

Die Theorie der Endkurven flacher und cylindrischer Spiralen.

Auszug aus der von Lossier verfassten Preisschrift.

Die zu lösende Aufgabe besteht darin: die Form einer Endkurve zu finden, deren Anwendung zur Erlangung des Isochronismus der Spirale am besten geeignet ist. Um den Gang der Beweismittel, welcher zur Lösung dieser Aufgabe führt, so klar wie möglich darzustellen, werde ich denselben in zwei Theile zerlegen, deren erster das Studium der Ursachen umfassen wird, welche auf den Gang einer einfachen, ohne Endkurven versehenen Spirale störend einwirken.

In dem zweiten Theile werde ich mich mit den Verbesserungen beschäftigen, welche an der Spirale vorgenommen werden müssen, um nicht nur allein die im ersten Theil bezeichneten störenden Einflüsse zu beseitigen, sondern auch solche, deren Ursache in anderen Theilen als in der Spirale zu suchen sind. Auf diese Weise werden wir dahin gelangen, die ziemlich entwickelten Wirkungen der Endkurven festzustellen, und zwar ohne dass wir dabei auf irgend eine mathematische Erläuterung einzugehen brauchen, die demjenigen Theil unserer Leser, für welchen diese Arbeit hauptsächlich bestimmt ist, Schwierigkeiten bereiten könnte.

In der Ruhestellung wird die Unruh einer Uhr durch die Spirale in ihrer Lage gehalten, welche ich den „toten Punkt“ nennen werde; sobald man die Unruh aus dieser Lage entfernt, wird sie nach einer Reihenfolge von Schwingungen in dieselbe zurückkehren. Diese Schwingungen müssen nach der Theorie und den Gesetzen der Federkraft durchaus isochron sein. Man hat jedoch in der Praxis herausgefunden, dass, wenn man die Enden einer Spirale, so wie sie sich in ihrer natürlichen Lage befinden, einfach befestigt, die Schwingungen keineswegs oder wenigstens nicht in allen Fällen isochron sind. Phillips hat nun dargelegt und bewiesen, dass dieser, durch die Theorie bezeichnete Isochronismus dadurch erlangt werden kann, dass die Spirale an ihren Befestigungspunkten, sei es die Spiralarolle oder das Spiralklotzchen, durch Kurven von bestimmten Formen, welche den gestellten Bedingungen genau entsprechen müssen, befestigt werden muss. Zunächst wollen wir die störenden Einflüsse, welche auf den Isochronismus einwirken, schildern und feststellen, indem wir uns dabei auf drei Gesetze stützen, welche leicht zu verstehen und zu behalten sind und die durch Yvon Villarceau, Resal, Phillips festgestellt, besonders aber von Julius Grossmann in seiner Theorie der Reglage klar und deutlich begründet sind.

Lässt man auf eine in Bewegung befindliche und mit einer Spirale versehenen Unruh gleichzeitig noch eine äusserliche Kraft wirkend hinzutreten, so wird dieselbe:

1. eine Verzögerung (Verspätung) in der Schwingungsdauer hervorrufen, wenn sie in der umgekehrten Richtung der Bewegung, in der absteigenden Periode, oder in der Bewegungsrichtung in der aufsteigenden Periode angewendet wird. Als aufsteigende Periode der Schwingung bezeichne ich diejenige, während welcher die Unruh sich von dem toten Punkt entfernt, und als absteigende Periode eine solche, während welcher sich die Unruh diesem Punkte nähert.

2. Eine Beschleunigung der Schwingungsdauer wird hervorgerufen, wenn man die Triebkraft in der Richtung der Bewegung, in der absteigenden Periode oder gegen die Richtung der Bewegung, in der aufsteigenden Periode einwirken lässt.

Diese Gesetze erklären sich leicht durch sich selbst und können auch ebenso leicht durch Versuche bewiesen werden; besonders wenn man hierzu ein grosses Pendel mit langsamen Schwingungen verwendet, dem man mit dem Finger kleine Antriebe bald in dieser, bald in jener Richtung mittheilt, und dann die Dauer einer gewissen Anzahl Schwingungen vermittels eines Sekundenzählers feststellt. Aus diesen beiden Gesetzen kann man ohne Mühe das dritte ableiten, welches besagt, dass: wenn diese Triebkraft eine augenblicklich wirkende ist, welche genau in dem Moment, wo die Unruh den toten Punkt passiert, in Thätigkeit tritt, die Wirkung derselben auf die Dauer der Schwingung gleich Null sein wird, gleichviel in welcher Richtung dieselbe angewendet sein mag.

Ausserdem wird die Stärke der Wirkung sich in dem Maasse vergrössern, wie der Antriebspunkt sich von dem toten Punkte entfernt.

Wir kehren nun zu der Schwingung der, mit einer Spirale versehenen Unruh zurück und nehmen an, dass dieselbe flach und an ihren Enden, ohne mit Endkurven versehen zu sein, befestigt ist.

Wir haben gesehen, dass nach der theoretischen Berechnung die Schwingungen isochron sein müssten, sie würden es auch sein, wenn die Spirale sich regelmässig, gemäss den in der Theorie aufgestellten Bedingungen, entwickeln würde. Dies ist aber nicht der Fall. Da das Spiralklotzchen befestigt und unbeweglich ist, wird die Spirale, wenn sie sich zusammenzieht, nicht mehr konzentrisch bleiben, sondern sich gänzlich nach der Seite des Klotzchens hinüberdrängen. Dasselbe findet bei der Entwicklung der Spirale statt, nur dass sich dieselbe nach der entgegengesetzten Seite des Klotzchens wirft. In Folge der Unbeweglichkeit des Spiralklotzchens entsteht eine schwankende Bewegung der Spirale, welche sich bald auf die eine, bald auf die andere Seite der Unruhewelle wirft.

Diese Bewegung hat zwei Folgen: zunächst findet dadurch eine Verschiebung des Schwerpunktes der Spirale statt, welche während des Ganges in den vertikalen Lagen sehr bedeutende Störungen hervorruft, mit welchen wir uns indessen nur vorübergehend beschäftigen können, da sie über die uns *gezogene* Grenze hinausgehen.

Die zweite Folge, welche uns ganz besonders interessirt, besteht darin, dass diese hin- und hergehende, geradlinige Bewegung sich in eine kreisförmige Bewegung der Unruh verwandelt. Um uns über diese Thatsache genau Rechenschaft zu geben, nehmen wir eine Unruh mit Spirale und setzen dieselbe auf die Platine; indem wir nun das Klotzchen erfassen und nach uns ziehen, ist es augenscheinlich, dass sich die Spirale wie der Faden einer Spule abwickeln und die Unruh in Bewegung setzen wird. Wenn wir nun, die Sache bis zum Ausserstehen treibend, das Klotzchen so weit ziehen, dass die Spirale sich zu einem geraden Faden ausgezogen hat, so wird die Unruh ebenso viel Umgänge gemacht haben, als die Spirale vor dieser Operation besass.

Wenn wir nun abwechselnd, statt das Klotzchen nach uns zu ziehen, dasselbe gegen die Welle der Unruh schieben, so wird sich die Unruh nach der entgegengesetzten Seite, wenn auch nur um einige Grade, drehen, weil die Bedingungen nicht mehr ganz dieselben sind. Sobald wir uns nun damit begnügen, der Unruh nur eine so beschränkte Bewegung mitzutheilen, dass die Umgänge der Spirale sich nicht berühren können, werden die Bedingungen gleichbedeutend sein, welche Richtung wir auch der Bewegung des Spiralklotzchens geben mögen. Auch die daraus hervorgehende kreisförmige Bewegung der Unruh kann besser zum Ausdruck kommen und sich gemäss der gegenseitigen Lage der beiden Befestigungspunkte der Spirale verändern.

Wenn die beiden Befestigungspunkte der Spiralfeder sich auf ein und derselben Seite befinden, das heisst: wenn die Spirale eine Anzahl voller Umgänge besitzt, so hat eine Verschiebung des Spiralklotzchens keine Wirkung auf die Stellung der Unruh; sie bringt folglich in diesem besonderen Falle keine kreisförmige Bewegung hervor. Wir erhalten jedoch die Maximal-Bewegung einer Unruh, wenn die beiden Befestigungspunkte ungefähr in einem Winkel von 225 Grad von einander entfernt stehen, das heisst, wenn die Spirale ausser der Anzahl voller Umgänge $\frac{1}{2}$ Umgänge mehr besitzt.

Man kann sich leicht durch Aufzeichnen einer Spirale von dieser Thatsache Rechenschaft ablegen. Ebenso sind die Berechnungen der Drehungswinkel der Unruh, welche durch eine gewisse geradlinige Verschiebung des Spiralklotzchens sich ergeben, arithmetische Berechnungen, welche die Schwierigkeiten der gewöhnlichen Proportions-Aufgaben nicht viel übertreffen, und deren Ausführung nothwendig ist, wenn man die Zahlen, welche ich später angeben werde, kontrolliren will. Es ist folg-

lich wohl begründet, dass eine geradlinige Bewegung des Spiralklotzens nach dem Halbmesser der Urruhr, eine kreisförmige Bewegung der letzteren zur Folge hat, deren Stärke sich nach der Stellung der Befestigungspunkte der Spirale verändert.

Wir haben hier in der That zwar keine Verschiebung des Spiralklotzens, aber wir haben doch eine Veränderung des Spirallumfanges, welche die gleiche Wirkung hervorbringt.

Wenn die Spirale sich zusammenzieht, wird durch den Zug des Spiralklotzens ein Widerstand geschaffen, welcher der Bewegung der Urruhr entgegenwirkt. Die Stärke dieses Widerstandes verändert sich je nach der anfänglichen Stellung des inneren Befestigungspunktes der Spirale und auch nach der Stellung, welche derselbe während der Schwingung nach und nach einnimmt. Ebenso wird die Spirale, wenn sie sich entwickelt, von dem Spiralklotzen hindergedrängt, wodurch wieder eine Bewegung der Urruhr, aber in entgegengesetzter Richtung hervorgerufen wird.

Man wird sofort ersehen, dass es ziemlich schwierig ist, die Wirkung dieser verschiedenen Kräfte zu verfolgen. Wir werden nun einen Fall als Beispiel prüfen und uns für die anderen mit den erhaltenen Zahlenresultaten begnügen.

Zu dieser Prüfung nehmen wir eine flache Spirale, deren Befestigungspunkte sich in der Ruhelage gegenüber stehen, also in einer Entfernung von 180 Grad. Die Urruhr bewegt sich nun vom toten Punkte aus, um eine halbe (aufsteigende) Schwingung von 270 Grad Schwingungsbreite zu machen^{*)}. Der Befestigungspunkt in der Spiralarolle, welcher sich in der Ruhelage dem Spiralklotzen gegenüber, das heisst in einer Winkelentfernung von 180 Grad befindet, nähert sich zunächst demselben, bis er sich auf derselben Seite auf 0 Grad der Winkelentfernung befindet, alsdann entfernt er sich weiter bis zu 90 Grad.

Prüfen wir nun zunächst, was sich während der Periode der Zusammenziehung der Spirale ereignet. Die Spirale wird immer kleiner, das Klotzen zieht dieselbe nach sich und diese geradlinige Wirkung wird schliesslich zu einer kreisförmigen, allein wir bemerken, dass, wenn einerseits die geradlinige Wirkung sich beständig mit der Schwingungsbreite vergrössert, dies mit der daraus hervorgehenden kreisförmigen Wirkung nicht der Fall ist. Diese wird aufgehoben, wenn die Urruhr bis auf 180 Grad schwingt, weil sich alsdann die beiden Befestigungspunkte auf ein und derselben Seite befinden.

Diese beiden Wirkungen haben das Bestreben, sich während der ersten halben Schwingung der Urruhr zu neutralisiren und in der That findet man, wenn man dieselbe berechnet, dass der auf die Dauer der Schwingung zur Geltung kommende Einfluss nur äusserst gering ist. Indessen ist derselbe vorhanden und werden wir sogleich die Bedeutung desselben feststellen.

Während der ersten Viertelschwingung führt die auf die Urruhr sich geltend machende Wirkung dahin, die Spirale abzuwickeln, das es eine Zugwirkung ist, während im Gegentheil das normale Spiel der Urruhr eine Aufwicklung (Zusammenschliessung) der Spirale bewirkt. Diese Wirkung äussert sich daher in entgegengesetzter Richtung zu der Bewegung der Urruhr, während der aufsteigenden Periode, woraus sich, nach dem zweiten der zu Anfang angeführten drei Gesetze eine Beschleunigung ergibt, welche ihr Maximum gegen den 45. Grad erreicht.

Von diesem Punkte ausgehend und während des zweiten Viertels der Urruherschwingung vermindert sich die durch die Zugwirkung des Spiralklotzens erzeugte Abwicklung der Spirale, die hieraus entstehende Wirkung äussert sich in der Richtung der Bewegung der Urruhr und bewirkt eine Verzögerung, welche gegen den 135. Grad ihr Maximum erreicht, sich alsdann verringert, bis sie sich beim 180. Grad ausgleicht, wie wir bereits oben erwähnt haben. In dem dritten Theile der halben Schwingung endlich verändern sich die Sachen. Die Zugwirkung des Spiralklotzens vermehrt sich fortwährend, ebenso die daraus hervorgehende kreisförmige Wirkung, wodurch eine Beschleuni-

gung hervorgerufen wird, die bis zum Ende der Schwingung schnell wächst.

In gleicher Weise verlaufen die Dinge beim Rücklauf und während der Ausdehnung der Spirale. Hierbei ist jedoch die Wirkung des Spiralklotzens entgegengesetzt, indem sie bestrebt ist, die Spirale aufzuwickeln; da aber die letztere durch ihre normale Bewegung sich ausdehnt, so haben wir wieder eine Gegenwirkung in der Richtung dieser Bewegung und infolge dessen dieselben Perioden der Verzögerung und Beschleunigung, wie in den oben geprüften Wechselwirkungen. Allein da die Vergrösserung des Spiraldurchmessers während der Ausdehnung weit beträchtlicher als seine Verringerung während der Zusammenziehung desselben ist, so sind auch die Wirkungen im Verhältniss grösser.

Fassen wir das Vorstehende nochmals kurz zusammen. Der Befestigungspunkt an der Spiralarolle befindet sich auf der entgegengesetzten Seite von dem Spiralklotzen.

Eine Spirale ohne Endkurven ergibt keine isochronen Gang. Vom 135. Grad der halben Schwingungsbreite ausgehend, erhalten wir eine Beschleunigung, welche je nach der Vergrösserung der Schwingungsbreite, stärker hervortritt und welche mit einer gewöhnlichen flachen Spirale, Kaliber 43 mm, 25 Sekunden pro Tag bei einer halben Schwingungsbreite von 300 Grad erreichen kann. Bei einer cylindrischen Spirale kann diese Beschleunigung bis auf ungefähr 70 Sekunden gehen.

Die verschiedenen Wandlungen der Beschleunigung und Verzögerung (des Vor- und Nachgehens), welche sich während der halben Schwingung zeigen, können durch Zeichnungen so klar dargestellt werden, wie dies durch keine Erklärung besser gesehen kann.

Ich stellte durch Zeichnung auch den Gang von drei anderen Stellungen der Befestigungspunkte dar. Bei Vergleichung derselben konnte man sofort sehen, dass man durch die Stellung der Befestigungspunkte II und IV den Isochronismus zwischen 150 und 270 Grad der Halb-Schwingung schon beinahe erreicht hat. Man kann aber noch ein besseres Resultat erzielen, indem man den Befestigungspunkt der Spiralarolle ein wenig nach der Seite der in später Fig. 3 angegebenen Lage abweichen lässt.

Nimmt man daher als Winkelentfernung der beiden Befestigungspunkte ein wenig mehr als 90 Grad oder etwas weniger als 270 Grad, so erhält man einen beinahe vollkommenen Isochronismus in den Grenzen der gewöhnlich angenommenen Schwingungsbreite. Dies bestätigt wieder eine alte von Leroy gegebene Regel und die von Caspari im 11. Heft seines Werkes (*Recherches sur les chronomètres*) niedergelegten Resultate.

Hier ist nun der Einfluss der Unbeweglichkeit der Befestigungspunkte wohl begründet, ebenso auch wie die Abweichungen, welche sich daraus für den Gang eines Chronometers ergeben. Dies nun ist, nach der im Anfang dieser Arbeit gemachten Einteilung, der erste Theil unserer Studie. Wir haben jetzt nur noch zu untersuchen, wie wir verfahren müssen, um alle Ursachen der Abweichung des Isochronismus aufzuheben.

Wie wir sogleich sehen werden, sind die der Spirale selbst anhaftenden Ursachen innig mit den Veränderungen verbunden, welche ein Theil der Spirallumgänge während der Dauer einer Schwingung in ihrer Lage erleidet. Man kann nun wohl, durch gewisse Stellungen der Befestigungspunkte, die Abweichungen unter sich aufheben und auf diese Weise den Isochronismus erreichen, aber Phillips hat mehr gethan: er hat versucht, indem er die Enden der Spirale mit den Befestigungspunkten durch eigengeformte Endkurven verbunden hat, die Veränderung der Spirale in ihrer Lage zu unterdrücken und infolge dessen die Ursache der Abweichung selbst.

Ich werde mich hier nicht mit der Theorie von Phillips beschäftigen, sondern mich damit begnügen, für die praktische Methode des Zeichnens der Endkurven auf die beiden Abhandlungen, welche der gelehrte Ingenieur über die regulierende Spirale veröffentlicht hat, hinzuweisen; allein das will ich noch bemerken, dass diese Kurven vollständig das Resultat ergeben, welches Phillips gesucht hat, das heisst: einen vollkommenen Isochronismus. Allein es muss doch noch bemerkt werden, dass Phillips sich nur damit beschäftigt hat, die der Spirale selbst

^{*)} Es handelt sich hier um die Weite der halben Schwingung, die ganze Schwingung beträgt 540 Grad oder $1\frac{1}{2}$ Umläufe.

anhaltenden Ursachen der Veränderung zu verbessern und nicht auch diejenigen, welche von anderen Organen des Mechanismus herühren. Wenn nun, wie es leider fast immer der Fall ist, noch andere Ursachen vorhanden sind, welche den Isochronismus beeinflussen, so werden diese durch die Kurven, welche Phillips als Isochron gegeben, nicht aufgehoben.

Die Hemmung kann, nach ihrer Form und Konstruktion, eine Verspätung oder Beschleunigung in den kleinen Schwingungen bewirken; die Vermehrung der Reibung infolge der Verdickung des Oeles verursacht eine Verspätung der kleinen Schwingungsbogen. Die Formveränderung der aufgeschnittenen Unruh infolge der centrifugalen Kraft, ergibt eine Verspätung der grossen Schwingungsbogen etc.

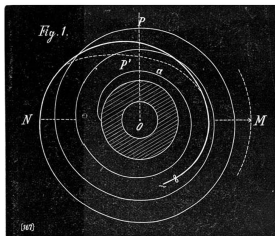
Einige dieser Einflüsse heben sich gegeneinander auf, aber es ist doch sehr selten, dass diese Ausgleichung ganz genau ist, da ein oder der andere Einfluss immer vorherrschend bleiben wird und man hat alsdann einen Chronometer, welcher zu einem guten Gange nicht eine isochrone Spirale im Sinne Phillips erfordert, sondern im Gegentheile eine an-isochrone, deren Abweichung vom Isochronismus sich mit denjenigen Abweichungen ausgleicht, welche von dem Mechanismus der Uhr selbst herühren.

Wir wollen nun sogleich einige Beispiele prüfen, welche diese Erklärung verständlicher machen werden. Nehmen wir zunächst an, dass wir eine Uhr mit flacher Spirale zu reguliren haben, deren äusserer Umgang mit einer Endkurve versehen ist.

Der Befestigungspunkt an der Rolle befindet sich ungefähr 230 Grad von den Stiften des Rückers entfernt, welche wir, wenn sie vollständig geschlossen sind, als den äusseren Befestigungspunkt ansehen wollen.

Da die Endkurve richtig geformt ist, so entwickelt sich die Spirale sehr konzentrisch und trotzdem findet sich, dass die Uhr in den kleinen Schwingungen eine Verspätung zeigt. Wir müssen daher versuchen, um diesen Fehler durch die Spirale verbessern zu können, dieselbe an-isochron zu machen, indem wir ihr in den kleinen Schwingungsbogen eine Beschleunigung geben. Wenn wir nun die Zeichnung auf Tafel I (des Lossier'schen Werkes) prüfen, so bemerken wir, dass die gebräuchliche Schwingungsweite einer Uhr dieser Gattung gegen 180 und 250 Grad (der halben Schwingungsweite) beträgt. Man wird also eine Beschleunigung der kleinen Bogen dadurch erhalten, dass man die Spirale so gestaltet, wie sie dargestellt. Die Zeichnung stellt eine flache Spirale ohne Endkurven dar, deren Befestigungspunkte sich auf einer Seite befinden, und welche sich infolge dessen beim Ausdehnen auf die gegenüberliegende Seite wirft und zwar vom Befestigungspunkte der Rolle nach dem des Klötzchens.

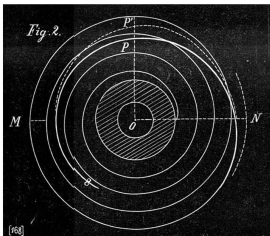
Um nun bei unserer zu regulirenden Spirale dasselbe Resultat zu erlangen, müssen wir dieselbe ebenfalls sich nach der dem Befestigungspunkte der Rolle gegenüber befindlichen Seite ausdehnen lassen, d. h. nach *M* (Fig. 1).



*) Man bezeichnet als rechtsseitige Spirale eine solche, deren Umgang, von der Rolle ausgehend, sich nach der rechten Seite entwickeln, das heisst in der Richtung, in welcher die Zeiger der Uhr sich bewegen. Die linksseitige Spirale dagegen entwickelt ihre Umgänge in entgegengesetzter Richtung. Die Fig. 1 stellt eine rechtsseitige und die Fig. 2 eine linksseitige Spirale dar.

Dies kann man leicht durch die äussere Kurve erlangen, indem man die hier folgende Regel, welche für eine rechtsseitige*) Spirale anwendbar ist, befolgt:

Man lege die Spirale in der Weise vor sich hin, dass der grössere Theil der Kurve sich oben befindet, wie es in Fig. 1 dargestellt ist; wenn die Entwicklung der Spirale auf der rechten Seite nach *M* stattfinden soll, verändert man die Kurve nach der Linie *PO*, indem man sie von dem Umfange nach dem Mittelpunkt (von *P* nach *O*) hinbiegt; will man dagegen eine excentrische Entwicklung nach der linken Seite (nach *N*) haben, so lässt man die Kurve von dem Punkte *P* ausgehen. Bei einer linksseitigen Spirale verfährt man in umgekehrter Weise.



Im gegenwärtigen Fall soll die Entwicklung der Spirale in der Richtung nach *M* stattfinden, man muss folglich die Endkurve so berichtigen, dass sie von *P* nach *P'* (punktirte Kurve) führt. Durch diese Berichtigung wird sich die Spirale so zeigen, wie sie in Fig. 1 dargestellt ist und wir geben dadurch den kleinen Schwingungsbogen zwischen 180 und 250 Grad der halben Schwingungsweite diejenige Beschleunigung, welche wir verlangt haben.

Nehmen wir als zweites Beispiel eine Uhr mit flacher Spirale, linksseitiger Entwicklung und äusserer Endkurve an (Fig. 2). Der Befestigungspunkt an der Spiralarolle befindet sich auf der rechten Seite, wenn die Uhr aufgehängt ist und der Blick auf das Werk fällt. Diese Lage ist die günstigste für das Reguliren in den vertikalen Lagen.

Da die äussere Kurve richtig ist, so haben wir eine Entwicklung der Spirale, welche vollkommen konzentrisch ist, dessen ungeachtet ergeben die kleinen Schwingungen eine Beschleunigung (Vorgehen) und wir sehen aus den Figuren (Tafel I des Werkes), dass, um eine Verspätung in den kleinen Schwingungsbogen zu erlangen, wir uns in Fig. 3 dargestellten Bedingungen nähern müssen, in welchen die Befestigungspunkte sich einander gegenüberstehen und die folglich eine Entwicklung der Spirale nach der Seite ergeben, auf welcher sich in der Ruhestellung der Befestigungspunkt der Spiralarolle befindet. Um ein gleiches Resultat auch mit der Endkurve zu erreichen, müssen wir dieselbe nach der oben angeführten Regel von *P* ausgehend nach *P'* führen. Vergleichen wir die beiden Fälle mit Fig. 1 und 2, so werden wir sogleich sehen, dass man daraus eine sehr einfach anwendbare Regel für flache, mit einer äusseren Endkurve versehene Spiralen ableiten kann.

Will man eine Veränderung des Ganges herbeiführen, so muss man die Kurve in der Richtung von 90 Grad des Befestigungspunktes der Spiralarolle nach dem Lauf der Spirale zählend, abändern. Um eine Beschleunigung in den kleinen Bogen hervorzubringen, nähert man die Kurve dem Mittelpunkt und im entgegengesetzten Falle, um eine Verspätung in den kleinen Schwingungsbogen zu erhalten, entfernt man dieselbe vom dem Mittelpunkt.

Für die mit Endkurven versehenen cylindrischen Spiralen gestaltet sich die Aufgabe etwas schwieriger. Da die beiden Befestigungspunkte mit Endkurven versehen sind, so können wir nicht mehr, wie in den vorhergehenden Fällen, die Richtung genau bestimmen, in welcher die Spirale sich entwickeln muss, um eine Aenderung des Isochronismus zu erlangen.

Wenn wir noch einmal die beiden, durch die Zeichnung I und III dargestellten Fälle prüfen, welche beide entgegengesetzte anisochrone Gänge ergeben, so bemerken wir alsbald (I. Fall), dass während die Spirale sich zusammenziehend einen halben Umgang macht (Fig. 3) und das Spiralkötzchen die Spirale nach seiner Seite herüberzieht, die Spirallrolle ihrerseits bei einer halben Drehung den inneren Theil der Spirale in umgekehrter Richtung zieht. Wir haben folglich eine Spirale, deren beide Enden sich in entgegengesetzter Richtung zusammenziehen; dasselbe findet auch während der Periode der Ausdehnung statt. Die Zeichnung I zeigt, dass diese Spirale in den kleinen Schwingungsbogen ein Vorgehen bewirkt.

Angenommen, wir haben eine cylindrische Spirale mit genau ausgeführten Endkurven, welche infolge dessen selbst vollkommen isochron ist; zeigt der Gang nun eine Verspätung in den kleinen Schwingungsbogen, so müssen wir uns an die in der Zeichnung I und in der Fig. 3 dargestellten Bedingungen halten und zunächst die innere Kurve in der Weise abändern, dass wir dem unteren Theil der Spirale eine exzentrische Entwicklung geben, sodann verändern wir die äussere Kurve so, dass der obere Theil der Spirale sich in entgegengesetzter Richtung bewegt.

Die Spirale wird sich nun in einer für das Auge unangenehmen Weise hin und her schaukelnd bewegen; jedoch ist es klar, dass die Grösse dieser Veränderung nur immer sehr klein sein darf. Ueberdies zeigt sich dieser Fall bei den Marine-Chronometern nur selten, welche eher den entgegengesetzten Fehler zeigen, von dem wir weiter unten sprechen werden.

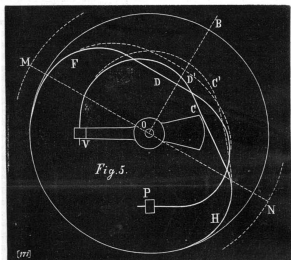
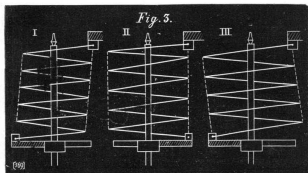
Die Zeichnung III bezieht sich auf die sich gegenüberstehenden Befestigungspunkte. Indem die Unruh einen halben Umgang macht, nähert sich die Spirale während ihres Zusammenziehens gleichzeitig oben und unten ihren Befestigungspunkten und entfernt sich von denselben in derselben Weise bei ihrer Entwicklung. Die Spirale schwingt daher parallel um

angedeutete Spiel der Spirale erhalten. Man befolgt bei dieser Aenderung die auf Seite 249 (in Nr. 17 d. Jahrg.) gegebene praktische Regel, deren Resultat unbedingt sicher ist. Dieser Anordnung ist es zu verdanken, dass die Spirale sich parallel um ihre Achse bewegt, wie man es bei den meisten Marine-Chronometern antrifft, weil sich daraus eine Beschleunigung der grossen Schwingungen ergibt, welche wenigstens theilweise die Verspätung ausgleicht, die durch die Centrifugalkraft der aufgeschrittenen Unruh bewirkt wird.

Nehmen wir als Beispiel ein Marine-Chronometer an, dessen Spirale mit Endkurven versehen ist, welche der Form, die Phillips in seiner Denkschrift über die regulierende Spirale Tafel I, Fig. 14 angibt, entspricht. Die Spirale entwickelt sich sehr gleichmässig und konzentrisch um sich selbst (Fig. 5), der Gang zeigt eine Verspätung in den grossen Schwingungsbogen.

Indem man nun die äussere Kurve genau nach der durch die Zeichnung angegebenen Richtung ausführt, das heisst, indem man die Kurve PDF durch die punktierte Kurve $P'D'F'$ ersetzt, bewirkt man eine aus der Mitte herausgehende Bewegung der Spirale nach der Seite M . Um die gleiche Bewegung für die nahe der Rolle befindlichen Theile der Spirale zu erhalten, betrachtet man den Punkt V als feststehend und berichtigt die Kurve in der Weise, dass eine unregelmässige Entwicklung der Spirale nach N stattfindet. Nach der auf Seite 249 gegebenen Regel muss man daher die Spirale VCH nach der Seite B durch die punktierte Kurve $VC'H$ ersetzen.

Wenn die Spirallrolle sich nun um 180 Grad gedreht haben wird, werden die unteren Spiralmgänge von der Mitte herausgehend sich bis M ausgedehnt haben; das heisst nach derselben Seite, nach welcher sich die oberen Spiralmgänge werfen. Auf diese Weise werden wir die Bedingungen erfüllt haben, welche

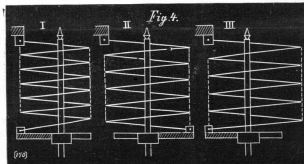


durch die Zeichnung III dargestellt sind und die mit einer Beschleunigung der grossen Schwingungsbogen im Einklange stehen.

Wie man sieht, sind in diesem Falle beide Kurven in derselben Richtung und auf demselben Halbmesser der Spirale gebogen. Wenn man nun diese Kurven, anstatt sie nach der Seite B hinauszuführen, dem Mittelpunkt O nähert, und zwar alle beide in derselben Grösse und derselben Richtung, so wird man dadurch eine Entwicklung der Spirale aus der Mitte herausgehend in entgegengesetzter Richtung bewirken; da aber diese Richtung für den oberen wie auch für den unteren Theil der Spirale immer dieselbe verbleibt, so wird auch die aus derselben entstehende Veränderung des Isochronismus sich gleich bleiben.

Werden die beiden Kurven hingegen in entgegengesetzter Richtung gebogen, so werden wir auch eine entgegengesetzte Wirkung, sowohl in der aus der Mitte herausgehenden Entwicklung der Spirale, als auch in der Aenderung des Isochronismus erhalten.

^{*)} Anmerkung. Auf den Abbildungen Fig. 3 und 4 bedeutet I die Zusammenziehung der Spiralfeder, II dieselbe in Ruhe, und III die Ausdehnung der Spiralfeder.



sich selbst. Diese Anordnung ergibt, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, eine Verspätung für die kleinen Schwingungsbogen. Wenn wir dies bei einer mit Endkurven versehenen Spirale berichtigen wollen, so müssen wir, wie im vorhergehenden Fall, zunächst die innere Kurve verändern, alsdann berichtigen wir die äussere Kurve in der Weise, dass wir das in Fig. 4^{*)}

Wir ziehen aus diesen Bemerkungen folgende praktische Regel:

Um bei einer cylindrischen Spirale eine Aenderung des Isochronismus herbeizuführen, muss man die beiden Endkurven in derselben Grösse (Quantität) und auf einem gleichen Halbmesser der Unruh umformen, und zwar beide Kurven in derselben Richtung, sobald man eine Verspätung in den kleinen Schwingungsbogen herbeiführen, und in entgegengesetzten Richtungen, wenn man ein Vorgehen in den kleinen Schwingungsbogen bewirken will.

Ferner ist noch zu bemerken, dass jede Aenderung des Isochronismus fast immer ein Vorgehen des Chronometers zur Folge hat.

Fassen wir alles kurz zusammen, so lässt sich aus dem Vorhergegangenen schliessen, dass keine Kurve, selbst keine Reihenfolge von Kurven vorhanden ist, die fähig wäre, den Isochronismus der Schwingungen für alle Fälle herzustellen.

Wenn die Schwingungsdauer ausser durch die Spirale durch nichts weiter beeinflusst wird, so lässt sich der Isochronismus ganz sicher dadurch erreichen, dass man die Spirale mit Endkurven, welche streng nach den von Phillips aufgestellten Prinzipien ausgeführt werden müssen, versieht, von denen bekanntlich viele verschiedene Formen vorhanden sind. Wenn dagegen der Isochronismus auch durch den Einfluss anderer Organe, als bloss der Spirale, verändert wird, so muss der Regleur diesen Einfluss dadurch aufzuheben suchen, dass er die Enden der Spirale mit besonderen Kurven versieht, welche zwar nicht den Angaben Phillips' entsprechend ausgeführt sind, hingegen aber einen anisochronen Gang ergeben, der demjenigen, welchen man zu verbessern trachtet, entgegengesetzt ist.

Eine Rejlage kann nicht als ernsthaft angesehen werden, falls sie nur den Isochronismus der Schwingungen zur Basis hat. Die vorliegenden Darstellungen haben den bestimmten Zweck, die Grundsätze festzustellen, von welchen der Regleur sich leiten lassen soll, um den Isochronismus für alle Fälle zu erlangen.

A. Lossier.