

Kurvenstudien und Verbesserungen an Chronometer-Spiralfedern

Von G. Gerstenberger

In meiner früheren Abhandlung über die Endkurven (Deutsche Uhrmacher-Zeitung, Jahrg. 1926, Nr. 18, 20, 22) hatte ich bereits auf den besonderen Wert der von Professor Strasser konstruierten verbesserten Endkurven mit ungebogener Spiralfederklinge hingewiesen. Die Anwendung dieser Kurven blieb jedoch merkwürdigerweise bis heute auf die Spiralfedern von Taschenuhren beschränkt, bei denen man ihren Vorteil mehr vermuten als praktisch einwandfrei nachweisen kann, da die Beruhigung einer neu-aufgesetzten, sorgfältig behandelten Spiralfeder bereits nach wenigen Tagen eintritt. Der sichere Beweis für die bedeutenden Vorzüge dieser Kurven läßt sich jedoch bei einer anderen Gattung von Präzisions-Uhren leicht erbringen und zwar bei den Marine-Chronometern, da bei diesen gänzlich andere Kraft- und Spannungsverhältnisse bei der Unruh und Spiralfeder in Frage kommen als bei der einfachen Taschenuhr. So ist z. B. bei einer Chronometer-unruh, die eine Schwingungsweite von $1\frac{1}{4}$ Umgang hat, auf einem Halbmesser von etwa 20 mm ein Gewicht von 8 bis 10 g nötig, um am Umkehrpunkte der Unruh dem Spannungswiderstand der Spiralfeder das Gleichgewicht zu halten. Die an die Spiralfeder gestellten Anforderungen sind also sehr groß und bedingen, daß jede Verbesserungsmöglichkeit berücksichtigt wird.

Um zu erwägen, ob bei der heutigen hohen Vollkommenheit der Chronometer Verbesserungsmöglichkeiten, die auf dem Gebiet der Spiralfeder liegen, überhaupt noch in Frage kommen, ist einleitend zunächst über das allgemeine Verhalten der Spiralfeder und der ihr etwa noch

anhaftenden Nachteile einiges zu bemerken. Neben der Einführung der Nickelstahl-Unruh und der damit verbundenen bedeutenden Verbesserung in der Temperatur-Regulierung brachte auch die Einführung der hartgewalzten Spiralfeder eine wesentliche Verbesserung und Erleichterung in der Regulierung gegenüber der bis dahin angewandten feuergehärteten Spiralfeder. Diese hatte insofern eine sehr unangenehme Eigenschaft, als das durch den Härteprozeß hervorgerufene Beruhigungsbestreben der Spiralfeder so bedeutend war, daß sich für die Regulierung ein Zeitraum von vielen Monaten, teilweise sogar von Jahren nötig machte, bevor das Chronometer einen konstanten Gang annahm. Außerdem machte sich mitunter ein nachträgliches Ersetzen der Spiralfeder notwendig, wenn der gewünschte Erfolg überhaupt nicht eintrat. Für diese fatale Eigenschaft der feuergehärteten Spiralfeder, welche sich in einem dauernd ansteigenden Vorgehen des Chronometers auswirkt, dürfte unter den verschiedenen mutmaßlichen Erklärungen die von Immisch gegebene am wahrscheinlichsten sein. Nach dieser ist bei der Feuerhärtung die gewaltsame Störung der Moleküle so groß, daß die Beruhigung der Spiralfeder durch das Anlassen noch nicht eintreten kann, sondern erst durch eine lange Schwingungszeit erreicht wird. Mit der Anwendung der heute allgemein eingeführten hartgewalzten Spiralfeder kam dieser Nachteil in Wegfall. Wenn man hier und da annimmt, daß der hartgewalzten Spiralfeder ein Fehler entgegengesetzter Natur anhafte, nämlich daß Chronometer mit solchen Spiralfedern in den ersten Gangmonaten ein

zunehmendes Nachgehen aufweisen, so beruht dies auf einer anderen Ursache, die in der bisher angewandten Form der Endkurven zu suchen ist.

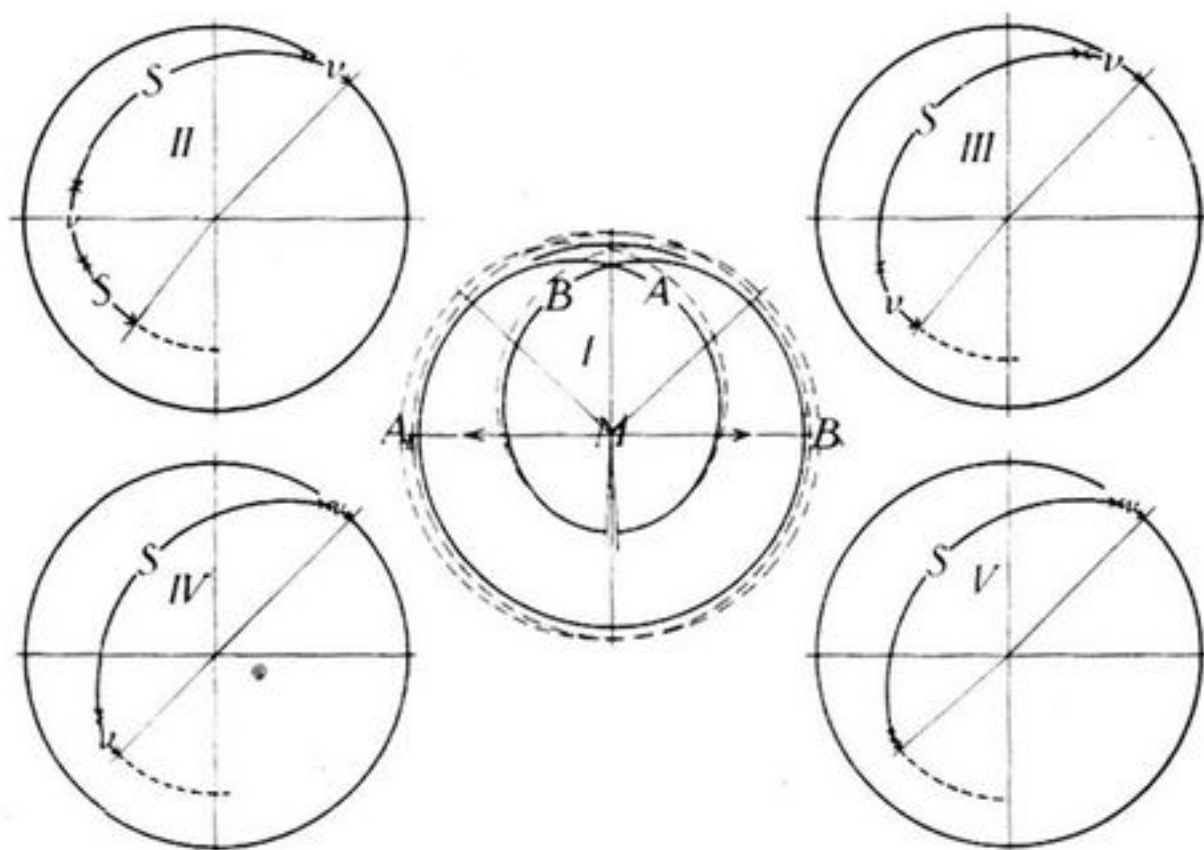
Während auf dem Gebiete der Unruh und Spiralfeder einesteils so bedeutende Verbesserungen geschaffen wurden, ist es zu verwundern, daß nicht auch die Fortschritte in der Kurventheorie praktische Verwertung fanden, da den allgemein angewandten Kurven entschieden noch Nachteile anhaften. Die bisher übliche Kurvenform ist derart, daß sich eine Verbiegung des ganzen als Kurve verwendeten Spiralstückes nötig macht. Die Spiralklinge wird also durch die beiden Kurven auf etwa einem Umgange ihrer Länge in der Struktur verändert, und dadurch wird auch ihre Elastizität und Widerstandsfähigkeit vermindert. Diese Störung in der Struktur der Spiralfederklinge bleibt bei den bedeutenden Kraft- und Spannungs-Verhältnissen nicht ohne Wirkung, da die hartgewalzte Spiralfeder trotz ihres vorhin erwähnten Vorzuges nicht die hohe Elastizität besitzt wie die gehärtete Spiralfeder. Als eine natürliche Folge tritt dann in den ersten Gangmonaten des Chronometers eine gewisse Unstetigkeit ein, da die in ihrer Form veränderte Spiralklinge das Bestreben hat, sich in die alte Lage zurückzugeben, so daß ein geringes Öffnen der Kurven entsteht, das sich im allgemeinen in einem Nachgehen äußert. Es ist also zu unterscheiden, daß im Gegensatz zur feuergehärteten Spiralfeder, bei der die volle Spiralfeder einer nachträglichen langandauernden Beruhigung bedurfte und die Wirkung auf das Gangergebnis darum eine beträchtliche war, hier nur mit einer Veränderung der Kurven zu rechnen ist und der Einfluß auf das Gangergebnis daher auch nicht mehr so bedeutend sein kann.

Ein weiterer wesentlicher Nachteil, der ebenfalls eine Folge der durch die übliche Kurvenform geschwächten Elastizität der Spiralfeder ist, besteht jedoch in der geringeren Widerstandsfähigkeit und der Empfindlichkeit dieser Kurven gegen äußere Einflüsse. Wenn es bei dem hauptsächlichsten Verwendungszweck des Chronometers, also in der Schifffahrt, tatsächlich vorkommt, daß bei hohem Seegange das Chronometer durch das Schlingern des Schiffes zum Stehen kommt, so besteht auch die Möglichkeit, daß unter diesem Einflusse oder bei anderem Gebrauche des Chronometers durch den Transport oder irgendwelche ungünstigen Bewegungen die Schwingungsweite stark zunimmt. Wächst sie auf über anderthalb bis eindreiviertel Umgang an, so besteht bei Anwendung der üblichen Kurven bereits eine Gefahr für die Regulierung, da die Kurven für diesen erhöhten Spannungsgrad nicht immer genügend widerstandsfähig sind; sie öffnen sich und verursachen eine Gangänderung, unter Umständen eine vollständige Zerstörung der Reglage. Da sich die erwähnten, den Fachkreisen auch bekannten Mängel als eine Folge der bisher bestehenden Kurvenformen klar nachweisen lassen, so muß die Möglichkeit einer Verbesserung zweifellos in der Konstruktion einer entsprechend widerstandsfähigeren Kurve gegeben sein und zwar dadurch, daß wir auch hier die Kurve mit ungebogener Spiralklinge anzuwenden suchen.

Nun liegen die Verhältnisse in der Chronometrie allerdings wesentlich anders und schwieriger als bei der Taschenuhr, da die idealste Kurvenform, also die theore-

tische Endkurve, nicht anwendbar ist. Den mit der Chronometrie vertrauten Kreisen dürfte bekannt sein, daß infolge der bedeutenden Zentrifugalkraft der schweren Massen-Unruh des Seechronometers wie auch wegen der im gleichen Sinne wirkenden Eigenschaft der Chronometerhemmung besondere Schwierigkeiten entstehen, den Isochronismus mit theoretischen Endkurven zu erzielen. Da wir gezwungen sind, einer natürlichen Beschleunigung in den kleineren Schwingungsbögen entgegenzuwirken, so benötigen wir entweder berichtigte Endkurven, die der Praxis angepaßt sind, oder wir müssen bei Gebrauch der theoretischen Endkurven eine Isochronismusfeder an die obere, äußere Kurve legen, welche durch entsprechende Anordnung die Beschleunigung in den kleinen Schwingungsweiten aufhebt bzw. vermindert. Von der allgemeinen Anwendung der Isochronismusfeder sieht man jedoch ab, da sie mit Reibung arbeitet, und man bevorzugt die berichtigten Endkurven, die uns also hier notgedrungenerweise wertvoller sind als die theoretischen Kurven.

In unserer Abbildung zeigt nun zunächst die Darstellung I die Kurvenform und Anlage, wie sie sich für die in der deutschen Chronometer-Industrie allgemein eingeführte Glashütter Nickelstahl-Unruh notwendig macht. In jahrelanger Erfahrung hat man diese für den Isochronismus geeignete Form, ebenso die rechte Lage der Kurven und Befestigungswinkel zueinander ermittelt, und man wendet sie nahezu unverändert an oder doch nur mit den geringen Abweichungen, die sich hauptsächlich durch kleine Verschiedenheiten in der Elastizität der Spiralfeder und damit zusammenhängend auch durch eine veränderte Kompensationswirkung der Unruh



oder auch aus der letzteren allein ergeben. Die Kurvenform selbst entspricht etwa jener der ursprünglichen (veralteten) 67er Kurve, welche in ihrer ganzen Länge auf einem vom Spiralhalbmesser abweichenden Halbmesser gebildet ist; damit eine einseitige Entwicklung der Spiralfeder erreicht wird, ist die Kurve kürzer gehalten, als es der theoretischen Form entspricht, und der Ansteckungspunkt weiter nach innen gelegt. — Der Isochronismusaussgleich muß nun nach dem gleichen Prinzip erfolgen, das uns aus der früheren Abhandlung über die flache bzw. die Breguet-Spiralfeder (Nrn. 18, 20 und 22, Jahrgang 1926 der Deutschen Uhrmacher-Zeitung) bereits bekannt ist; es tritt hier nur an Stelle des inneren Ansteckungspunktes die innere Kurve. Um also ein Nachgehen in den kleinen Schwingungsweiten zu erreichen, müssen nach der früheren Feststellung an der flachen Spiralfeder die Ansteckungspunkte und Entwicklungslinien entgegengesetzt liegen, in den vorliegenden Fällen also die Entwicklungslinien der beiden Kurven A und B (Darstellung I) in der Ruhelage der Unruh, also bei ungespannter Spiralfeder, entgegengesetzt liegen, wie dies aus den punktiert eingezeichneten Entwicklungskreisen ersichtlich und durch die beiden Pfeile besonders markiert ist. Da die Spiralfedern stets links gewunden sind, so ist A die innere Kurve mit den gestrichelt gezeichneten Entwicklungskreisen A_1 und der Entwicklungslinie MA_1 , B die äußere Kurve mit den strichpunktiert gezeichneten Entwicklungskreisen B_1 und der Entwicklungslinie MB_1 . Die Spiralfeder liegt in der Ruhelage; die Entwicklungskreise sind jedoch für eine Winkelspannung der

Unruh von 180°, also für eine Schwingungsweite von einem Umgang gezeichnet, so daß sich bei dieser Spannung der Entwicklungskreis A_1 und ebenso die Entwicklungslinie MA_1 genau mit den Entwicklungskreisen B_1 und der Entwicklungslinie MB_1 decken. Der Deutlichkeit halber mußte die Einzeichnung in der Ruhelage der Spiralfeder erfolgen, um die Übersichtlichkeit nicht weiter zu erschweren.

Der Umstand, daß die Entwicklung der Spiralfeder nicht wie bei den theoretischen Endkurven eine nach allen Seiten hin gleichmäßige und dadurch freie, sondern eine absichtlich verursachte einseitige und zwangsläufige ist, begünstigt ebenfalls durch eine stärkere Beanspruchung der Kurven deren erwähntes Öffnen, wenn die Kurve nicht die genügende Widerstandsfähigkeit besitzt.

Eine grundlegende Umgestaltung der Kurvenform setzt nun zunächst ein eingehendes Studium in der Entwicklungstheorie voraus, da ein planloses Versuchen wenig Erfolg verspricht. Wenn also auch unter den besonderen Verhältnissen in der Chronometrie die Anwendung der rein theoretischen Kurven nicht erfolgen kann, so ist doch die Kurventheorie selbst von größtem Wert, da durch die Berechnung der Entwicklungshalbmesser und Winkel die Entwicklungsrichtung und Exzentrizität jeder beliebig konstruierten Kurve genau zu bestimmen ist und so die sichere Grundlage für die praktische Arbeit gebildet wird. Auf diese Weise ist die Konstruktion und Berechnung der Kurven der Darstellungen II bis V erfolgt. Der Unterschied zwischen diesen und den Kurven I fällt nun ohne weiteres ins Auge; die Kurvenform I wird durch ein allmähliches Hereinbiegen der Klinge gebildet, so daß die Kurve in ihrer ganzen Länge von der ursprünglichen Spiralfeder abweicht. Diese Kurve hatte für die gehärtete Spiralfeder ihre Berechtigung, da sich bei dieser eine starke Verbiegung der Klinge wegen der größeren Härte und Widerstandsfähigkeit dieser Spiralfeder nicht empfahl. Bei der jetzt gebräuchlichen Spiralfeder sind wesentlich andere Gesichtspunkte maßgebend. Da diese Spiralfeder, wie bereits erwähnt, nicht die hohe Elastizität und Widerstandsfähigkeit der gehärteten Spiralfeder besitzt, so ist es um so notwendiger, die Elastizität bei der Kurvenbildung in weitestem Maße zu schonen. Es geschieht dies zweckmäßig durch eine Kurve, die in ihrem Hauptteil aus der unveränderten Spiralklinge gebildet wird und nur einen oder zwei kurze, stark gekrümmte Übergangsbogen erhält. Berücksichtigt man nun, daß die Starrheit und Widerstandsfähigkeit eines Kurvenbogens mit der stärkeren Krümmung zunimmt, so folgt daraus, daß die Kurve praktisch um so günstiger wird je kleiner der Halbmesser der Übergangsbogen ist. Demnach sind unter den abgebildeten Kurven die der Form IV und V, bei denen die Verbindungsbogen v den kleinsten Halbmesser haben und ebenso den kleinsten Teil der Kurve selbst bilden, widerstandsfähiger als die Kurven II und III. Der Kurventeil S ist unveränderte Spiralklinge. Das gestrichelt angesetzte Bogenstück dient nur zur Feststeckung. Bei dieser Art der Kurvenbildung wird also die gewünschte Entwicklung der Spiralfeder nicht mehr durch eine Verbiegung, sondern nur durch eine Verlegung des Spirales erreicht. Da, wie in den Darstellungen IV und V, nahezu die volle Kurve aus der unveränderten Spiralklinge besteht, also auf diesem Teil die Elastizität vollkommen erhalten ist, so kann eine nachträgliche Veränderung in diesem Kurventeil ebensowenig stattfinden wie in der Spiralfeder selbst, im Gegensatz zur Kurve I, bei welcher die Elastizität durch die Biegung auf der ganzen Kurvenlänge vermindert ist.

Es bleibt weiter nur noch der Einfluß der Übergangsbogen zu untersuchen, für welche sowohl durch die Überlegung, als auch einwandfrei durch Berechnung und praktische Erfahrung festzustellen ist, daß diese kurzen und stark gekrümmten Bogen infolge ihrer besonderen Wider-

standsfähigkeit an der Entwicklungsarbeit nur einen verschwindend geringen Anteil nehmen, der durch den übrigen Teil der Kurve fast vollständig aufgehoben wird.

Hinsichtlich der praktischen Herstellung dieser Kurven ergeben sich nun ebenfalls wesentliche Vorteile, da sich die ganze Kurvenbildung auf ein oder zwei Druckstellen beschränkt, die mit Hilfe der stark erwärmten und in ihrer Form den Halbmessern der Krümmungsbogen angepaßten Kurvenzange ausgeführt werden. Man hat bei der Ausführung dieser Arbeit ohne weiteres das sichere Gefühl einer größeren Vollkommenheit, da die Kurvenherstellung gegenüber den vielen Biegungen, die sich bei der veralteten Kurvenform I nötig machen, schonender und einfacher als nach den Formen IV oder V wohl nicht erfolgen kann. Außerdem erübrigt es sich, ein späteres Öffnen der Kurven insofern zu berücksichtigen, daß man sie bei der neuen Spiralfeder weiter nach innen zieht, als es für das gute Spiel und die Lage der Spiralfeder erforderlich ist.

Auf die Möglichkeiten, die im Isochronismus liegen, kann im Rahmen dieser Abhandlung nicht näher eingegangen werden. Ich beschränke mich hier auf den Hinweis, daß nicht nur die Grenzen des Isochronismusfehlers, die von der Kurvenform abhängig sind, sondern ebenso der Verlauf der Isochronismuskurve in den verschiedenen Schwingungsweiten, welcher durch die ganze Kurvenanlage, also die Winkelstellung der Kurven und der Befestigungspunkte bedingt ist, eine sehr wesentliche Rolle spielen. Sowohl für die Regelmäßigkeit des Ganges, als ganz besonders auch für die extremen Temperaturen sind die Isochronismusverhältnisse von großem Einfluß; sie stehen mit dem Temperaturgange in sehr enger Verbindung; da in der Wärme infolge der Elastizitätsabnahme der Spiralfeder und einer Ölverdünnung die Schwingungsweite zu- und durch die in der Kälte eintretenden entgegengesetzten Eigenschaften der Materialien abnimmt, so muß sich auch der Verlauf der Isochronismuskurve in den extremen Temperaturen entsprechend geltend machen. Es besteht also hier noch die Möglichkeit, den bei der heutigen Nickelstahl-Unruh an und für sich äußerst geringen sekundären Temperaturfehler durch bestimmte Isochronismusverhältnisse zu beeinflussen. Aus diesen letzteren erklärt sich auch die erwiesene Tatsache, daß Versuche, die mit einer gleichen Serie Unruhen oder Spiralfedern von verschiedenen Fachleuten ausgeführt werden, sehr verschiedene Ergebnisse haben und zu verschiedenen Beurteilungen führen. Wir haben hierdurch den Beweis, daß diese voneinander abweichenden Feststellungen ihre Ursache nur in einer geringen Verschiedenheit der Kurvenanlage und einer Unterschiedlichkeit im Isochronismus haben können, die im allgemeinen Gangresultate, besonders aber im Temperaturgange zum Ausdruck kommt, wenn den veränderten Verhältnissen nicht genügend Rechnung getragen wird.

Bei der Wichtigkeit, die den Kurven für die Regulierung zukommt, ist es selbstverständlich, daß sämtliche Kurvenarbeiten nur unter Benutzung sorgfältig gearbeiteter Vorlagen erfolgen; diese sind für die neuen Kurvenformen unter Berücksichtigung der verschiedenen Verhältnisse umgearbeitet. Durch diese sicheren Unterlagen wird jede unnötige Biegung vermieden, welche die Spiralfeder schädigen und den Erfolg der Regulierung beeinträchtigen könnte. Eine nachträgliche Änderung der Kurvenform, wie sie bei der Taschenuhr-Spiralfeder möglich ist, kommt für die Chronometer-Spiralfeder nicht in Frage, da diese dann für höhere Gangleistungen nicht mehr genügen würde. Es ist um so mehr eine unbedingte Notwendigkeit, daß gerade diese Arbeiten planmäßig erfolgen.

Sollte nun allein schon der oben erwähnte, bedeutende Vorteil, der in der großen Schonung der Spiralklinge bei der Kurvenherstellung liegt, überzeugend für den Wert der neuen

Kurvenform sprechen, so steht der weiter zu folgernde Vorteil, daß diese Kurvenform wesentlich zur schnelleren Ausregulierung der Chronometer beitragen muß, ebenfalls außer jedem Zweifel. Wie sich nach den vorhergehenden, auf den Isochronismus sich beziehenden Ausführungen ergibt, muß jede von einer Veränderung der Kurven verursachte allgemeine Differenz, da sie durch eine kleine Isochronismusänderung bedingt ist, ebenso einen veränderten Temperaturgang zur Folge haben, wie er sich auch durch ein Öffnen der Kurven bei der bisherigen Kurvenform in den ersten Gangmonaten eines Chronometers zeigt. Infolge des erwähnten Nachlassens der Elastizität der Spiralfeder in der Wärme treten auch die Gangänderungen in der ersten Zeit besonders in und nach den Wärmeperioden auf, da die gebogene Kurve infolge der Erschlaffung einer Veränderung leichter unterliegt. Diese in den Kurven selbst liegenden Nachteile sind bei Anwendung der verbesserten Kurvenform auf das geringste Maß gebracht, so daß sich die Regulierung der Chronometer bei mindestens gleichwertigen Gangergebnissen in kürzerer Zeit ermöglichen läßt; zum Teil sind die Gangleistungen, wie durch amtliche Prüfungsergebnisse nachweisbar ist, prozentual höhere, da eben die Unveränderlichkeit der neuen Kurven für die Stetigkeit des Ganges in und nach den Temperatur-Perioden von günstigem Einfluß ist.

Zwecks genauer Feststellung der Widerstandsfähigkeit der verschiedenen Kurvenarten wurde nun eine Erhöhung der Schwingungsweiten vorgenommen. Hierbei ergab sich, daß bei Anwendung der Kurve I bei einer Schwingungsweite von $1\frac{3}{4}$ Umgang bereits Gangveränderungen eintreten und eine Erhöhung der Schwingungsweite auf zwei Umgänge bedeutende Gangstörungen und eine sichtbare Veränderung, also ein Öffnen der Kurven, verursachte, das eine vollständige Störung der Reglage zur Folge haben muß. Ist nun weiter

das Verhalten der Kurven II und III ein wesentlich günstigeres, da ihre Empfindlichkeit und ihre Veränderung bei erhöhter Schwingungsweite nur noch gering sind, so ergibt sich für die Kurven der Formen IV und V das überraschende Resultat, daß die Schwingungsweite auf zwei Umgänge erhöht werden kann, ohne daß sich eine Gangänderung zeigt, die Kurven demnach überhaupt keine Veränderungen erleiden. Mit dieser Tatsache ist einwandfrei der Beweis erbracht, daß die Widerstandsfähigkeit der Spiralfeder bei dieser Kurvenbildung vollkommen erhalten bleibt, da der einzig durch die Biegung in den Krümmungsbogen eingetretene Elastizitätsverlust durch die erhöhte Widerstandsfähigkeit dieser Bogen selbst unbedingt ausgeglichen wird und des weiteren diese Bogen durch den unveränderten Hauptteil der Kurve vollkommen entlastet werden.

Der letzte Beweis bestätigt zugleich die vorhergehenden Ausführungen und läßt den allgemeinen Vorteil der von Professor L. Strasser konstruierten und berechneten theoretischen Endkurven mit ungebogener Klinge klar erkennen; ihr besonderer Wert zeigt sich jedoch erst, wenn hohe Anforderungen an die Widerstandsfähigkeit der Spiralfeder gestellt werden. Die Umgestaltung der Kurven für die besonderen Verhältnisse in der Chronometrie, wie sie von mir mit der Ausarbeitung und Anwendung der verbesserten Endkurven mit ungebogener Klinge erfolgte, war eigentlich eine selbstverständliche und notwendige Folge. Es darf wohl erwähnt werden, daß die Versuchsarbeiten selbst umfangreicher waren, als es die vorliegende Abhandlung erkennen läßt, und daß hierin möglicherweise ein Grund dafür liegt, weshalb diese wichtige Umgestaltung der Kurven bisher unterblieb; außerdem war ein Erfolg hier nur durch die zweckmäßige und notwendige Verbindung von Theorie und Praxis zu erreichen.

