

## Bemerkungen über den Isochronismus der Spiralfeder.

Ueber den Isochronismus dürfte kaum eine bessere Schrift bestehen, urtheilt Engen Geleich in der Geschichte der Uhrmacherkunst, als jene, welche Moritz Imnisch, praktischer Uhrmacher in London, 1879 veröffentlicht hat. Die Entstehung dieser Schrift ist einer Widmung der Baroness Burdett Coutts zu verdanken, welche 50 Pfund Sterling für die beste Arbeit über die Spiralfeder und ihre isochronische Adjustirung zur Verfügung stellte. Der deutsche Uhrmacher Imnisch hat nun diesen Preis davon getragen.

In seiner Schrift bekämpft der Verfasser zunächst die weit verbreitete Idee, dass der Isochronismus eine bestimmte Länge der Spirale bedeute. Dann deckt er den Irrthum auf, welchen man begeht, wenn man den Isochronismus als ausschliessliche Eigenschaft der Spirale betrachtet. Wenn man auch mit der Spirale Isochronismus erzielt, so ist daraus nicht zu folgern, dass alle Bedingungen des letzteren in ersterer zu suchen seien. Wichtige den Isochronismus bedingende Faktoren sind die Hemmung und die Umrüh. Imnisch erläutert zuerst den Einfluss der Reibung in äusserst verständlicher Form und geht dann zur Besprechung des Einflusses der Beschaffenheit der Umrüh über. Der Isochronismus wird, sagt Imnisch, innerhalbw gewisser Grenzen durch die Art und Weise bestimmt, wie sich Durchmesser und Gewicht der Umrüh zu einander verhalten. Der Isochronismus der Schwingungen wird verschieden beeinflusst, je nachdem die relative Kraft der Spiralfeder mehr durch das Gewicht, oder durch den Durchmesser verändert wird. Der praktischen Verwerthung dieses Umstandes zur Erzielung eines isochronischen Ganges stellt sich jedoch das unüberwindliche Hinderniss entgegen, dass man nicht im Stande ist, den wahren Schwingungsdurchmesser einer Umrüh genau anzugeben. Man kann daher nie wissen, ob die Hinzufügung von Schrauben, z. B. in Rücksicht auf die relative Kraft der Feder, mehr das Gewicht als solches oder den Schwingungsdurchmesser, oder beide gleichmässig beeinflusst.

Äusserst interessant sind einige Versuche, die der Verfasser mittheilt und weit wichtiger noch die daran geknüpften Bemerkungen, die nachfolgend Platz finden sollen.

„Versuche, die in jeder leicht mit einer guten Uhr anstellen kann, werden zeigen, dass, wenn man Schrauben von verschiedenem Gewicht, Form und Material anwendet, der Isochronismus bedeutend beeinflusst wird. . . .“

Es folgen die Versuche mit einer Uhr, die eine Breguet-Spirale enthält und für 18000 Schwingungen in der Stunde genau isochronisch war. Die Zeit jeder Beobachtung betrug eine Stunde. Ein Paar kleine Schrauben wurden zugefügt; Resultat: sowohl die grossen als auch die kleinen Schwingungen verzögerten sich um je 18 Sekunden. — Ein anderes Paar Schrauben wurde zugefügt; Resultat: die grossen Schwingungen verzögerten sich um 1 Min. 7 Sek., die kleinen Schwingungen verzögerten sich um  $5\frac{1}{2}$  Sek. — Ein Paar Schrauben wurde herausgenommen und ein anderes, leichteres eingesetzt; Resultat: die grossen und die kleinen Schwingungen verzögerten sich je um 1 Min. — Ein Paar sehr kleine Schrauben wurde herausgenommen und alle anderen bedeutend herausgeschraubt; Resultat: bei den grossen Schwingungen trat eine Verzögerung von 1 Min. 16 Sek. ein, bei den kleinen Schwingungen nur eine Verzögerung von 1 Min. 14 Sek. in der Stunde.

Die Uhr lag bei den Versuchen stets horizontal, die kleinen Schwingungen waren durch Abspannung der Zugfeder auf ca. die Hälfte der grossen reduziert.

Bei fortgesetztem Experimentiren gelang man zuweilen zu Resultaten, die noch viel überraschender sind, als die hier angeführten. Wir müssen uns erinnern, dass die Geschwindigkeit der Schwingungen selbst ein nicht unbedeutender Faktor in Bezug auf Isochronismus ist.

Die Schlussfolgerung, die sich aus angesichts solcher Beobachtungsergebnisse aufdrängt, ist offenbar die, dass die hier thätigen Elemente, nämlich: Schwingungsdurchmesser, Gewicht, Geschwindigkeit und Luftwiderstand sich theilweise entgegenwirken und wenn dieselben gleichmässig beeinflusst werden, tritt keinerlei isochronische Veränderung ein; wenn ungleichmässig beeinflusst, wird das bisherige Gleichgewicht unter ihnen gestört und eine Differenz in grossen und kleinen Schwingungen ist die natürliche Folge.

Macht man eine grosse Anzahl Experimente mit derselben Umrüh, so kann man schliesslich den Werth und die Bedeutung eines jeden dieser Elemente feststellen, allein irgend eine sich darauf gründende Regel wird sich nur auf diese identische Umrüh anwenden lassen. Andere Dimensionen oder eine andere Spiralfeder würde eine neue Reihe langwieriger Versuche erheischen.

Dieses wird genügen, die weitverbreitete Idee zu widerlegen, dass eine Spirale, einmal adjustirt, für grosse und kleine Schwingungen dieselbe „Eigenschaft“ beibehält, gleichviel mit welcher Umrüh und mit welcher Hemmung dieselbe in Verbindung gebracht wird. Isochronismus ist eben keine Eigenschaft der Spiralfeder, und vorausgesetzt, dass mittels Formveränderung der Feder Isochronismus erzielt werden kann, so wird es uns jetzt auch klar sein, weshalb dieselbe nicht eine stereotype sein kann und weshalb sie in jedem einzelnen Falle erst gefunden werden muss, ausser man hat es mit Uhren von genau denselben Dimensionen aller Theile und ganz gleicher Güte zu thun.

Im Verlaufe seiner Abhandlung beschäftigt sich Imnisch mit anderen Fragen über die Dimensionen und über die Form der Umrüh, wobei er verschiedene Hemmungszarten berücksichtigt. Er bekämpft die Ansicht vieler Uhrmacher, dass die Spiralfeder dann isochronisch sei, wenn ihre Widerstandsfähigkeit genau mit dem Inflexionswinkel zunimmt und entwickelt dann die Manipulationen die nöthig sind, um Isochronismus herzustellen. Der Verdickung des Oeles und dem Elastizitätsverlust der Feder in der Wärme sind ebenfalls einige Worte gewidmet.

Jede Feder verliert nach und nach an Elastizität und das Oel, welches man an die Zapfen der Umrühwelle bringt, wird in geringerem oder grösserem Grade dick. Diese beiden Ursachen bringen eine Verspätung im Gange der Uhr mit sich und die Schwingungen der Umrüh erhalten durch die Verdickung des Oeles eine geringere Ausdehnung. Bei Taschenchronometern (wie solche auf geographischen Landreisen verwendet werden) vermehrt sich ausserdem die Reibung bei vertikaler Lage des Zifferblattes. Nimmt man an, dass ein mit einer isochronischen Spirale versehenes Chronometer in einer Temperatur von 25 bis 37,5 Grad C. in horizontaler Lage völlig regulirt ist, so wird es dies in vertikaler Lage nicht mehr sein, weil der Widerstand, den die Zapfen erleiden, wenn das Oel dicker wird, in vertikaler Lage grösseren Einfluss hat; und da die vermehrte Reibung ein Verspäten bewirkt, so wird ein solches Chronometer, wenn es senkrecht gestellt ist, in der Kälte verlieren. Die berühmtesten Uhrmacher aus dem Ende des vorigen und aus dem Beginn unseres Jahrhunderts hoben diese Uebelstände durch Aufopferung des Isochronismus aus. In seinem berühmten Werke über die höhere Uhrmacherkunst behandelte Jürgensen diesen Gegenstand sehr ausführlich, nachdem er früher schon darüber in den „Astronomischen Nachrichten“ von Schumacher im Jahre 1823 geschrieben hatte.

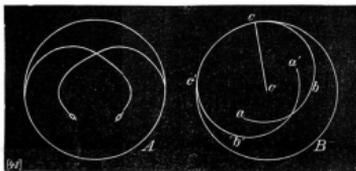
Während Urban Jürgensen bei Seeuhren die kleineren Schwingungen rascher vollführt sehen will und eine Schwingungszahl von 14400 Schwingungen in der Stunde für rathsam hält, glaubt er bei Landuhren, welche den Wirkungen von Wagentransporten u. dergl. ausgesetzt sind, andere Grundsätze einführen zu sollen. Die grösste Regelmässigkeit im täglichen Gange kann für diesen Zweck nur durch den perfekten Isochronismus und die grösstmögliche Geschwindigkeit der Schwingungen erreicht werden. Kessels, der mit Schuhmacher beobachtete, erwiderte das Schreiben Jürgensen's in den „Astronomischen Nachrichten“ im Jahre 1823. Taschen-Chronometer sind seiner Ansicht nach besser für Landreisen geeignet als die grossen Schiffschronometer, allein man muss von erstern verlangen, dass sie, ob horizontal oder vertikal, immer gleich gut gehen, eine Anforderung im übrigen, die heutigen Tages an jede gute Taschenuhr gestellt wird. Diesen Grad von Genauigkeit darf man mit einer isochronischen Spiralfeder nicht zu erhalten hoffen, da bei vertikaler Lage die vermehrte Reibung die Uhr verlieren macht. Daher will Kessels die von Earnshaw zuerst aufgestellte Theorie der Verzichtung auf einen vollständigen Isochronismus auch für Landuhren bewahren. Uebereinstimmend sind anderseits seine Ansichten über die Schwingungszahl pro Stunde mit den von Jürgensen gegebenen Daten.

Um die weiteren Studien zu verfolgen, welche auf diesem Gebiete betrieben wurden und vorzüglich diejenigen der letzten Jahre, als die wichtigsten, muss man den Isochronismus der Spiralfeder mit der Kompensation der Unruh in Zusammenhang bringen, um zu sehen, inwiefern die Kompensation dem Isochronismus hilft.

Es ergeben sich aus den Versuchen von Cornulier, Caspari, Phillips, Delamarche und Ploix, dass man mit dem Ausgleich des Trägheitsmomentes der Unruh durch die Kompensation nur sehr wenig gewonnen hat, es musste vielmehr darauf gesehen werden, dass diese Aenderung jene andere der Elastizität der Spirale aufhebe. Da aber die Aenderung des Trägheitsmomentes direkt, jene der Elastizität aber umgekehrt proportional dem Quadrate der Schwingungszeit ist, so lässt sich denken, wie schwer man eine vollständige Kompensation erreichen kann. Es bleibt nichts übrig, als die Kompensation für zwei extreme Temperaturen oder für eine Mitteltemperatur durchzuführen.

Caspari stellte diesbezüglich folgende Erfahrungssätze auf: „Ist die Spirale vollständig isochron und die kreisförmige Unruh gut regulirt, so wird ein für 0 und 30 Grad kompensirtes Chronometer bei 15 Grad zwei Sekunden gewinnen. Für 0 und 15 Grad wird es bei 3 Grad vier Sekunden verlieren; für 15 und 30 Grad kompensirt, bei 0 Grad neun Sekunden verlieren.“ —

Phillips warf sich, durch die Mängel der Kompensation veranlasst, die Frage auf, ob es nicht möglich wäre, die Kompensation mit bimetalischen Lamellen, durch zweckmässige Wahl der Materialien, auf eine höhere Stufe der Vollkommenheit zu bringen. Die einschlägigen Arbeiten Phillips wurden nicht un wesentlich durch die Bemühungen Villarcœu's gefördert, der



sich seinerseits mit der Deformationsverhältnissen bimetalischer Lamellen infolge der Temperaturzunahme, ernstlich beschäftigte. Endlich hat auch Fizeau sein Scherlein zum Gelingen des Werkes, durch die Bestimmung der zweiten Ausdehnungskoeffizienten einer grossen Anzahl von Metallen beigetragen.

Die Abhandlungen der erstgenannten Männer, Phillips und Villarcœu, sind durchaus mathematisch geführt; ihren Formeln entnimmt man, dass der Wahl der Metalle bei der Kompensation eine viel höhere Bedeutung zukommt, als man vorher glaubte. Selbst über das Material der Spirale wären weitere Experimente auszuführen und meint Phillips, dass die Palladium-Legirungen günstig ausfallen müssten. Ekégrén in Genf, Le Roy und Callier in Frankreich haben auch in der That damit ganz vorzügliche Resultate erlangt.

Da das Verlassen des Isochronismus immerhin eine missliche Sache ist, und die gewöhnliche Kompensation, wie genügend erörtert ist, nicht ausreicht, so hat man ungefähr um die Mitte unseres Jahrhunderts daran gedacht, sogenannte Hilfskompensationen einzuführen. Eigentlichen Anlass zu dieser Erfindung gab Dent durch die schon im Jahre 1842 durch ihn zuerst ausgesprochene und später durch Caspari bestätigte Wahrnehmung, dass ein Chronometer, welches für eine mittlere Temperatur kompensirt ist, bei extremen Temperaturen zurückbleibt, und wenn es dagegen für extreme Temperaturen kompensirt ist, bei mittleren voreilt. Dent selbst versuchte seine Chronometer dadurch dem Einflusse der Temperatur zu entziehen, dass er gläserne Federn und Unruhen anwendete. Die auf dem Observatorium zu Greenwich und an Bord des Wachtschiffes „Fairy“ damit vorgenommenen Prüfungen haben sie als gut bezeichnet.

Die erste Hilfskompensation scheint Eiffe in England konstruirt zu haben. Nach dieser kommt eine ganze Reihe von Konstruktionen, von denen diejenigen von Airy-London und Hartnup-

Liverpool am bemerkenswerthesten sind. Charles Frodsham soll nach einer Mittheilung Arnold's eine grosse Anzahl von Modellen solcher Hilfskompensationen hinterlassen haben, die jedoch alle das Schicksal ihrer Vorgänger theilten.

Wie schon erwähnt, war der französische Ingenieur Phillips der erste, welcher die Theorie der Spiralfeder auf mathematische Grundsätze basirte. Er bestimmte die Endform der Spirale durch eine mathematische Gleichung und stellte die Grundsätze zur Erreichung des Isochronismus auf. Phillips fand ferner, dass die Endkurven der cylindrischen Spirale gleich und symmetrisch sein müssen, siehe Fig. A und B.

Die Endkurven der cylindrischen Spirale Fig. B sind mit  $cba$  und  $c'b'a'$  bezeichnet.

Sodann bestimmte der ausgezeichnete Mathematiker die Bedingungen für die Lage des Schwerpunktes der Kurve, welche folgende sind: 1. Der Schwerpunkt muss sich auf dem Halbmesser  $oc$  befinden; 2. Die Entfernung desselben vom Schwerpunkt der Spiralfeder muss  $\frac{r^2}{l}$  betragen, wobei  $r$  der Krümmungshalbmesser eines Punktes der Spirale im Zustande des Gleichgewichtes und  $l$  die Länge der Kurve bedeutet. Endlich fand er, dass die Form der Endkurve von den Dimensionen der Spirale unabhängig ist.

Bezüglich der Form der Spiralen sei noch bemerkt, dass Louis Berthoud sich konischer Spiralen mit gutem Erfolge bediente. A. Breguet wendete die Spirale in zwei Ebenen an, die sogenannte aufgebogene oder Breguetspirale. Er schlug auch die Spirale vor, deren Klinge an beiden Enden dicker, von jedem dieser Enden nach der Mitte zu etwas abnimmt. Eine solche Spirale nimmt, wenn sie sich öffnet, eine tonnenförmige Gestalt an, und wenn sie sich schliesst, sieht sie wie eine in der Mitte schwache und an den Enden angeschwollene Spule aus. Die sphärische wie eine Kugel gestaltete Spirale ist zum ersten Male von Frédéric Houriet, einem Schweizer, gegen die Mitte des vorigen Jahrhunderts ausgeführt worden. In neuerer Zeit hat man in England die Spirale von Hammersley versucht, bei welcher die Mitte der Klinge schraubenförmig gewunden ist, während sich die beiden Enden der Achse nähern.

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts liess Ro milly, indem er einer Idee Bernoulli's folgte, von F. Houriet zwei flache Spiralen übereinander aufsetzen, welche sich im entgegen gesetzten Sinne entwickelten. Seit der Zeit hat man eine doppel-cylindrische Spiralfeder erzeugt und 1838 deren Beschreibung veröffentlicht. In neuerer Zeit hat auch Rozé eine Spirale mit Doppelwindung ausgeführt.

Quelle: Allgemeines Journal der Uhrmacherkunst Nr. 26 v. 30. Juni 1888 S. 203-204; Nr. 27 v. 7. Juli 1888 S. 213-214