

## Über Präzisionsregulierung

Vortrag von Herrn Professor Ludwig Straßer, gehalten auf der dritten Tagung des Deutschen Uhrmacher-Bundes

**H**ochgeehrte Anwesende, werte Kollegen! Von der geschätzten Leitung des Deutschen Uhrmacher-Bundes ist mir der ehrenvolle Auftrag zuteil geworden, einen fachlichen Vortrag zum Bundestage zu halten. Diesem Auftrage bin ich gern nachgekommen; ich habe mir vorgenommen, über die neueren Fortschritte in der Uhrmacherei und besonders über das Regulieren der Präzisionsuhren zu sprechen. Ich werde auch der an mich ergangenen Aufforderung Folge leisten, mich möglichst populär zu halten. Die Herren Kollegen brauchen deshalb keine Besorgnis zu haben, daß ich lange Reihen mathematischer Formeln vorbringe. Ich muß allerdings befürchten, daß ich der Mehrzahl der verehrten Kollegen bereits Bekanntes vortrage. Auf der anderen Seite weiß ich aber aus reicher Erfahrung, daß gerade über Präzisionsregulierung irrümliche Auffassungen bestehen, und ich glaube deshalb, daß es angebracht ist, in populärer Weise über dieses Thema zu sprechen.

Bevor ich jedoch auf diesen Hauptinhalt meines Vortrages eingehe, sei es mir gestattet, einen kurzen Rückblick auf einen früheren Zeitabschnitt der Uhrmacherei zu werfen.

Obwohl man zu allen Zeiten danach strebte, den Gang der Uhren möglichst genau zu gestalten, so gab es doch eine Zeit, in der die Uhren nur mit Stundenzeiger versehen waren, sodaß die Zeit nur auf 5 Minuten abgeschätzt werden konnte. Das war gewiß ein idealer Zustand für den Uhrmacher; da brauchte man sich nicht so zu quälen wie jetzt. Welch ein Unterschied gegen heute, wo der Laie, oft sehr zum Leidwesen des Uhrmachers, mit Sekunden rechnet, der Uhrmacher bei besseren Uhren gewohnt ist, den Gang derselben auf Zehntelsekunden genau zu beobachten, und der Mann der Wissenschaft sogar mit Tausendsteln und noch kleineren Bruchteilen von Sekunden rechnet! Früher konnte man so hohe Ansprüche an die Genauigkeit nicht stellen; da war die Uhr in einem gewissen Zeitabschnitt mehr Gegenstand der dekorativen Kunst, und die ausgezeichnete, einzig in der Welt dastehende Sammlung unseres verehrten Bundesvorsitzenden Herrn Marfels hat Ihnen, meine Herren, hinreichend Gelegenheit gegeben, die Erzeugnisse einer vergangenen Kunstperiode zu bewundern. Aus jener Zeit stammen auch die sogenannten astronomischen oder Kunstuhren, die den Lauf der Gestirne und die beweglichen Feste anzeigen. Diese Uhren werden auch heute noch bewundert und man hört vielfach, namentlich aus Laienkreisen, die Behauptung, daß es heute nicht mehr möglich sei, derartige Uhren herzustellen. Das ist allerdings nicht der Fall; im Gegenteil, nach dem heutigen Standpunkt der Technik wäre man imstande, solche astronomischen Kunstuhren in viel größerer Vollkommenheit als früher herzustellen. Aber es ist nicht mehr das Interesse dafür vorhanden, und der Uhrmacher verwendet heutzutage seinen Scharfsinn mehr darauf, die größtmögliche Genauigkeit und Gleichförmigkeit des Ganges zu erreichen. Man darf in der Tat behaupten, daß zur genauen Regulierung der Präzisionsuhr ein größeres Maß von Scharfsinn und vorzugsweise praktischer Geschicklichkeit notwendig ist als zur Herstellung solcher „Kunstuhren“.

Gehen wir nunmehr zur Sache selbst über und betrachten wir die Präzisions-Taschenuhren. Zunächst scheint es mir notwendig, den Begriff der „Präzisionsuhr“ klarzulegen. Ich kann mich da wohl kurz fassen, weil gestern schon darüber verhandelt worden ist. Eine Präzisionsuhr muß nicht nur in allen ihren Teilen aufs sorgfältigste gearbeitet und auch theoretisch richtig konstruiert, sondern sie muß auch in allen Lagen und Temperaturen möglichst genau reguliert sein. Dadurch erhält eine feingearbeitete Uhr erst den Charakter einer Präzisionsuhr.

Die regulierenden Teile bestehen, wie Sie alle wissen, aus der sogenannten Unruh und der Spiralfeder. Ich brauche hier wohl nicht auf eine Erklärung darüber einzugehen, was man darunter versteht. Wenn

in eine Uhr eine Spiralfeder auf gewöhnliche Weise ohne Beachtung der für Präzisionsuhren geltenden Regeln eingesetzt wird, so macht man die Beobachtung, daß, wenn eine solche Uhr 24 Stunden liegt und 24 Stunden hängt, bedeutende Differenzen im Gange entstehen, wenn auch die Temperatur vollständig gleich geblieben ist. Man hat nach der Ursache dieser Erscheinung geforscht, und da ist es aufgefallen, daß die Uhr im liegenden Zustande infolge der geringeren Zapfenreibung größere Schwingungen macht, als in hängender Lage, wo die Zapfenreibung bekanntlich am größten ist. Man hat deshalb früher darnach gestrebt, die Zapfenreibung in horizontaler und in hängender Lage möglichst gleich zu machen und, wie bekannt, die Zapfen abgeflacht, sodaß die Uhr in der horizontalen Lage nahezu dieselben Widerstände hatte, wie in hängender Lage. Diese Versuche haben zu keinem Ziele geführt und man hätte sie ersparen können, wenn man daran gedacht hätte, die Uhr nicht nur in einer einzigen vertikalen Lage, sondern auch bei Bügel oben, rechts, links und unten zu erproben. Da würde man gefunden haben, daß die

Gangunterschiede in wechselnder hängender Lage sehr verschieden sind, trotzdem die Zapfenreibung wenigstens nahezu die gleiche geblieben ist. Es folgt daraus, daß die Zapfenreibung unmöglich die Hauptursache der Gangdifferenzen sein kann, obwohl sie gewiß einen Einfluß auf den Gang ausübt.

Um den Grund der Gangdifferenz zu erforschen, stelle man sich vor, man brächtige die Unruh aus dem Gleichgewicht; dann wird der Schwerpunkt der Unruh bei verschiedenen vertikalen Lagen der Uhr jedenfalls verschiedene Lagen einnehmen und es wird erklärlich sein,

daß eine solche Uhr in verschiedenen vertikalen Lagen verschiedene Gangdifferenzen aufweist. Nun ist aber, wie Sie wissen, bei jeder halbwegs guten Uhr die Unruh aufs sorgfältigste ins Gleichgewicht gebracht. Dennoch haben wir durch diese Betrachtung festgestellt, daß die Ursache des unregelmäßigen Ganges jedenfalls ein Gleichgewichtsfehler sein wird. Da nun die Unruh im Gleichgewicht ist und nichts anderes, was in Frage kommen könnte, vorhanden ist als die Spirale, so muß also die Spirale die Ursache dieser auffallenden Gangänderung sein, und das ist in der Tat der Fall. Genau so, wie die Unruh ins Gleichgewicht gebracht wird, müßte auch die Spirale ins Gleichgewicht gebracht werden; das ist aber bei gewöhnlichen Uhren selten der Fall. Liegt der Schwerpunkt der Spiralfeder außerhalb der Unruhachse, so ist es selbstverständlich, daß bei der bedeutenden Formveränderung, welche die Spirale bei den Schwingungen der Unruhe erleidet, der Schwerpunkt sich entsprechend verschieben muß, wodurch tatsächlich ein bedeutender Einfluß auf den Gang der Uhr in den verschiedenen Lagen ausgeübt wird.

Nachdem man einmal die Hauptursache dieser Störung ermittelt hatte, war es auch möglich, eine Abhilfe zu finden. Zunächst hat man die Verschiebung des Schwerpunktes bei der Spirale dazu benutzt, einen regelmäßigen Gang in verschiedenen Lagen zu erzielen, indem man dem Schwerpunkt eine gewisse Stelle anwies. Es ist im Rahmen dieses Vortrages nicht möglich, dies ausführlich zu untersuchen oder mathematische Nachweisungen darüber anzustellen; das ist auch nicht erwünscht und ich will nur kurz auf die Sache eingehen, indem ich Ihnen durch eine Skizze eine Vorstellung geben will. Angenommen, dies sei die Spirale (vergl. Fig. 1 und 2), so ist es bei einer rechtsgewundenen Spiralfeder (Fig. 1) notwendig, den Ansteckungspunkt der Spirale auf der linken Seite zu wählen, wenn sich die Uhr in hängender Lage befindet. Bei einer gewöhnlichen Spiralfeder wird man schon einen bedeutenden Vorteil haben, wenn man die Spiralfeder in dieser Weise einsetzt. Bei einer rechtsgewundenen Spirale muß sich also der Befestigungspunkt links befinden, wie ich schon sagte, und bei einer links herum gewundenen (Fig. 2) ist es umgekehrt, da muß der

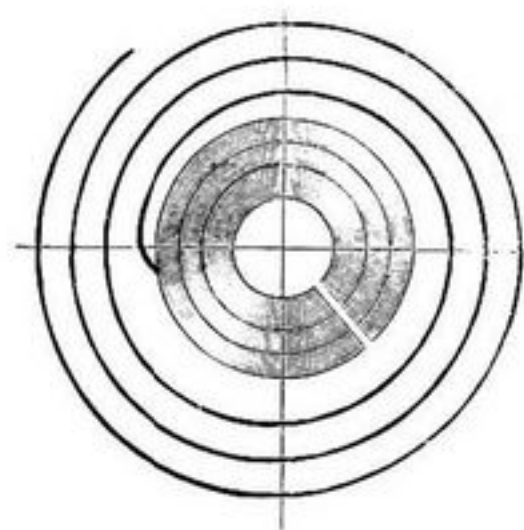


Fig. 1  
Rechts herum gewundene Spirale; Befestigungspunkt links, wenn der Bügel oben steht

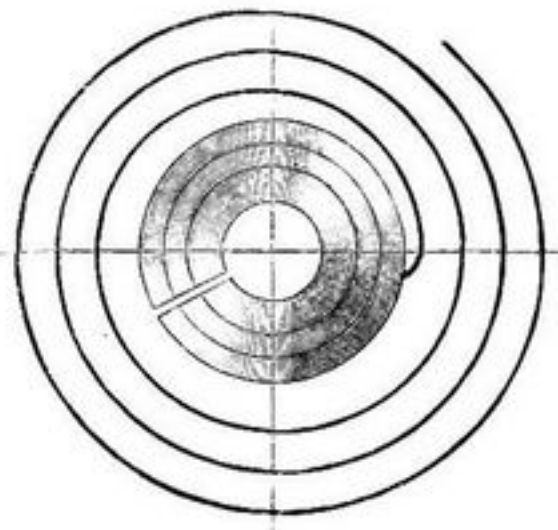


Fig. 2  
Links herum gewundene Spirale; Ansteckungspunkt rechts, wenn der Bügel oben steht



Ansteckungspunkt rechts sein. Wenn man diese Kleinigkeit beachtet, kann man, wie ich angedeutet habe, bei Uhren mit gewöhnlichen flachen Spiralfedern einen ausgezeichneten Gang erzielen. Nun ist es nicht immer möglich, diesen Punkt so genau zu treffen; es ist sogar manchmal notwendig, kleine Veränderungen eintreten zu lassen und den Punkt nach oben oder unten zu verlegen. Da hat Herr Richard Lange in Glashütte eine sinnreiche Einrichtung ausgedacht, um diesen Punkt leicht bestimmen zu können, ohne daß die Spiralfeder neu angesteckt werden müßte, wie das früher der Fall war. Zu diesem Zwecke hat Herr Lange das Spiralklötzchen mit dem Rücker zugleich verstellbar angeordnet, um den inneren Ansteckungspunkt nach Beobachtung des Ganges in verschiedenen vertikalen Lagen in die beste Stellung bringen zu können.

Diese Lage des Befestigungspunktes hat man auch auf Präzisionsuhren übertragen, die, wie Sie alle wissen, fast immer mit aufgebogener Kurve versehen sind. Bei dieser Gelegenheit möchte ich einschalten: man könnte eigentlich Präzisionsuhren ersten und zweiten Ranges unterscheiden. Unter solchen zweiten Ranges könnte man diejenigen verstehen, die bloß in Temperaturen und horizontaler und einfach hängender Lage reguliert sind, wie das allgemein üblich ist. Heute stellt man aber höhere Ansprüche und verlangt nicht bloß, daß die Uhr in horizontaler und hängender Lage, sondern in sechs verschiedenen Lagen genau reguliert ist. Rückenlage, Zifferblattlage, Bügel oben, Bügel rechts, Bügel links und unten. Solche in sechs Lagen regulierte Uhren könnte man als Präzisionsuhren ersten Ranges bezeichnen. Wenn man diese sechs verschiedenen Lagen-Regulierungen vornehmen will, so genügt es nicht, den Befestigungspunkt zu verlegen, da macht es sich notwendig, daß man eine äußere und eine innere Kurve anwendet. Der schweizerische Ingenieur Phillips hat vor längerer Zeit die Spiralfeder zum Gegenstand seiner Studien gemacht und festgestellt, daß, wenn die Endkurven der Spirale bestimmten Gesetzen entsprechen, der Schwerpunkt der Feder genau in die Unruhachse fällt. Phillips hat die Gesetze dafür entwickelt, die mathematisch sehr komplizierter Natur sind, und hat nachgewiesen, daß nicht allein der Schwerpunkt im Ruhezustande der Uhr in der Unruhachse liegt, sondern auch während der Schwingung darin bleibt. Auf diese Weise ist es möglich, genaue Lagenregulierungen vorzunehmen.

Ich möchte Ihnen an der Hand einer Skizze zeigen, welche Bedingungen dabei zu erfüllen sind. Stellen wir uns vor, dies (Fig. 3) sei der äußere Umgang der Spiralfeder. Ziehen wir zwei aufeinander senkrecht stehende Linien und betrachten das in die Höhe gebogene Ende der Spiralfeder, das in eine Kurve ausläuft, wovon  $S$  der Schwerpunkt ist. Eine solche Kurve bewirkt nun, daß der Schwerpunkt der Spirale in der Unruhachse bleibt, wenn der Schwerpunkt der Kurve auf dieser Linie hier liegt, die rechtwinklig vom Abbiegungspunkt gezogen ist, und wenn außerdem das Produkt aus der Schwerpunktsentfernung  $OS$  und der Länge der Kurve gleich dem Quadrat des Radius der Spiralfeder ist.

Es mag sich das kompliziert anhören, in Wirklichkeit kann man aber solche Kurven sehr leicht konstruieren, d. h. leicht insofern, als keine wissenschaftlichen Kenntnisse dazu gehören. Um eine solche Kurve herzustellen, zeichnet man sich eine beliebige Kurve auf, teilt sie in eine Anzahl gleiche Teile von 10 zu 10 mm, halbiert die einzelnen Stücke, die man als gerade Linien betrachten kann, fällt von den Mittelpunkten dieser Kurvenstücke senkrechte und zieht ebenso von diesen Mittelpunkten aus auch horizontale Linien. Man mißt die sämtlichen horizontalen Linien ab, und da muß die Summe der gemessenen Längen der horizontalen Linien, die nach links gezogen sind, gleich sein der Summe der horizontalen Linien, die nach rechts gezogen sind. Nun kommt die zweite Bedingung. Man mißt die Schwerpunktsentfernungen der Kurventeile oberhalb der horizontalen Linie, addiert dieselben, zieht hiervon die Gesamtsumme der Schwerpunktsentfernungen der Kurventeile unterhalb der horizontalen Linie ab

und multipliziert diese Differenz mit der Länge eines Kurventeils, so muß das Resultat, welches man erhält, gleich dem Quadrat des Radius der Spiralfeder sein. Auf diese Weise hat man ein einfaches Mittel, die Richtigkeit der Kurve zu prüfen. Man verändert die Kurve so lange, bis die Beziehungen, die ich erklärt habe, zutreffen.

Ich habe, weil dieses sogenannte graphische Verfahren zu vielen Fehlern führt, mich veranlaßt gesehen, die Sache einem längeren Studium zu unterwerfen, und ich war so glücklich, eine Konstruktion zu finden, die der Berechnung zugänglich ist. Nach meiner Methode kann man die Richtigkeit der Kurve auf dem Wege der Rechnung prüfen, und ich habe zu meiner Freude Gelegenheit gehabt, zu sehen, daß solche nach Berechnung hergestellte Kurven ausgezeichnete Resultate ergeben haben.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich gleich auf einen Irrtum hinweisen. Man hört vielfach sogar von Präzisionsregleuren sagen, daß die rein theoretischen Kurven nicht angewandt werden könnten; man wäre gezwungen, Änderungen vorzunehmen, um den Gang genau herauszubringen.

Ich habe mich in vielen Fällen davon überzeugen können, daß dies nicht richtig ist. Die Kurven waren vorher gar keine theoretischen Kurven, die Leute haben sich das nur eingebildet und hinterher sind die Kurven erst durch die Versuche, die mit ihnen gemacht wurden, zu theoretischen Kurven geworden.

Wenn man eine Spirale, sei es eine schraubenförmige oder zylindrische oder eine flache, mit zwei solchen Endkurven versehen hat, würde der Gang der Uhr in den verschiedenen Lagen möglichst genau werden und würde absolut gleich sein, wenn auf den Gang der Uhr nicht auch noch andere Ursachen einwirkten. Da ist aber zunächst die Wirkung der Auslösung und die Wirkung des Antriebes. Um diese Wirkungen beurteilen zu können, denken wir uns eine volle Unruherschwingung in zwei Teile zerlegt, in die sogenannte herabsteigende und in die aufsteigende Schwingung. Wir verstehen unter der herabsteigenden denjenigen Teil der Schwingung, bei dem die Spannung der Spiralfeder nachläßt, und unter der aufsteigenden denjenigen Teil, bei dem die Spannung zunimmt. Die Wirkung bei diesen beiden Schwingungsteilen ist eine ganz verschiedene: wenn der Unruherschwingung ein Widerstand entgegengesetzt wird, sei es Zapfenreibung, Auslösungswiderstand oder Luftwiderstand, so wird die Zeitdauer der herabsteigenden Schwingung durch diesen Widerstand verlängert; dagegen wird die Zeitdauer der aufsteigenden Schwingung durch einen Widerstand verkürzt. Sie sehen daraus, daß die Einflüsse eines Widerstandes, der bei der aufsteigenden wie bei der herabsteigenden Schwingung wirkt, sich nahezu aufheben. Deshalb haben auch, wie ich eingangs meines Vortrags sagte, die Bestrebungen keinen Erfolg gehabt, den Gang der Uhr in den verschiedenen Lagen dadurch gleich zu machen, daß man die Zapfenreibung gleich zu machen suchte. Dieser Einfluß ist nicht so groß, er hebt sich fast vollständig auf. Ebenso ist es mit dem Luftwiderstand.

Umgekehrt wie ein Widerstand verhält sich der Antrieb: er beschleunigt die herabgehende Schwingung und verlängert die aufsteigende Schwingung. Ich denke an eine Ankeruhr. Vergleichen wir die Wirkungen, die der Auslösungswiderstand des Ankers und der Antrieb des Ankers ausüben. Die Auslösung geschieht bei der absteigenden Schwingung und bedingt eine Verzögerung der Zeitdauer. Der größte Teil des Antriebes erfolgt bei der aufsteigenden Schwingung, und der Antrieb bei der aufsteigenden Schwingung veranlaßt ebenfalls eine Verzögerung der Zeitdauer der Schwingung. So sehen wir, daß sowohl die Auslösung als auch der Antrieb einen verzögernden Einfluß ausüben. Nun ist dieser Einfluß bei kleinen Schwingungen stärker als bei großen; kleine Schwingungen werden durch diese Wirkung verhältnismäßig mehr verzögert als große Schwingungen. Da dieser Einfluß immer vorhanden ist, so folgt selbstverständlich daraus, daß die großen Schwingungen unter dem Einfluß der Hemmung das Bestreben haben, in kürzerer Zeit sich zu

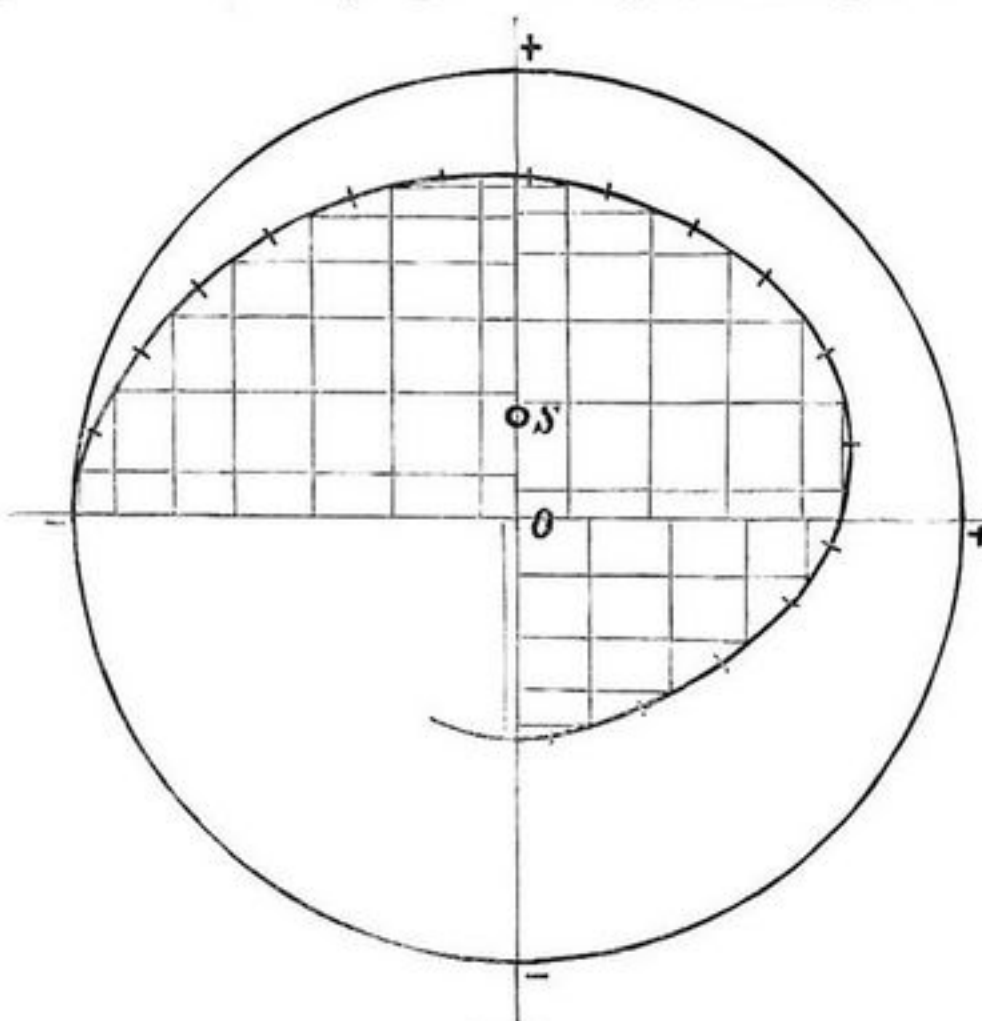


Fig. 3



vollenden, d. h. die Uhr wird bei großen Schwingungen infolge des alleinigen Einflusses der Hemmung vorgehen. Die Hemmung führt zwar allgemein eine Verzögerung herbei; aber weil sie bei großen Schwingungen geringer ist als bei kleinen, geht die Uhr bei großen Schwingungen vor.

Ich habe den Einfluß der Hemmung beleuchtet, den sie auf die Unruh ausübt; betrachten wir nun die Kompensationsunruh, ohne vorläufig auf das Wesen derselben einzugehen. Ich will nur kurz bemerken, daß der dünne Reif der Unruh, wie Sie alle wissen, aufgeschnitten und mit Gewichten belastet ist. Die Unruh macht sehr rasche Bewegungen und infolge dessen übt die Zentrifugalkraft auf den aufgeschnittenen Unruhreif eine Wirkung aus und zieht die freien Enden nach außen. Da nun eine größere Unruh ebenfalls eine größere Schwingungsdauer hat, so sehen wir daraus, daß die Zentrifugalkraft den gleichen Einfluß ausübt wie die Hemmung: sie verzögert die Zeitdauer der Unruherschwingungen. Aber die Unruh erleidet bei größeren Schwingungen durch die Zentrifugalkraft eine größere Verzögerung als bei kleineren Schwingungen; infolge dessen ist der Gesamteinfluß der Zentrifugalkraft dahin zu schätzen, daß er die größeren Schwingungen verzögert. Bei der Hemmung ist es gerade umgekehrt. Also diese beiden Einflüsse können sich nahezu aufheben, und es gibt tatsächlich viele Uhren, bei denen sie sich aufheben. Jeder Regleur wird aus eigener Erfahrung wissen, daß es viele Uhren gibt, die sich leicht in den verschiedenen Lagen regulieren lassen. Das sind solche, bei denen diese beiden Einflüsse sich nahezu aufheben.

Wir haben nunmehr den Einfluß des Widerstandes der Zapfenreibung und der Auslösung sowie des Antriebes betrachtet. Gehen wir jetzt zu dem Einfluß der Temperatur über. Auf diesem Gebiete herrschen, wie ich vielfach zu bemerken Gelegenheit hatte, noch viele Irrtümer vor. Viele glauben, daß, weil die Wärme alle Körper ausdehnt, also die Erhöhung der Wärme auch eine Vergrößerung des Unruhdurchmessers und eine Verlängerung der Spiralfeder hervorruft, dies die Ursache des Zuspätgehens bei erhöhter Temperatur sei. Das ist allerdings bis zu einem gewissen Grade der Fall, bis zu einem schwachen Grade, wie ich gleich hervorheben will; der Haupteinfluß der Temperatur wirkt in ganz anderer Weise. Jeder Körper ist bis zu einem gewissen Grade elastisch, und der sogenannte Elastizitätskoeffizient, der bei verschiedenen Materialien verschieden ist, ist verschiedenen Schwankungen bei Temperaturveränderungen unterworfen, sodaß die elastische Kraft einer Feder bei zunehmender Wärme abnimmt und umgekehrt bei abnehmender Wärme zunimmt. Obwohl, wie gesagt, der Unruhdurchmesser durch die Wärme wirklich größer wird, so übt doch die Veränderung des Elastizitätskoeffizienten der Spirale den weitaus größten Einfluß auf das Zuspätgehen der Uhren bei zunehmender Temperatur aus.

Es ist nun eine eigentümliche Sache, daß dieser Fehler, der in der Spirale liegt, durch die Kompensationsunruh korrigiert werden soll. Darin liegt eben die Schwierigkeit, eine wirklich vollkommene Kompensation zu finden; es wird schließlich der Teufel durch Beelzebub ausgetrieben. Der eine Fehler soll durch den anderen ausgeschaltet werden, und deshalb leiden alle Kompensationen, man kann sie betrachten, wie man will, an Unvollkommenheiten.

Man verwendet also die Kompensationsunruhen dazu, um den Fehler auszugleichen. Der Reif der Kompensation besteht aus zwei Metallen von verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten. Der äußere Ring besteht gewöhnlich aus Messing und besitzt einen größeren Ausdehnungskoeffizienten als der innere Ring, der aus Stahl besteht. Infolge der größeren Ausdehnung, die der Messingring bei gesteigerter Wärme annimmt, biegen sich die freien Enden der Unruhreifen bei zunehmender Wärme nach innen und bei

abnehmender Wärme nach außen, sodaß also die Unruhe bei zunehmender Wärme um soviel kleiner wird, daß der verzögernde Einfluß, den die Wärme auf die Spirale ausübt, dadurch aufgehoben wird. Seit längerer Zeit wendet man bei Taschenuhren auch Palladium-Kompensationsunruhen an, deren äußerer Reif aus Silber statt aus Messing besteht. Solche Uhren können durch magnetische Wirkung nicht beeinflusst werden.

In neuester Zeit hat man einen weiteren Vorteil erzielt durch Anwendung der Nickelstahllegierungen. Herrn Professor Guillaume, dem Direktor des Instituts für Maß und Gewicht in Paris, ist es gelungen, eine Legierung zu finden, auf die die Veränderung der Temperatur fast keinen Einfluß hat; es ist dies eine Metalllegierung aus rund 35 pCt. Nickel und 65 pCt. Stahl. Aus dieser Legierung hat man Kompensationsunruhen für Taschenuhren und Sechronometer hergestellt, deren äußerer Reif, wie gewöhnlich, aus Messing besteht. Diese haben ausgezeichnete Gangresultate ermöglicht. Der sogenannte sekundäre Kompensationsfehler, der namentlich bei Sechronometern die Anwendung von Hilfskompensationen notwendig macht, fällt bei diesen Unruhen fast vollständig fort, sodaß man jene Hilfskompensationen entbehren kann, die eine neue Quelle von Störungen boten. Es ist also von großem Vorteil, daß man diese Nickelstahllegierung gefunden hat und für die Präzisionsuhren anwenden kann.

Einmal bei der Anwendung des Nickelstahls angelangt, kann ich nicht umhin, auch seiner vorzüglichen Verwendbarkeit für die Pendel der Präzisions-Pendeluhr zu gedenken, da man bis jetzt mit Anwendung der Nickelstahlpendel ausgezeichnete Gangergebnisse erhalten hat. Zugleich möchte ich aber auch übertriebenen und irrigen Ansichten vorbeugen. Man glaubt vielfach, daß es genügt, in ein beliebiges Werk ein solches Pendel einzuhängen, um sofort eine Präzisionsuhr zu haben. Das ist nicht der Fall, das ist ein großer Irrtum; denn der Einfluß der Wärme macht sich nicht nur auf das Pendel geltend, sondern auch auf den Elastizitätskoeffizienten der Pendelfeder, auf die Gabelführung, und beim Grahamgang auch auf die Stärke des Antriebs. Um bei einer Pendeluhr die höchste Genauigkeit des Ganges zu erzielen, ist es notwendig, eine Hemmung anzuwenden, die den Gang unabhängig vom Zustande des Öles und der Kraft des Werkes macht, wie dies sowohl bei der Hemmung von Riefler als auch bei der von mir konstruierten Hemmung der Fall ist, sodaß durch die Kompensation des Pendes nur noch der Einfluß der Temperatur auf das Pendel und auf die Pendelfeder auszugleichen ist.

Nach dieser kleinen Abschweifung gestatten Sie mir nochmals, auf Unruh und Spiralfeder zurückzukommen. Wir haben die Einwirkungen der Hemmung, der Zapfenreibung, der Zentrifugalkraft und der Wärme betrachtet. Es ist jedoch noch eine Ursache vorhanden, die den Gang in den verschiedenen vertikalen Lagen der Uhr beeinflusst. Es kann vorkommen, daß eine Unruh, die bei mittlerer Temperatur vollkommen im Gleichgewicht war, durch die Wirkung der Kompensation einen kleinen Gleichgewichtsfehler erhält. Diesem Fehler kann dadurch begegnet werden, daß man darauf achtet, daß die Unruh in vertikaler Lage der Uhr durchschnittlich  $\frac{5}{4}$  Umgang schwingt. Bei dieser Schwingungsgröße hat nach der Untersuchung von Phillips ein Gleichgewichtsfehler der Unruh keinen Einfluß auf die Schwingungszeit.

Ich bin nunmehr am Schlusse meines Vortrages angelangt. Ich glaube, ich habe die mir zugemessene Zeit schon bedeutend überschritten, und ich wollte zum Schluß nur um Entschuldigung bitten, wenn ich in meinem Vortrage, wie ich schon anfangs gesagt habe, Dinge erwähnte, die allgemein bekannt sind. Aber auf der andern Seite hoffe ich etwas zur Klärung der Sache beigetragen zu haben, weil gerade auf dem Gebiete der Präzisionsregulierung vielfach irrtümliche Anschauungen vorhanden sind. (Anhaltender lebhafter Beifall.)

