

Über Spiralfeder-Endkurven und Regulieren der Uhren

Vortrag des Herrn Prof. L. Strasser, Direktor der Deutschen Uhrmacherschule in Glashütte, gehalten auf dem diesjährigen Rheinisch-Westfälischen Verbandstage zu Dortmund

Von der geschätzten Leitung Ihres Verbandes ist mir der Wunsch ausgedrückt worden, anläßlich Ihrer Dortmunder Tagung einen Vortrag über das Regulieren der Uhren zu halten, welchem Wünsche ich gern nachkommen werde.

Von jeher war es das erstrebenswerteste Ziel des Uhrmachers, den Gang einer Uhr möglichst gleichförmig zu machen. Noch vor hundert Jahren gab es viele öffentliche Uhren, die nur einen Stundenzeiger hatten und die deshalb die Ablesung der Zeit nur bis auf fünf Minuten genau ermöglichten. Heute dagegen verlangt man von öffentlichen und tragbaren Uhren, daß sie auf Sekunden genau gehen. Für wissenschaftliche Untersuchungen gibt es sogar Zeitmeßvorrichtungen, die Beobachtungen auf Tausendstel- und sogar auf Zehntausendstel-Sekunden genau ermöglichen. Dieser kurze Vergleich zeigt die staunenswerte Entwicklung, die die Uhrmacherei in einer verhältnismäßig kurzen Zeit durchgemacht hat.

Nun möchte ich in leicht verständlicher Form und in aller Kürze die Mittel besprechen, durch die man auf einen so hohen Grad von Genauigkeit gelangt ist. Bei der Kürze der Zeit, die mir zur Verfügung steht, wollte ich mich nur darauf beschränken, die theoretischen Grundlagen klarzulegen, zumal auf diesem Gebiete noch sehr viele irige Anschauungen herrschen. Es versteht sich von selbst, daß bei einer Uhr, die man genau regulieren will, die Eingriffe und der Gang sich in guter Ordnung befinden müssen. Ich will deshalb auf solche praktische Einzelheiten, die Ihnen, meine verehrten Kollegen, hinlänglich bekannt sind, nicht näher eingehen und meine Darlegungen auf die beiden regulierenden Teile, auf die Unruh und die Spiralfeder beschränken.

Wenn man den Gang einer Uhr beobachtet, einmal, wenn sie sich in horizontaler Lage und dann, wenn sie sich in hängender Lage befindet, so wird man im allgemeinen eine bedeutende Differenz wahrnehmen. Beobachtet man die Größe der Unruherschwingung, so wird diese in hängender Lage, wegen der bedeutend vermehrten Zapfenreibung, bedeutend kleiner als in horizontaler Lage sein. Man hat deshalb anfänglich geglaubt, daß man diese Differenz beseitigen könne, indem man sich bemüht, die Reibungsunterschiede in den beiden Lagen möglichst klein zu machen. Der Erfolg hat jedoch gezeigt, daß diese Ansicht nicht die richtige war.

Beobachtet man nämlich dieselbe Uhr in verschiedenen vertikalen Lagen: Bügel oben, rechts, links, unten, so wird man finden, daß die Differenz in jeder Lage eine andere ist, trotzdem die Zapfenreibung die gleiche geblieben ist. Hieraus folgt sofort, daß die Zapfenreibung nicht die Ursache des unregelmäßigen Ganges sein kann. Nehmen wir nun an, die Unruh hätte einen Schwerpunkt außerhalb der Achse, so ist uns sofort klar, daß dieser Einfluß auf den Gang in verschiedener Lage der Uhr verschieden sein muß, weil der Schwerpunkt verschiedene Lagen einnimmt. Hieraus ließen sich die unregelmäßigen Differenzen in der horizontalen und den verschiedenen vertikalen Lagen wohl erklären.

Nun sind aber in den Uhren die Unruhen genau im Gleichgewicht, also müßte dieser Schwerpunktsfehler wo anders gesucht werden, und so versteht es sich denn von selbst, daß er an der Spirale liegen muß.

Wenn die Spirale einen außerhalb der Achse liegenden Schwerpunkt hat, so wird dieser bei den verschiedenen Lagen der Uhr verschiedene Einflüsse ausüben, und es ist somit die Ursache der verschiedenen Differenzen erklärt. Bei der bedeutenden Formveränderung der Spirale während der Schwingung wird sich dieser Schwerpunkt bedeutend verschieben und deshalb auch bei horizontaler Lage bei großen und kleinen Schwingungen einen verschiedenen Einfluß ausüben. Man kann nun durch eine entsprechende Wahl des inneren Befestigungspunktes der Spirale bewirken, daß die Schwerpunktsverschiebungen bei hängender Lage der Uhr sich gegenseitig nahezu aufheben, wodurch dann zugleich auch die unregelmäßige Gangdifferenz beseitigt wäre.

Wie Sie hier aus den Fig. 1 und 2 ersehen, ist die erste

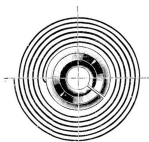


Fig. 1

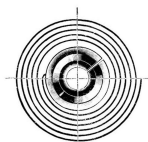


Fig. 2

Spirale von innen heraus nach rechts, die andere nach links herum gewunden. Wenn man nun bei der rechts gewundenen Spirale den inneren Befestigungspunkt nach links, bei der links gewundenen Spirale dagegen nach rechts verlegt, so werden sich die Schwerpunkteinflüsse in hängender Lage fast ausgleichen. Man wird also schon bei einfachen Uhren ohne Breguet-Spirale einen sehr guten Gang erzielen, wenn man diese einfache Regel beobachtet.

Man kann übrigens auch auf folgende einfache Weise die beste Lage des inneren Befestigungspunktes bestimmen. Indem man den Gang zunächst in horizontaler Lage beobachtet und dann in verschiedenen vertikalen Lagen, so wird man eine Lage finden, bei der der Gang nahezu so ist wie in horizontaler Lage. Nehmen wir an, dies sei der Fall, wenn sich die Ziffer IV oben befindet, so müßte man entweder den inneren oder den äußeren Befestigungspunkt (da von der XII bis zur IV eine Drittelumdrehung ist) um einen Drittelumfang verlegen, und zwar, von der Werkseite gesehen, in die Richtung von der IV nach der XII.

Bei einer Präzisionsuhr würde jedoch die Wahl des Befestigungspunktes allein nicht zum Ziele führen. Man verlangt von einer solchen Uhr, daß sie nicht nur in der einen, hängenden Lage genau geht, sondern in allen Lagen. Zu diesem Zwecke ist es unerläßlich, die Spirale mit Endkurven zu versehen.

Der Ingenieur Phillips hat die Spirale zum Gegenstande eingehender Studien gemacht und gefunden, daß, wenn man den Endkurven eine bestimmte Form gibt, der Schwerpunkt der Spirale mit der Unruhachse zusammenfällt und daß dann die Uhr in allen vertikalen Lagen möglichst kleine Gangdifferenzen macht. Ohne die umfangreichen und schwierigen mathematischen Entwicklungen vorzuführen, kann man mittels einer sehr einfachen Regel untersuchen, ob eine Endkurve den gestellten Anforderungen entspricht. In Fig. 3 ist eine solche Kurve dargestellt. Man teilt sie in eine Anzahl gleicher Teile, sodaß man die einzelnen Teile nahezu als gerade Linien betrachten kann, und zieht von den Mitten dieser Teile horizontale und senkrechte Linien nach den beiden rechtwinklig zueinander stehenden Mittellinien. Wenn nun die Summe aller horizontalen Linien auf der rechten Seite gleich der Summe aller horizontalen Linien auf der linken ist, wenn ferner die Summe aller nach oben gehenden Linien weniger der Summe aller nach unten gehenden Linien gleich dem

Quadrat des Halbmessers der Spiralfeder, geteilt durch den Abstand der Teilpunkte, ist, so entspricht die Kurve den theoretischen Anforderungen. Die Form der Spiralfeder ist so lange zu verändern, bis diese Bedingungen erfüllt sind. Die Zeichnung zeigt zugleich eine von mir zuerst angewandte Konstruktion für die Spiralfederkurven, die verschiedene Vorzüge hat. Die Kurve besteht nur aus Bogen von zwei verschiedenen Radien, wovon der eine Radius gleich dem äußeren Radius der Spiralfeder ist, sodaß der größte Teil der Kurve nicht erst besonders gebogen zu werden braucht.

Bei der Unvollkommenheit aller menschlichen Einrichtungen ist es jedoch immer noch nicht möglich geworden, den Gang einer Uhr in allen Lagen vollkommen gleich zu machen. Es kommen auch noch die Einflüsse dazu, die die Hemmung auf die Schwingung ausübt, die ich gleich näher besprechen werde.

Zerlegen wir eine Unruhsschwingung in eine sogenannte aufsteigende, wenn sich die Spirale spannt, und in eine absteigende, wenn sich die Spirale entspannt. Die wissenschaftliche Untersuchung in Übereinstimmung mit der Beobachtung hat nun ergeben, daß bei der absteigenden Schwingung ein Widerstand, z. B. der Auslösungswiderstand bei einer Ankeruhr, die Schwingungsdauer verzögert, daß jedoch ein Antrieb die Schwingungsdauer verkürzt. Schwingung ist es umgekehrt. Bei der aufsteigenden

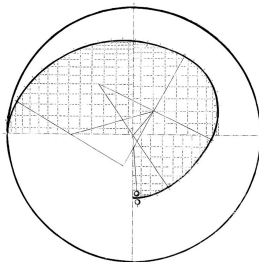


Fig. 3

Bei der aufsteigenden

Widerstand, z. B. der Auslösungswiderstand bei einer Ankeruhr, die Schwingungsdauer verzögert, daß jedoch ein Antrieb die Schwingungsdauer verkürzt. Schwingung ist es umgekehrt. Da nun der Auslösungswiderstand in die absteigende Schwingung fällt und der größte Teil des Antriebes in die aufsteigende, so übt die Hemmung im allgemeinen einen verzögernden Einfluß auf die Zeitdauer der Unruhsschwingung aus, und zwar ist dieser Einfluß bei großen Schwingungen geringer als bei kleinen Schwingungen. Hieraus geht hervor, daß im allgemeinen, auch wenn die Uhr mit theoretischen Kurven versehen ist, die großen Schwingungen sich schneller vollziehen als die kleinen, daß also die Uhr bei großen Schwingungen vorgeht.

Dieser Einfluß läßt sich auf keine Weise durch die Spiralfeder ausgleichen, wenn die Uhr in allen vertikalen Lagen einen möglichst gleichförmigen Gang haben soll; doch wird dieser Einfluß bis zu einem gewissen Grade durch die Unruh ausgeglichen. Die besseren Uhren sind bekanntlich alle mit Kompensationsunruhen versehen. Der Reif dieser Unruhen ist an zwei gegenüberliegenden Stellen aufgeschnitten. Er ist ferner durch Schrauben oder Gewichte belastet, und die Zentrifugalkraft hat das Bestreben, die Unruhreifen nach außen zu ziehen. Je größer die Unruhsschwingung, also je schneller die Bewegung ist, desto größer ist auch die Wirkung der Zentrifugalkraft. Die Zentrifugalkraft für sich allein bewirkt also, daß die größeren Schwingungen langsamer sind als die kleinen. Der Einfluß der Hemmung macht sich, wie ich Ihnen bereits entwickelt habe, in umgekehrter Weise bemerkbar, sodaß ein teilweiser Ausgleich erfolgt. Der Zufall kann es sogar fügen,

daß sich diese beiden Einflüsse gegenseitig aufheben. Jeder Fabrikant weiß aus Erfahrung, daß sich unter den verschiedenen Uhrkalibern welche befinden, bei denen sich die Lagenregulierung leichter macht als bei anderen. Hier mögen zugleich solche günstige Verhältnisse vorliegen.

Da wir uns nun einmal mit der Unruh beschäftigt haben, so möchte ich auf die Wirkung der Kompensation übergehen. Bekanntlich hat die Kompensation den Zweck, den Einfluß, der durch die veränderliche Temperatur auf den Gang der Uhr hervorgebracht wird, auszugleichen. Zu diesem Zwecke besteht bekanntlich der Unruhreif aus zwei miteinander verschmolzenen Metallringen, wovon der äußere eine größere Wärmeausdehnung hat, als der innere. Die Folge davon ist, daß bei erhöhter Temperatur der Unruhreif sich nach innen biegt, bei niedrigerer dagegen nach außen. Es wird nun vielfach angenommen, daß hierdurch der Einfluß aufgehoben wird, der durch die Temperaturänderung auf die Größe der Unruh und die Länge der Spirale ausgeübt wird.

In Wirklichkeit ist dieser Einfluß jedoch außerordentlich gering. Von viel größerem Einfluß ist die Veränderung des Elastizitätskoeffizienten der Spiralfeder, der in der Wärme ab- und in der Kälte zunimmt. Die Spirale wird also in der Wärme gleichsam weicher, in der Kälte härter, weshalb die Uhr in der Wärme nach- und in der Kälte vorgeht. Die Schrauben an der Unruh werden nun so lange versetzt, oder das Gewicht wird so lange verschoben, bis der Ausgleich erzielt ist. Die Gewichtsvermehrung nach dem freien Ende des Reifens zu erhöht die Wirkung der Kompensation, und umgekehrt.

Theorie und Erfahrung haben nun ergeben, daß, wenn eine Uhr in den äußersten Temperaturen richtig geht, sie bei mittlerer Temperatur einen anderen Gang zeigt. Dieser Fehler wird der zweite oder sekundäre Fehler der Kompensation genannt. Seine Bedeutung hat zu einer Unzahl sogenannter Hilfskompensationen geführt. Theorie und Beobachtung haben ferner gezeigt, daß dieser sekundäre Fehler um so größer ist, je näher die Schrauben oder Gewichte dem freien Ende des Reifens stehen.

Nun hat der Ihnen vielleicht durch seine Nickelstahl-Untersuchungen bekannte Professor Guillaume eine Kompensationsunruh konstruiert (Fig. 4), deren Körper aus Nickelstahl besteht, statt wie gewöhnlich aus Stahl, wodurch es möglich wurde, bei genügender Kompensationswirkung die Massen möglichst nahe an den festen Teil des Reifens zu bringen und daher die sekundäre Kompensationswirkung fast ganz aufzuheben. Die günstigen Resultate, die die letzten Chronometerprüfungen ergeben haben, sind zum größten Teil darauf zurückzuführen.

Da wir nun einmal beim Nickelstahl angelangt sind, möchte ich auch noch gleich auf eine andere hervorragende Anwendung desselben aufmerksam machen. Es ist dem Professor Guillaume gelungen, eine Nickelstahl-Legierung herzustellen, die einen gegen

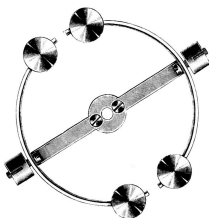


Fig. 4

die Veränderungen der Wärme unempfindlichen Elastizitätskoeffizienten besitzt, und aus dieser Legierung sind Spiralfedern hergestellt worden, bei denen sich die Anwendung einer Kompensationsruh überflüssig macht. Vielleicht macht die Herstellung dieser Spiralfedern noch solche Fortschritte, daß tatsächlich in Zukunft die Kompensationsruh, selbst bei feineren Uhren, entbehrt werden kann. —

Auch die Präzisions-Pendeluhr sind durch die Anwendung des Nickelstahles auf einen höheren Grad von Vollkommenheit gebracht worden, da es dem Professor Guillaume gelungen ist, eine Legierung zu finden, die fast unempfindlich gegen die Ausdehnung durch die Wärme ist.

Ich glaube jedoch, daß ich die mir zur Verfügung stehende Zeit schon längst überschritten habe, und eile deshalb dem Schlusse zu. Ich hatte unlängst in Berlin einen Vortrag gehalten, und es ist mir der Wunsch geäußert worden, daß ich noch etwas über die Schnellregulierung der Pendeluhrn bemerken möchte*). Die Sache ist sehr einfach. Man multipliziert die beobachtete doppelte Differenz mit der Pendellänge und dividiert durch die Beobachtungszeit, so ergibt sich, um wieviel das Pendel verlängert oder verkürzt werden muß. Ein einfaches Beispiel

wird Ihnen die Sache klar machen. Angenommen, die beobachtete Uhr hätte in 8 Stunden eine Differenz von 3 Minuten gemacht, und die Pendellänge sei vom Biegungspunkte der Feder bis zur Mitte der Pendellinse gemessen 160 mm, so würde das Pendel um 6×160 geteilt durch 480 (8 Stunden gleich 8×60 Minuten), das ist gleich 2 mm verändert werden müssen. Ich bemerke noch, daß Differenz und Beobachtungszeit in gleichen Zeiteilen ausgedrückt werden müssen. Bezeichnet v die Längenveränderung, L die Pendellänge, Z die Beobachtungszeit, D die Differenz, so ergibt sich die Formel

$$v = \frac{2DL}{Z}.$$

Ich möchte bei diesem Anlaß auch noch bemerken, daß vielfach die Meinung vorhanden ist, daß eine Pendeluhr, wenn sie einmal reguliert ist, an einem anderen Orte auch wieder richtig gehen müsse. Dies ist nicht der Fall. Der Gang einer Pendeluhr ändert sich mit der geographischen Breite, und es muß deshalb eine Pendeluhr stets an ihrem neuen Orte nachreguliert werden.

Ich bin nunmehr zum Schlusse meiner Ausführungen gelangt und danke Ihnen für die Aufmerksamkeit, die Sie mir geschenkt haben. Ich bitte, noch zu entschuldigen, wenn meine Darlegungen Ihnen vielleicht längst Bekanntes geboten haben sollten, aber es ist unumgänglich, daß bei einem solchen Vortrage auch bereits Bekanntes berührt wird.

*) Vergl. auch den Schluß des Vortrages »Die Theorie in der Uhrmacherei« in Nr. 21, Seite 346 ds. Jahrg. D. Red.