephon mit  $4000 \Omega$  Widerstand, das statt der Schallmembran eine starke Blattfeder aus Stahl besitzt, der eine Eigenschwingung von 800 bis 1000 Schwingungen pro Sekunde zukommt. Die günstigste Tonhöhe dieses Resonanzrelais läßt sich mit Hilfe der Rückkopplung des „Senders“ leicht einstellen, und damit ist die Abstimmung des ganzen Systems beendet. In der Notwendigkeit einer solchen Abstimmung liegt ein Nachteil gegenüber der von Lejay benutzten Apparatur, die keine Abstimmung erfordert; dafür ist bei der Potsdamer Anordnung aber die zur Verfügung stehende Energie größer.

Für die Ausführung der Registrierung selbst bieten sich verschiedene Wege dar; z. B. kann auf der Blattfeder des Telephonrelais ein kleiner Spiegel befestigt werden, dessen Schwingungen in bekannter Weise ein Lichtschreiber registriert.

Mit Hilfe der hier beschriebenen Apparatur sind übrigens die in der nachfolgenden Arbeit von H. Schmehl (S. 53) behandelten Versuche über die Rückwirkung der ganzen Apparatur auf die Schwingungszeit des Pendels durchgeführt worden.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß sich aus der Verwendung eines Rückkopplungsempfängers als Sender noch wesentliche Vereinfachungen der ganzen Apparatur ergeben, denn der Sender kann gleichzeitig gewissermaßen wieder als Empfänger benutzt werden. Der Niederfrequenzverstärker nebst dem Registrierapparat wird an den „Sender“ angeschlossen, und die kapazitive Brücke wird mit passend gewählten Stellen eines Hochfrequenzkreises des Systems verbunden. Es gibt viele Möglichkeiten der Ausführung, die von der gewählten Schaltung des „Senders“ abhängen und hier im einzelnen nicht behandelt werden können. Noch weitere Vereinfachungen ergeben sich dann, wenn mit einer Verstimmung eines Hochfrequenzkreises durch das Pendel gearbeitet wird. Eine solche Schaltung, die in Potsdam mit gutem Erfolg angewendet wurde, und die mir sehr einfach zu sein scheint, zeigt Fig. 2. Wir sehen eine einfache Audion-Rückkopplungsschaltung vor uns ( $Q$  Röhre,  $S$  Gitterspule,  $D$  Abstimmkondensator,  $w$  Silitwiderstand,  $k$  Gitterkondensator,  $R$  Rückkopplungsspule,  $T$  Antenne, bei den Versuchen etwa 1 m lang). Die Darstellung des Pendels  $P$  (bei den Versuchen ein an einer Stahlschneide aufgehängter einfacher Messingstab) ist wieder rein schematisch; der dünne Draht  $d$  war bei den Versuchen durch eine an die untere Fläche des Stabpendels angeschliffene Schneide ersetzt.

Diese „Verstimmungs“-Schaltung arbeitet folgendermaßen. Es wird zunächst so abgestimmt, daß nur noch eine geringe Drehung am Kondensator  $D$  erforderlich ist, um die Selbsterregung von ihrem Anfangszustande auf einen hohen Wert zu bringen. Eine geringe Änderung der Kapazität genügt dann, um in einem Telephon die ganze Tonleiter der hörbaren Töne zu erzeugen. In

dem Moment, in dem nun die unten am Pendel angebrachte Schneide über den Draht  $T$  dicht hinwegschwingt, tritt zu der Kapazität  $D$  eine Zusatzkapazität hinzu, die an sich zwar sehr klein ist, auf Grund der vorangegangenen Angaben aber doch eine starke Verstimmung der Abstimmung und eine starke Tonänderung hervorruft. Jetzt wird der Kondensator  $D$  so eingestellt, daß der durch die Einwirkung der Zusatzkapazität ( $P, T$ ) entstehende Ton sich mit dem Eigenton der Blattfeder des Telephonrelais in Resonanz befindet; dann spricht das Telephonrelais bei jedem Hinwegschwingen des Pendels über die Antenne  $A$  an. Das Verfahren lieferte sehr genaue Registrierungen. Die Abstimmung der Apparatur war über Erwarten einfach; z. B. war bei der Einstellung des Kondensators  $D$  (Kapazität 250 cm) die Benutzung der Feinbewegung nicht erforderlich. Eine Nachregulierung war selbst nach mehreren

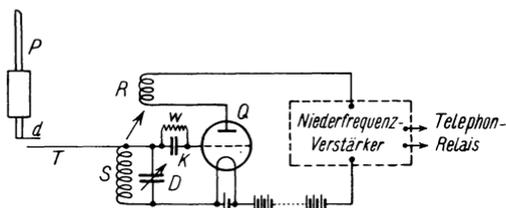


Fig. 2.

Tagen kaum notwendig. Voraussetzung für sicheres Arbeiten der Apparatur sind natürlich stabile Bauart, Konstanz der Batterien und Beseitigung der Kapazitätsempfindlichkeit — Forderungen, die heutzutage leicht zu erfüllen sind. Die benutzte Wellenlänge betrug etwa 500 m. — Übrigens hat auch Lejay bei seiner ersten Methode<sup>1)</sup> mit einer Zusatzkapazität in einem Senderkreise gearbeitet; aber sein Verfahren führt notwendig zur Verwendung kurzwelliger Schwingungen (Wellenlänge normalerweise kleiner als 100 m), die bekanntlich viel schwerer zu handhaben sind als die längeren Wellen, die bei dem hier behandelten Verfahren benutzt werden können.

Die praktische Herstellung der bei den Versuchen in Potsdam benutzten Apparate lag in den Händen des Funkmeisters L. Rost und des Mechanikermeisters W. Ilse.

#### Literatur.

- 1) Deutsche Uhrmacher-Zeitung Nr. 2 und 3, Jahrg. 1928, S. 23—25, 43—44.
- 2) Ebenda Nr. 48 und 52, Jahrg. 1928, S. 899—901, 981—982.
- 3) a. a. O., S. 900.

Potsdam, Geodätisches Institut, den 15. März 1929.