

Isochronismus

Ing. Ernst Frankenstein, Dresden

Das große Interesse, das immer noch der mechanischen Räderuhr entgegengebracht wird, gibt Veranlassung, die Probleme des Isochronismus als wichtigsten Faktor der Präzisionsreglage und die daraus resultierenden praktischen Konsequenzen übersichtlich in kurzer Form zusammenzufassen.

In seinen 1636 veröffentlichten Dialogen beschreibt *Galileo Galilei* (1564–1642), daß er als 19jähriger Student im Dom von Pisa Kronleuchter beobachtet habe, die im Luftzug schwingen. Ihr Schwingweg war unterschiedlich, aber sie blieben trotzdem im Takt. Er folgerte daraus auf die Unabhängigkeit der Schwingungsdauer von der Pendellamplitude, und er erkannte, daß damit ein Grundproblem der Uhrentechnik gelöst werden könnte: Wenn es unter allen Einflüssen, wie Reibung, Antriebschwankungen usw. nicht gelingt, die Amplitude eines den Ablauf einer Uhr regulierenden Gangreglers konstant zu halten, so muß man sichern, daß trotzdem verschiedene große Schwingungen in der gleichen Zeit zurückgelegt werden.

Trotz der bereits früher vereinzelt gebauten Pendeluhrn bleibt dem holländischen Physiker *Christian Huygens* (1629–1695) das Verdienst, nicht nur diesem System zum Durchbruch verholfen zu haben, sondern daß er außerdem die zugehörigen physikalischen und mathematischen Zusammenhänge mit überraschender Schärfe definierte. Dabei ergab sich, daß *Galileis* Feststellung nur auf sehr kleine Pendellamplituden anwendbar ist und daß die Zeitdauer größerer Schwingungen sich verlängert. *Huygens* hat darüber hinaus die Verwendung der gewundenen Spiralfeder bei tragbaren Uhren erfunden und sich dort mit den analogen Problemen beschäftigt.

Nach diesen einführenden Bemerkungen soll zunächst gesagt werden, was Isochronismus eigentlich ist. Obwohl man den Ausdruck auf alle Gangstörungen anwenden kann, sei hier die klassische Definition zitiert, die das Standardwerk von *Giebel-Helwig* [1] oder auch das Dokument 66 C des französischen Uhrenforschungszentrums Cetechor nennen:

Unter *Isochronismus* versteht man die erwünschte Eigenschaft schwingender Körper, große und kleine Schwingungen in der gleichen Zeit auszuführen.

Um dieses Ziel zu erreichen, muß sich die durchschnittliche Geschwindigkeit des Schwingers im gleichen Verhältnis ändern wie die Amplitude und wie die rückführende Kraft F_R (Bild 1). Dies gilt für das Pendel, bei dem die Resultierende F_{R1} aus der Erdbeschleunigung im gleichen Maß wie die Pendelauslenkung zunehmen müßte, wie auch für die Unruh, bei der das Drehmoment der Spiralfeder entsprechend linear ansteigen soll.

Im Bild 1 ist die Amplitude α_2 doppelt so groß wie α_1 . Die Kraft F_{R2} verdoppelt sich jedoch gegenüber F_{R1} nicht.

Anisochronismus des Pendels

Huygens wies nach, daß die Pendelmasse nicht auf einer Kreisbahn schwingen, sondern die Bahn einer Orthozykloide beschreiben müßte. Bei sehr kleinen Pendellamplituden unter $1,5^\circ$ ist der Fehler im allgemeinen zu vernachlässigen und interessiert nur noch bei Uhren extremer Präzision.

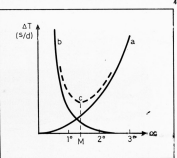
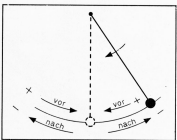
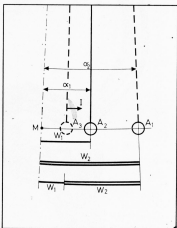
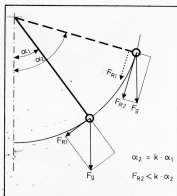
Einfluß der Pendelfeder

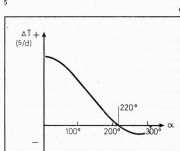
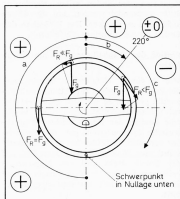
Die durchgebogene Pendelfeder bringt ein zusätzliches Moment auf und kann bei geeigneter Dimensionierung den geschilderten Fehler verkleinern.

Einfluß von Impulsen bzw. Stößen

Den entscheidendsten Einfluß auf den Isochronismus nimmt aber die Hemmung. Von der in vielen Veröffentlichungen [1], [2], [3] erschienenen mathematischen Ableitung soll zugunsten eines einfachen Gedankenexperimentes abgesehen werden. Man stelle sich ein langes, mit extrem kleinen Amplituden schwingendes Pendel vor, das ohne äußere Störungen größere und kleinere Schwingungen in gleicher Zeit zurücklegt, also *isochron* schwingt. Bei einer Amplitude von $\alpha_1 = 0,5^\circ$ (Bild 2) betrage die durchschnittliche Geschwindigkeit des Pendelkörpers auf seiner Kreisbahn ω_1 . Bei einer Amplitude von $\alpha_2 = 1^\circ$ sei die Geschwindigkeit ω_2 logischerweise doppelt so groß. Betrachten wir eine Viertelschwingung, so wird also das Pendel den Weg von der Mittellage M bis zu einer Auslenkung A_1 in der gleichen Zeit zurücklegen, wie bei einem Schwingen von M bis A_2 . Stelle man sich nun vor, daß das Pendel mit der kleinen Amplitude schwingt, also die durchschnittliche Geschwindigkeit ω_1 habe. Nach einer Auslenkung von $0,25^\circ$ erhalte es aber bei A_1 einen Antriebsimpuls, also einen Stoß in Bewegungsrichtung, so daß es den Punkt A_2 erreicht. Es legt insgesamt den größeren Schwingungsweg von M bis A_2 zurück, davon einen Teil mit der niedrigen Durchschnittsgeschwindigkeit ω_1 und den Rest mit ω_2 . Ein Teil des Weges von M bis A_2 wurde mit der für diese Amplitude zu niedrigen Geschwindigkeit ω_1 durchlaufen, und die Uhr geht folglich nach. In ähnlicher Weise kann man den Einfluß von Stößen in den verschiedenen Bewegungsphasen sowohl in Schwingungsrichtung als auch entgegengesetzt durchdenken und kommt zu der Gesetzmäßigkeit:

Stöße außerhalb der Mittellage eines Schwingers stören den Isochronismus, und





zwar um so mehr, als sie von der Mittellage entfernt erfolgen.

Stöße, die den Schwinger in Richtung auf seine Mittellage treiben, wirken beschleunigend auf den Gang, entgegengesetzte verzögernd (Bild 3).

Daraus ergibt sich, daß ein Auslösewiderstand der Hemmung vor der Mittellage und ein Antriebsimpuls danach verzögernd wirken. Dies ist bei den meisten üblichen Hemmungen so. Der dadurch verzögerte Gang der Uhr ist durch Regulieren auszugleichen. Bei sinkender Amplitude nimmt dieser Einfluß aber zu, denn ein großer Anteil des Schwingweges steht unter dem Hemmungseinfluß. Bei großen Amplituden bleibt die Störung gering. Die Uhr neigt folglich zum Nachgehen in kleinen Amplituden. Dieser von der Hemmung kommende Fehler ist meist so groß, daß er den entgegengesetzten Ischronismusfehler des ungestörten Pendels völlig überdeckt.

Bei Präzisionsuhren sucht man nach der Pendellamplitude, bei der die aus beiden Einflüssen resultierende Kurve der Abhängigkeit der Gangänderung ΔT von der Amplitude a ihr Minimum und einen relativ flachen Verlauf hat (M, Bild 4). Dort führen geringe Amplitudenschwankungen zu keinen bedeutenden Gangänderungen. Man findet diese Schwingungsweite, indem man die Uhr mit verschiedenen Gewichten antreibt und die Gänge und die Amplituden notiert. Einfacher wird es, wenn man die Dauer verschieden großer Pendelschwingungen mit einem elektronischen Zähler oder einer geeigneten Zeit-

waage kontrollieren kann. Man stellt fest, bei welcher Amplitude sich das geringste Nachgehen bzw. das stärkste Vorgehen ergibt.

Oft ist versucht worden, eine dosierte Rückführung zur Verbesserung des Isochronismus zu nutzen. F. Berthoud (1727 bis 1807) entwickelte dazu den sogenannten isochronischen Anker, d. h., eine Hakenhemmung mit einer geringen Rückführung. Einseitig wirkende Hemmungen, zum Beispiel manche Schwerkrafthemmungen, erlauben es, die Impulslage optimal so einzustellen, daß sie gleichmäßig verteilt vor und nach der Mittellage erfolgt.

Bei der üblichen Pendeluhr sind sonst die Möglichkeiten zu Verbesserungen des Isochronismus beschränkt. Man achte darauf, daß der Impuls möglichst nahe der Mittellage erfolgt und halte bei der Grahamhemmung den Ruhe- und eventuell auch den Hebungswinkel klein. Bei der Hakenhemmung bewährt sich mitunter eine etwas flachere Einstellung des Eingriffs zum Ankerad.

Anisochronismus des Unruh-Spiralfeder-Schwingsystems

Die Probleme des Isochronismus wurden anfangs am Pendel dargestellt, bei dem die Verhältnisse übersichtlicher sind. Bei der Unruh sind analoge Einflüsse zu beachten, aber es kommen weitere Störgrößen dazu, die in folgender Übersicht zumangemessen dargestellt sind:

Unruh

Stöße (insbes. Impulse der Hemmung), Schwerpunkt außermittig (Unwucht), Reibung, Fliehkraft (Auffederung der Reifenhälften).

Spiralfeder

Abweichungen vom Hookeschen Gesetz (lineare Zunahme des Moments mit der Auslenkung) durch Materialeigenschaften, Spannungen, Verformungen an den Befestigungsstellen, Trägheitsmoment (Masse der Spiralfeder), Verlagerung des Schwerpunkts, Seitlicher Druck - Zapfenreibung, Rückertüte.

Einfluß von Impulsen bzw. Stößen

Impulse wirken sich bei der Unruh in gleicher Weise wie bei der Pendeluhr aus, und die Auslösung, wie der Antriebsimpuls der üblichen Ankerhemmung, führen zum Nachgehen, das um so stärker wird, wie die Amplitude sinkt. Alle Bemühungen zur Verbesserung des Ganges von Ankeruhren müssen sich demzufolge darauf richten, mit anderen Maßnahmen die kleinen Amplituden zu beschleunigen.

Nur bei einseitig wirkenden Hemmungen, bei der Chronometerhemmung oder einer Hemmung mit konstanter Kraft, wie sie die Großuhr „elektrochron“ hatte, sieht es anders aus. Durch Verdrehen der Spiralfeder, also durch Verstellen des Abfalls, kann man die Impulslage ändern und den Einfluß der Hemmung auf den Gang der Uhr entscheidend verringern. Das darf natürlich nicht so weit getrieben werden, daß

Bild 1
Pendel in zwei verschiedenen Stellungen; aus der Erdbeschleunigung resultierende Kraft F_g und die auf das Pendel drehend wirkende Komponente F_R .

Bild 2
Pendel, das mit kleinen Amplituden a_1 und a_2 isochron schwingt und Störung durch einen Impuls I.

Bild 3
Auswirkungen von Impulsen auf den Gang.

Bild 4
Verlängerung ΔT der Schwingungsdauer a durch den Anisochronismus des Pendels, b) durch den Einfluß der Hemmung, c) resultierende Abhängigkeit von beiden Einflüssen, M) günstigste Pendellamplitude.

Bild 5
Auswirkung eines Schwerpunktes unten an der Unruh bei verschiedener Amplitude
a) Schwerpunkt wirkt zur Mittellage - erzeugt Vorgehen, b) Nachgang kompensiert Vorgehen, c) Schwerpunkt wirkt von Mittellage weg - erzeugt Nachgang; in den Kreisen Tendenz der resultierenden Gangänderung.

die Uhr schwer anläuft. Üblicherweise ist eine so weite Verstellung des Abfalls auch nicht notwendig. Nur bei Taschenchronometern muß man die Position so lassen, daß ein optimales Anlaufen gesichert wird.

Einfluß des Unruhschwerpunktes

Es ist bekannt, daß ein Schwerpunkt der Unruh zu unterschiedlichem Gang in den verschiedenen Lagen führt. Im weiteren wirkt er sich bei kleiner Unruhamplitude viel stärker aus als bei größerer, so daß er auch zu ungleicher Dauer verschieden großer Amplituden, also zum Anisochronismus führt.

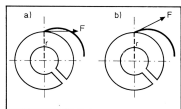
Befindet sich die Uhr in der Lage, in der ein Schwerpunkt an der Unruh unten ist, so wird bis zu einer Amplitude von 180° (in der Fachsprache „Schwingweg ein Umgang“) die von der Erdbeschleunigung wirkende Kraft F_g (Bild 5) immer zur Mittellage wirken und - entsprechend Bild 3 - den Gang beschleunigen. Erst bei noch größerer Amplitude entsteht eine Wirkung von der Mittellage weg und damit eine Verzögerung. Da ein Impuls weit entfernt von der Mittellage sich stärker auswirkt, wird das Vorgehen während des ersten Teils des Schwingweges durch das darauf folgende Nachgehen nicht erst bei 360° ausgeglichen, sondern bereits bei 220° (d. h. bei etwa „1/4 Umgang“). Darüber hinaus entsteht ein Nachgehen der Uhr (Bild 5). Ein Diagramm des Ganges in Abhängigkeit von der Amplitude bei einem unten an der Unruh befindlichen Schwerpunkt ist in Bild 6 dargestellt. Liegt der Schwerpunkt oben, so ist das Verhalten natürlich umgekehrt und ein seitlich wirkender Schwerpunkt wirkt sich nicht aus.

Einfluß der Reibung

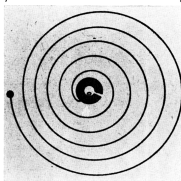
Die Einflüsse der Reibung heben sich bei allgemeiner Betrachtung gegenseitig auf, aber die wirksame Mittellage wird verschoben und der verzögernde Einfluß der Hemmung nimmt zu.

Einfluß der Fliehkraft

Bei einer aufgeschnittenen Kompensationsunruh federn die Unruhreifenhälften unter



7 8



Länge und gleichen Drehmoments also wesentlich leichter sein. Man darf dieses Verhältnis nur nicht so weit treiben, daß man – entsprechend der vorstehenden Betrachtung – sich der Elastizitätsgrenze nähert und wählt als ungefähren Erfahrungswert das Verhältnis von Klingendicke zur Höhe mindestens wie 1:3. Es sind Verhältnisse bis 1:7 üblich, wobei die Masse und damit das Trägheitsmoment auf das 1,52fache steigen.

Verlagerung des Schwerpunkts der Spiralfeder – Seitlicher Druck und Zapfenreibung

Eine gespannte Spiralfeder soll auf die Unruh ein Moment $F \cdot r$ (Bild 7a) ausüben. Es ist bekannt, daß eine übliche flache Feder sich einseitig entwickelt (Bild 8), weil sich mit ihrer Ausdehnung der Befestigungspunkt am Spiralklötchen nicht mit nach außen bewegt. Dann wirkt – entsprechend Bild 7b – die Kraft F aber nicht tangential. Außerdem bleibt die besprochene Masse der Spiralfeder nicht im Zentrum der Unruh, sondern erzeugt eine zusätzliche, amplitudenabhängige Unwucht. Zudem entsteht ein seitlicher Druck auf die Unruh und damit eine zusätzliche Zapfenreibung. Verbesserungen sind mit den im folgenden geschilderten Methoden zu erzielen.

Philippssche Endkurven

Bereits Gourdain (1747) und besonders John Arnold (1779) hatten bei zylindrischen Chronometer-Spiralfedern festgestellt, daß man das schädliche einseitige Atmen durch eine veränderte Kurvenform am Ende der Feder beeinflussen kann. A. L. Breguet (1747–1823) hatte die geniale Idee, durch einen hochgebogenen letzten Umgang dasselbe bei flachen Spiralen zu realisieren. Phillips entwickelte

dem Einfluß der Fliehkraft bei großer Amplitude etwas auf, wodurch die großen Schwingungen verlangsamt werden.

Abweichungen vom Hookeschen Gesetz

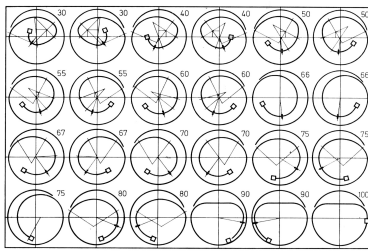
Der Physiker Hooke formulierte die Gesetzmäßigkeit einer Feder mit dem Meek Satz: „Wie die Spannung, so die Kraft.“ Das soll bedeuten, daß die Kraft oder das Moment einer Feder normalerweise mit der Auslenkung linear ansteigt. Wenn eine auf 300° gespannte Unruhspiralfeder das doppelte Moment wie eine auf 150° ausgeleimte abgeben würde, so wären das die besten Voraussetzungen für ein isochrones Schwingen. Leider gibt es, je nach dem Material, Abweichungen, die oft klein, manchmal aber überraschend groß sind. Auffällig waren sie bei den ersten temperaturkompensierenden Elinvar-Spiralen aus relativ weichem Material. Der Fehler wird groß, wenn die Spannung der Feder sich der Elastizitätsgrenze nähert. Unregelmäßige Spannungen entstehen auch, wenn die Feder an den Enden schlecht befestigt ist oder an ihr viel gebogen wird. Die Gerstenbergerschen Spiralfederendkurven (Bild 9) sind daher so angelegt, daß die durch Winkel gekennzeichneten Abschnitte

aus unverformter Klinge bestehen. Beim Verstellen der Enden sollen abgelenkte Stifte verwendet werden, um die Klinge nicht hohl zu drücken. Das Einkleben der Enden ist ein günstiges Verfahren.

Einfluß des Trägheitsmoments der Spiralfeder

Wie in einem elektrischen Schwingkreis die Energie zwischen Induktivität und Kapazität pendelt, so soll sich bei einem Unruh-Spiralfeder-Schwingensystem die kinetische Energie der Unruh wechselnd in potentielle Spannungsenergie der Spiralfeder verwandeln. Leider hat die Spiralfeder selbst eine Masse, die sich zum Teil mit der Unruh dreht und zum Massenträgheitsmoment der Unruh beiträgt. Dieser Einfluß steigt mit zunehmender Amplitude.

Natürlich wirkt es sich aus, wenn die Feder selbst schwer ist und einen großen Durchmesser hat, also ein großes Trägheitsmoment besitzt. Man wählt den Durchmesser einer Spirale daher so, daß er üblicherweise dem halben Unruhdurchmesser entspricht. Außerdem steigt die Kraft einer Feder mit der 3. Potenz der Klingendicke. Bei einer relativ großen Klingendicke kann eine Feder gleicher



9

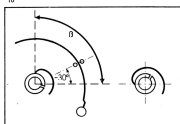
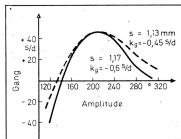
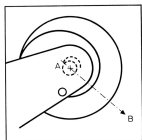
die Theorie, die ideale Kurvenform zu ermitteln. Man kann unterschiedliche Ausführungen konstruieren, wobei sich die von G. Gerstenberger, Glashütte, entwickelten Kurvenvorlagen (Bild 9), die es in verschiedenen Größen gibt, verbreiteten. Bei Neuanfertigungen und Korrekturen von Spiralfederendkurven sind sie zu Rate zu ziehen.

Um hervorragende Gangergebnisse zu erzielen, verändert man die Kurven häufig nach praktischen Erfahrungen, die Helwig [1] sehr ausführlich schildert. Man ist bemüht, ein geringes Vorgehen in den kleinen Amplituden im Neuzustand zu erzielen, weil bei sich verdickendem Öl und zunehmender Reibung der Einfluß der Ankerhemmung wächst, der die kleinen

Schwingungen verlangsamt. Man stellt dazu die Lage des inneren Ansteckungspunktes bei Mittellage der Unruh (A; Bild 10) fest. Nun verändert man die Kurvenform so, daß die Spirale nach der entgegengesetzten Seite (B) etwas exzentrisch liegt, also dorthin mehr atmet. Diese Korrektur beschleunigt die kleinen Amplituden gegenüber den großen; eine entgegengesetzte Veränderung erzeugt die umgekehrte Wirkung. Für gehobene Ansprüche erhalten Breguet-Spiralen auch eine Innenkurve im Übergang zur Spiralleiste.

Die Spiralenlänge nach Caspari

Le Roy hatte bereits 1766 vermutet, daß isochrone Schwingungen bei einer be-



kel etwa 0° , so werden die kleinen Schwingungen gegenüber den großen beschleunigt, und bei 180° ist es umgekehrt. Dabei rechnet man wegen des Rückereinflusses den äußeren Befestigungspunkt als etwa 30° vom Rücker in Richtung auf das Spiralklötzchen liegend.

Bei Armbanduhren führt der große Einfluß der Ankerhemmung stets zum Nachgehen in den kleinen Amplituden. Man gleicht das teilweise aus, indem man den Winkel $\beta = 0^\circ$ wählt. Dies ist letztlich die gleiche Gesetzmäßigkeit, wie sie nach Bild 10 für die Breguet-Spirale gefordert wurde, denn die Spirale atmet gegenüber der äußeren Befestigung am stärksten. Moderne Fertigungsverfahren erlauben es, das serienmäßig zu realisieren, wodurch die Ganggenauigkeit wesentlich gesteigert wurde. Bei diesem Verfahren wird die Spirale auf optimale Länge geschnitten. Das Direktionsmoment jeder Feder wird gemessen und es wird eine Uhrung geeigneten Trägheitsmomentes zugeordnet.

Die Lage des inneren Befestigungspunktes nach Jules Grossmann

Infolge der Zapfenreibung verkleinert sich die Amplitude einer Uhrung gegenüber der horizontalen Lage der Uhrhülle gegenüber der senkrechten, wenn die Uhr auf dem Zapfen ruht. Die Uhren neigen bei horizontaler Uhrhülle, also in der sogenannten Hängelage, zum Nachgehen. Grossmann stellte fest, daß man ein maximales Vorgehen in der senkrechten Lage erzielen kann, wenn die erste innere Halbwindung der Spirale nach oben verläuft (Bild 12). In der entgegengesetzten Stellung erhält man ein Nachgehen.

Während bei Taschenuhren „Krone oben“ die übliche senkrechte Lage ist, sind Armbanduhren nicht so eindeutig positioniert. Als Vorgehenslage ist die Mitte zwischen Krone links und Krone unten, d. h. die Zifferblattanzeige 1.30 Uhr unten, anzusehen.

Die Regeln von Caspari und Grossmann sind nur bei einer geeigneten Lage von Spiralklötzchen und Rücker in der Uhr zu realisieren (Bild 13). Aus praktischen Gründen der Zugänglichkeit der Hemmung verzichtet man häufig darauf, die Regel von Grossmann voll einzuhalten. Relativ günstig gelang es z. B. bei den Herrenarmbanduhren „Spezimatic“ und „Speichron“.

Einfluß der Rückerstifte

Besonders die zarten Spiralen der Armbanduhren müssen im Rücker etwas Spiel

Bild 6 Gangabweichung in Abhängigkeit von der Amplitude bei unten liegendem Schwerepunkt

Bild 7 Kraftwirkung der Spirale an der Rolle

a) ideal, b) praktisch

Bild 8

Einseitig entgegengesetzt vom äußeren Befestigungspunkt sich ausdehnende Spiralfeder

Bild 9

Kurvenvorlage für Breguet-Spiralen nach Gerstenberger

Bild 10

Korrektur der Breguet-Spirale zur Beschleunigung der kleinen Schwingungen: A – innerer Ansteckpunkt der Spirale, B – Richtung, in der die Spirale sich stärker ausdehnen soll

Bild 11

Winkel β zwischen inneren und praktisch wirksamen äußeren Spiralenbefestigungspunkt

Bild 12

Lage der ersten inneren Halbwindung der Spirale

Bild 13

Optimale Lage des inneren und äußeren Befestigungspunktes von Armbanduhren-Spiralfedern:

a) links gewundene, b) rechts gewundene Spirale

Bild 15

Gang in Abhängigkeit von der Amplitude bei unterschiedlichem Ankerweg

haben, um sich bei der Reglage nicht zu verklemmen. In der Nähe der Unruhmitellage, wenn die Spirale im Rücker nicht anliegt, wirkt die gesamte Federlänge bis zum Klötzchen, und sie verkürzt sich praktisch, wenn bei steigender Unruhamplitude die Rückführung der Rückführung berührt wird.

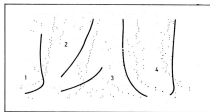
Hat die Spirale im Rücker viel Spiel und ist die Unruhamplitude gering, so kommt der Rücker während eines großen Anteils der Unruhschwingung nicht zur Wirkung, und die Uhr wird bei abnehmender Amplitude nachgehen. Im allgemeinen muß daher das Rückerspiel so gering wie möglich sein, und bei den relativ steifen Taschenuhr-Breguet-Spiralen pflegt man gar kein Spiel zu geben, sondern die Spiralfeder sanft zu klemmen. Ein einseitiges Anliegen der Spirale am Rücker hat eine ähnliche Wirkung. Legt man sie innen an, wird die Spirale stärker einseitig atmen, als wenn das außen der Fall ist. Je nach Lage des inneren Ansteckungspunktes ist dann zu entscheiden, ob die Berührung außen oder innen das bessere Reglageergebnis bringt.

In den Fällen, in denen eine stark vom Hookeschen Gesetz abweichende Spiralfeder zum Vorgehen in den kleinen Amplituden führt, kann ein vergrößertes Rückerspiel den Isochronismus verbessern. Schließlich kann man die Spirale so richten, daß sie bei geringer Amplitude am Rücker anliegt und sich bei größerer hebt. Erst dann wirkt die gesamte Spirallänge und die großen Schwingungen werden gegenüber den kleinen verlangsamt. In jedem Fall sind diese Wirkungen aber stark unlinear, und das Verfahren ist nicht für eine Präzisionsreglage geeignet.

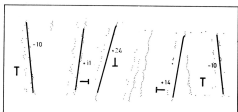
Praktische Tipps zum Verbessern des Isochronismusverhaltens von Unruhuhren

Ergänzend sei darauf verwiesen, daß die Zeitwaage oft schnelle Auskluft über die anzuerkennenden Maßnahmen gibt. Läßt man eine Unruh anlaufen und registriert darauf das Diagramm, so würde sich bei idea-

stimmten Spirallängen ohne besondere Endkurven zu erzielen seien. Caspari [4] wies nach, daß unter Voraussetzung einer ausreichend langen flachen Spirale mit mindestens 10 Windungen (man wählt oft 12 bis 14) der innere Ansteckpunkt der Spiralfeder in Bezug auf den äußeren unter einem bestimmten Winkel liegen muß. Beträgt der Winkel β (Bild 11) 90° oder 270° , so sind die ungestörten Unruhschwingungen isochron. Beträgt der Win-



14



16

17

Ism Isochronismus eine gerade Linie, d. h. gleiches Gangverhalten bei allen Amplituden ergeben. Man kann das Verfahren verfeinern, indem man den Unruhreif mit einem Tuschepunkt markiert, verschiedene Amplituden genau beobachtet und zusammen mit dem jeweiligen Gang notiert.

Eine Uhr mit einseitig wirkender Hemmung ist ein Studienobjekt, um sich den bedeutenden Einfluß von Stößen bzw. Impulsen vor Augen zu führen. Da man an einer Uhr mit Chronometerhemmung nur vorsichtig experimentieren darf (Gefahr des Durchlaufens des Räderwerks), ist die „elektrochron“ für Versuche zu empfehlen. Durch Verdrehen der Spiralarolle, also einem Verstellen des Abfalls, wird der Gang sofort erheblich verändert. Liegt der Impuls mehr vor der Mittellinie, so wird die Uhr vorgehen. Außerdem ändert sich der Isochronismus. Im Bild 14 sind derartige Versuche bei geringstem Rückerspiel dargestellt. Das erste Zeitwaagendiagramm zeigt den Anlieferungszustand. Beim zweiten war die Tendenz, daß die kleinen Schwingungen zu schnell sind, durch Verdrehen der Spiralarolle noch verstärkt worden. Der Impuls erfolgte also vor der Mittellinie. Eine entgegengesetzte Verstellung (Impuls nach der Mittellinie) mit gleichzeitiger Reglage führte zum Verhalten des Diagramms 3, wo die kleinen Amplituden zu langsam sind. Beim vierten erfolgte eine optimale Einstellung. Bei der Funktion der „elektrochron“ entstehen mehrere Nebengeräusche, wodurch die Klarheit des Diagramms leidet. Die entscheidenden Linien, die der kundige Blick schnell erfäßt, wurden deshalb markiert.

Große Ruhe und großer Nachfall (toter Weg) bei einer Ankerhemmung beeinträchtigen den Isochronismus, wie unter anderem die Aufnahmen des Ganges in Abhängigkeit von der Amplitude im Bild 15 bei einer Damenarmbanduhr beweisen. Man muß also die Hemmung sorgfältig justieren. Schließlich sollen die Hemmungsteile möglichst trägheitsarm sein. Versuche beim Zeiteiter mit verschiedenen dicken Ankerrädern zeigten jedoch, daß diese Einflüsse keine zu große Bedeutung haben.

Ein Schwerpunkt der Unruh bildet die Hauptursache für mangelnden Isochronismus und man muß die Unruh sorgfältigst auswuchten. Registriert man, wie im Bild 16 dargestellt, den Gang mit der Zeitwaage in den verschiedenen senkrechten Lagen der Uhr, so ist zu erkennen, in welcher sie am stärksten vorgeht und ein Schwerpunkt sich an der Unruh unten befindet. Das ist im Beispiel des Bildes 17 bei „Krone unten“. Bei solchen Versuchen

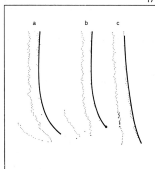


Bild 14

Zeitwaagendiagramme einer „elektrochron“ bei verschiedenen Impulsphasen

Bild 16

Zeitwaagendiagramme einer Taschenuhr in vier verschiedenen Lagen der Krone

Bild 17

Zeitwaagendiagramme bei anlaufender Unruh und verschiedenem Rückerspiel

muß die Amplitude klein (unter 100°) und konstant bleiben, damit der Fehler – entsprechend Bild 7 – deutlich hervortritt und außerdem das Auswandern des Spiralschwerpunktes die Beurteilung wenig stört. Hat man ein rundes Großuhr-Einsteckwerk, so kann man es oft im Gehäuse so drehen, daß der Restschwerpunkt der Unruh seitlich liegt und den Gang nicht stört. Während man bei Präzisionsuhren den Isochronismus mit der Form der üblichen Spiralfeder-Endkurve einstellt, greift man besonders bei einfachen Unruh-Achttaeuerwerken, bei denen das Vorgehen am Wochenanfang stört, zur Korrektur am Rücken. Im Bild 17 ist bei anlaufender Unruh zu erkennen, daß sich der geradeste Schrieb bei kleinstem Rückerspiel ergibt. In ähnlicher Weise kann man ausprobieren, ob beispielsweise ein Innen- oder Außenanliegen der Spirale oder das bereits beschriebene Abheben bei größeren Amplituden förderlich ist. Schließlich hat das Richten der Spiralfeder erheblichen Einfluß. Wenn sie an der Rolle schlecht rund läuft, wandert ihr Schwerpunkt noch stärker. Ein Unflachlaufen ist dagegen mehr ein Schönheitsfehler. Spannungen im Material verändern das Elastizitätsverhalten und es darf an der Feder nicht unnötig gebogen werden.

Bei einer neuen Spiralfeder sollte man die optimale Lage des inneren Ansteckungspunktes beachten. Man zählt sie provisorisch ab. Stellt sich dabei eine ungün-

stige Position heraus, so muß man die Spirale innen entsprechend ausbrechen. Wenn man innen z. B. 1 mm kürzt, muß man sie außen um das gleiche Maß verlängern. Das wirkt sich aber am großen Radius auf die Winkellage nur unwesentlich aus. Bei Präzisionsuhren geben die Gewichtsschrauben eine zusätzliche Möglichkeit zur Korrektur der Schwingungszeit, die sich bei optimaler Winkellage der Ansteckungspunkte einstellt.

Zusammenfassung

Das Interesse an der gekonnten Instandsetzung mechanischer Uhren ist auch gegenwärtig groß, so daß es gegeben erscheint, sich die wichtigsten Regeln vor Augen zu führen, mit denen man eine weitgehende Unabhängigkeit des Ganges von der jeweiligen Amplitude erreichen kann. Mit diesem Beitrag wurden die Einflußgrößen auf Pendel und Unruh dargestellt und die wesentlichen Möglichkeiten gezeigt, wie man den verschiedenen Problemen begegnen kann.

Literatur

- [1] K. Giebel, A. Helwig: Feinstellung der Uhren. Berlin: Verlag Technik, 1952
- [2] K. Giebel: Das Pendel. Halle: Verlag W. Knapp, 1931, 2. Auflage
- [3] L. Loosier: Das Regulieren der Uhren in den Lagen. Bautzen: Verlag E. Rühl, 1892
- [4] E. Caspari: Untersuchungen über Chronometer und nautische Instrumente. Bautzen: Verlag E. Rühl
- [5] P. Lange: Le Système Balancier-Spiral. Production Horlogerie Française 1957 (Nr. 2, S. 2-12 und Nr. 3, S. 1-10)
- [6] Cetebar-Dokument 66 C, Methode d'observation du point d'attache à la virole dans les montres-bracelet avec spiraux plats US 2435

Quelle: Fachzeitschrift Uhren & Schmuck Heft 1
1989 S. 16-20