

sind und in denen die Temperatur möglichst über das ganze Jahr auf der gleichen Höhe gehalten werden kann, ist bekannt. Von den Einflüssen auf den Gang einer Uhr blieb bisher ununtersucht, wie weit der Impuls — der dem Pendel, sei es von einem Gewicht aus, sei es unmittelbar elektromagnetisch — erteilt wird, sich gleich bleibt bzw. wie, wenn seine Größe schwankt, der Gang der Uhr beeinflusst wird. Außerdem blieb ununtersucht die Frage, wie scharf die Schwingungsphase des Pendels eingehalten werden muß, in der der Impuls übertragen wird, damit die Forderung konstantester Betriebsbedingung erfüllt ist.

Die Frage der Ausschaltung der Einflüsse von Erschütterungen auf die Pendeluhr mit technischen Mitteln ist jedoch ganz neuen Datums. Auch die zuletzt erwähnten anderen Probleme können als Aufgaben technischer Natur aufgefaßt werden, ebenso die Ausschaltung der naturgegebenen Umweltseinflüsse, soweit sie — physikalisch erfaßt — technischer Beseitigung zugänglich sind. Aus der Überzeugung, daß die Pendeluhr, die das einfachste Pendelprinzip zur Zeitmessung benützt, besser sei als ihr Ruf, und nach den Ergebnissen der erwähnten Überlegungen schien es als Erfolg versprechend, eine vollkommenere Pendeluhr zu bauen als die jetzige.

#### Die Konstruktion der Schußpendeluhr

Untersuchungen hierzu hat in der Reichsanstalt Herr Dr. Rieckmann durchgeführt. Auf Grund seiner Ergebnisse ist ein gemeinsamer Entwurf zur sogenannten Schußpendeluhr entstanden, über deren wissenschaftliche Grundlage bereits auf der Physikertagung 1933 in Würzburg berichtet worden ist.

Sie soll eine Uhr darstellen, auf die äußere Erschütterungen, sei es die durch den Straßenverkehr bedingten, oder solche seismischer Art, ohne Einfluß bleiben. Sie benützt die Erkenntnis, daß ein an einem genügend schweren Pendel verhältnismäßig großer Eigenschwingungsdauer aufgehängtes leichtes Uhrpendel kleinerer Schwingungsdauer, wenn dessen Aufhängepunkt richtig gewählt wird, in seinem Ausschlag gegen das Schußpendel von horizontalen Beschleunigungen des Schußpendelaufhängepunktes unabhängig ist. D. h. wenn das Schußpendel an seinem Aufhängepunkt Stöße in waagerechter Richtung erfährt, bleibt das Uhrpendel, wie das bereits an dem einfachen Modell (Abb. 1) erkennbar wird, in Ruhe. Daraus folgt, daß ein Punkt in der Pendelstange des Schußpendels vorhanden ist, der für die Aufhängung des Uhrpendels in Betracht kommt, und auf den die Erschütterungen, die das Schußpendel erfährt, ohne Wirkung



Abb. 1. Schema der Schußpendeluhr  
An dem etwa 8 cm langen Pendel mit der Masse B ist das Gehäuse C mit dem eigentlichen Uhrpendel befestigt

bleiben. Unbeeinträchtigt und unabhängig von den Bewegungen des schweren Pendels setzt demnach das Uhrpendel seine ihm eigenen Schwingungen fort. Es ist daher, um es besonders anschaulich auszudrücken, unempfindlich gegen „Standänderungen durch Erdbeben“. Der Einfluß vertikal einwirkender Stöße wird durch geeignete Wahl des Ver-

hältnisses der Massen von Schußpendel und Uhrpendel — es ist das Verhältnis 10000:1 vorgesehen — auf ein verschwindendes Maß zurückgeführt. Außerdem wird zur Dämpfung noch eine Abfederung der Aufhängung des Schußpendels angebracht. Im Bilde ist das Verhältnis der Maße des Schußpendels zu denen des Gehäuses, in dem das Uhrpendel untergebracht wird, zu erkennen. Die Länge des Schußpendels beträgt nicht ganz 8 m. Das Uhrpendel wird für eine Schwingungsdauer von 1 sec bemessen. Es wird nicht aus metallischem Werkstoff bestehen, denn es ist kein solcher bekannt, dessen Alterung zum Stillstand kommt, in dem Maße, wie es für die äußersten Anforderungen erforderlich ist. Das Uhrpendel wird an einer Feder aus gewachsenem Kristall aufgehängt werden und in sich kompensiert sein. Angetrieben wird es durch elektrostatische Kräfte und mit selbsttätiger Impulsregelung versehen werden, deren Schärfe bisher noch nicht verwirklicht ist. Die schädliche Temperaturschichtung wird durch ein Uhrgehäuse bester Wärmeleitfähigkeit ausgeschaltet. Das Pendel wird im Vakuum schwingen bei verhältnismäßig niedriger Temperatur, die für die elastischen Schwingungen der Aushängefeder günstiger ist als die normale Raumtemperatur. Zur Abnahme der Zeit vom Uhrpendel wird der in der Reichsanstalt entwickelte Photokontakt eingebaut, dessen Genauigkeit bereits in der laboratoriumsmäßig hergestellten Form dadurch gekennzeichnet wird, daß die gesamte Kontaktdauer  $\frac{1}{1000}$  sec beträgt. Die Steigerung der Kontaktgenauigkeit auf das Zehnfache ist vorgesehen. Der Photokontakt wird so gestaltet, daß er den Antriebsimpuls selbst regelt, d. h. je nach Bedarf seine Stärke erhöht oder verringert. Der Impuls wird in der günstigsten Schwingungsphase des Pendels auf dieses übertragen. Damit sei zum ersten Male der Bau der Schußpendeluhr umrissen, deren Vollendung in einigen Monaten zu erwarten ist, wenn keine Abhaltungen es verhindern. Über ihre Leistungen ist solange nichts auszusagen, als Beobachtungen vorliegen, die jedoch die der Quarzuhr erreichen sollen. Die Betriebs- und Baumaßnahmen sind so geplant, daß die Uhr einige Jahre ohne jeden Eingriff in den zeitmessenden Vorgang in Gang bleiben soll. Die Schußpendeluhr will demnach eine Pendeluhr verwirklichen, die für längere Zeit eine ununterbrochene Zeitskala liefert, deren Einheit eine Sekunde beträgt. Die Quarzuhr hat im Gegensatz hierzu eine Einheit von  $\frac{1}{60000}$  sec.

Bevor noch das Schußpendel im einzelnen bearbeitet wurde, lagen andere Probleme vor. Zunächst der bereits erwähnte Photokontakt. Es ist selbstverständlich, daß durch einen ungenauen Kontakt die Zeitskala irgendeines Zeitmessers ebenfalls ungenau wird, so daß sich über die wahren Leistungen des letzteren nichts sicheres aussagen läßt. Die Erhöhung der Zeitabnahmegenauigkeit bedeutet nämlich genauere Erfassung einer bestimmten Schwingungsphase des Pendels. Sie erhöht damit die Sicherheit des Urteils über den Isochronismus des zeitmessenden Organs. Daß an sich die Frage der Kontakte allgemein für die Zeitmessung eine erhebliche Rolle spielt, ist erst in neuester Zeit von astronomischer Seite nachgewiesen worden.

Was in der Reichsanstalt schon längst vermutet wurde und zum Bau eines besonderen Zeitzeichempfängers führte, wird von der gleichen astronomischen Seite her ausgesprochen und im einzelnen näher erläutert, daß nämlich durch Relaisverzögerungen und durch Schwankungen in der Ausbreitungsgeschwindigkeit elektrischer Wellen also Tageseinflüsse die Genauigkeit der Funkzeitzeichen beeinflusst wird, und zwar in beträchtlich höherem Maße als früher für möglich gehalten wurde.