

Ursache herabgemindert wurden. Nun wird durch das erste (Primär) Pendel ein zweites (Sekundär) Pendel, welches in keinerlei Beziehung zum Gangwerk steht, erregt, und für dieses Sekundärpendel bedeuten die kleinen Unregelmäßigkeiten und Störungen im Schwingungsverlauf des Primärpendels dasselbe, was für das Primärpendel die Störungen des Gangwerks bedeuten. D. h. also: Unregelmäßigkeiten, denen das Sekundärpendel nicht zu folgen vermag, und die wiederum auf einen ganz geringen Bruchteil herabgemindert werden und durch Rückwirkung somit nur einen äußerst geringen Einfluß auf das Sekundärpendel ausüben können.

Würden wir wieder annehmen, daß sich die Ursache zur Rückwirkung wie 1:1000, 1:10000, 1:100000 verhielte, so würden wir Uhren erhalten, bei denen die Fehlergrenze $\frac{1}{1000} \times \frac{1}{1000} = \frac{1}{1000000}$, $\frac{1}{10000} \times \frac{1}{10000} = \frac{1}{100000000}$ bzw. $\frac{1}{100000} \times \frac{1}{100000} = \frac{1}{10000000000}$ beträgt.

Nun liegen aber die Verhältnisse noch weitaus günstiger, denn das zweite Pendel erhält ja mit Rücksicht auf seine ganz bedeutend geringere Dämpfung, die noch besonders durch kleinen Ausschlag begünstigt werden kann, eine außerordentlich viel feinere, fast absolute Regulierfähigkeit.

Im Sekundärpendel finden wir also in der Tat den nahezu unbelasteten Regler, und so gelangen wir ohne Schwierigkeit zu Ganggenauigkeiten, bei denen sich die Fehlergrenze stark dem Wert $\epsilon : \infty = 0$ nähert.

Es ist vielleicht für denjenigen, der nicht gewohnt ist, sich mit den komplizierten Vorgängen zwischen gekoppelten schwingenden Systemen zu beschäftigen, manchmal schwer, einzusehen, daß ein Mitschwingen des zweiten Pendels einen so außerordentlich großen Einfluß auf den Gang der

Uhr haben soll. Denn wenn auch einerseits aus jedem Physikkbuch hervorgeht, daß zwischen zwei schwingenden gekoppelten Systemen beständig Energie in der einen und der anderen Richtung flutet, so ist die Einsicht, daß Unregelmäßigkeiten eines Systems, gleichgültig, ob sie bei nacheilender oder voreilender Phase eintreten, ob sie von Amplituden-Verringerung oder -Vergrößerung begleitet sind, durch entsprechende ausgleichende Aenderungen der Flutungsperioden beseitigt werden, nicht ganz leicht.

Erinnert man sich aber, ohne in die Schwingungstheorie einzudringen, daran, daß das denkbar unbelastete Sekundärpendel ohne Unterbrechung schwingt und bei einigermaßen richtiger Einstellung bzw. Bemessung niemals mit dem Primärpendel außer Tritt kommen kann, dann ergibt sich hieraus schon der ganze Zusammenhang. Ein Pendel, welches nahezu unbelastet bzw. extrem lose gekoppelt schwingt und (direkt oder indirekt) so mit einem Räderwerk verbunden ist, daß dieses in gleichem Schritt mit ihm bleiben muß, ist doch das, was die Uhrentechnik von jeher suchte, nämlich der ideal wirkende Regler für Zeitmesser.

Die Frage, ob man ein drittes, viertes usw. Pendel anwenden muß, um in Verbindung mit den bekannten Kompensationsmethoden zur absoluten Ganggenauigkeit zu gelangen, muß verneint werden, da durch geflissentliche minimale Verstimmung des Sekundärpendels in bestimmter

Richtung die gemeinsame Resultierende aus eventuell übrigbleibenden Fehlerquellen ausgeglichen werden kann.

Wie ein Doppelpendel in der Praxis aussieht, geht aus der Abbildung hervor. Das Primärpendel a_1 ist in gewohnter Weise am Träger k_2 aufgehängt und kann durch irgendeinen Hemmungsmechanismus mit dem Gangwerk verbunden sein. Bedient man sich der elastischen Kopplung des Verfassers, die durch die Kurbel g , die Kurbelstange h_1 und die Koppelfeder k_1 verkörpert wird, so ist man imstande, durch Verschieben der Koppelfeder in den Befestigungspunkten x_1 und y_1 den günstigsten, der Dämpfung des Gangwerks genau entsprechenden Koppelgrad einzustellen. Benutzt man andere Steuer- bzw. Hemmungsmittel, so kann hierdurch die erste Regulierungsstufe, aber nicht das Prinzip an sich eine Aenderung erfahren. Bis hierher bedarf es also nicht der geringsten Aenderung der Uhr.

Um nun das Sekundärpendel anzubringen, wird lediglich der massive Träger k_2 so weit verlängert, daß er das Pendel a_2 aufzunehmen vermag. Die Erregerenergie, die das zweite Pendel benötigt, erhält es ohne weiteres Zutun durch den Träger k_2 , der während des Ganges bei allen Uhren mikroskopisch kleine Ausbiegungen bzw. Erschütterungen durch das Primärpendel erfährt. Sie genügen, um ein zweites Pendel anzutreiben. Je nach Bau und Festigkeit der Uhr und ihrer Unterlagen wird der Träger, wenn die Kopplung verstärkt werden soll, in der Nähe seines Befestigungspunktes durch Hinterdrehen oder sein Befestigungsfuß durch Schwächen so lange geändert, bis bei Gleichstimmung der gewünschte Ausschlag erzielt ist. Im übrigen kann die Uhr wie jede andere zunächst mit dem Primärpendel allein eingestellt werden.

Nachdem dies geschehen ist, wird das Sekundärpendel placiert und gleichgestimmt, d. h. auf größten Ausschlag eingereguliert. Weitere Bedienungsvorschriften sind nicht erforderlich, da man das Sekundärpendel sich vollkommen selbst überlassen kann. Stößt man das Sekundärpendel bei Ingangsetzung der Uhr mit an, dann schwingt es von Anfang an mit, läßt man es dagegen ganz in Ruhe, dann wird man sich überzeugen, daß es sich nach Ablauf einer gewissen Zeit automatisch in den Gang eingeschaltet hat.

Wenn zu Anfang dieser Betrachtung ein tadellos kompensiertes Pendel zugrunde gelegt wurde, so geschah dies nur, um die Fragen der Pendelkompensation, die mit den vorstehenden Gesichtspunkten nichts zu tun haben, und die bereits in geistreicher Weise von der Uhrentechnik gelöst worden sind, zum Zwecke der Vermeidung unnötiger Komplikationen auszuschalten.

Der besondere Vorteil des Doppelpendels besteht im übrigen gerade darin, daß es relativ wirkt und gleichermaßen minderwertige und hochwertige Mechanismen verbessert. Bedenkt man, daß beispielsweise für ganz bestimmte Anforderungen seither ein besonders sorgfältig bearbeitetes teures Gehwerk hergestellt und mit einem guten Kompensationspendel hätte versehen werden müssen, und daß diese Uhr dann zu einem ganz bestimmten Preise verkauft wurde, daß man nun aber durch Verwendung eines billigen eventuell in Masse hergestellten Werkes unter Anwendung eines Sekundärpendels denselben Effekt mit wesentlich billigeren Mitteln erzielen kann, so erkennt man den Vorteil, den die beschriebene Methode in wirtschaftlicher Beziehung bietet.

Vielleicht wird von mancher Seite eingewendet, daß es ja Uhren für große Ganggenauigkeit in der Praxis nur in relativ geringer Zahl gibt, und daß sich die Masse noch immer mit Uhren begnügt, die ziemlich stark vom Idealfall abweichen, was an sich nicht bestritten werden soll. Aber es darf doch nicht vergessen werden, daß wir aus einer Zeit kommen, in der die beiläufige Einhaltung des Geschäfts-, Schul- oder Theaterbeginnes oder die Erreichung eines

