

greifen mehrerer Windungen einer größeren Spiralfeder die für die Unruh richtige Schwingungszahl ermittelt. Der geübte Arbeiter erkennt hierbei oft an der Trichterbildung der an die Spiralfeder gehängten Unruh schon die zugehörige und zu verwendende Feder.

#### Das CGS-System:

Es ist verständlich, daß Bestrebungen, eine einheitliche Kennzeichnung der Spiralfedern zu schaffen, angeregt und auch durchgeführt wurden. So finden wir in dem Lehrbuch von M. André Donat eine Umstellung der Numerierung auf CGS-Einheiten, eine Kennzeichnung, die bewußt und mit Erfolg von der Spiralfederfabrik C. Haas, Schramberg, für die praktische Werkstattarbeit sowohl wie für die Bestimmung neuer Spiralfedergrößen durchgeführt ist. Die Charakteristik der Nummernfolge gestattet, da diese Größen in abhängiger Beziehung stehen, ausgehend von dem Spiralfederdurchmesser:

1. die Bestimmung der erforderlichen CGS-Nummer einer Spiralfeder,
2. die Bestimmung des Elastizitätsmomentes, und
3. mit Hilfe eines Koeffizienten (der bei der Normalunruhschwingungszahl  $18\,000/h = 0,004\,05$  ist) aus dem Elastizitätsmoment die Berechnung des Trägheitsmomentes der Unruh.

Das CGS-System dient der Bestimmung mechanischer Größen und benutzt als Grundmaße: Länge, Masse und Zeit, und als Maßeinheiten: Zentimeter, Gramm und Sekunde. Die auf diese Charakteristik zurückgeführte Numerierung kennzeichnet die Spiralfedern (im Gegensatz zu den willkürlichen Nummernsystemen und gleichgültig, ob am Werkstück nun eine Nachmessung erfolgen kann) als meßbare und absolute Größe.

Aufgebaut ist die neue Numerierung auf folgender Überlegung: Das Elastizitätsmoment einer Spiralfeder wird um so größer, wenn die Spiralfeder selbst gekürzt, der Durchmesser also verkleinert wird. Wenn nun der Durchmesser  $D$  mit 1 und der innere Spiralfederumfang (der Durchmesser der Rolle)  $d$  im Zentrum, also gleich 0 angenommen wird, so ist nach Formel

$$K = C (D^2 - d^2),$$

die die einfache Beziehung von CGS-Nummer  $K$ , dem Elastizitätsmoment  $C$  und dem Spiralfederdurchmesser ausdrückt, die Charakteristik  $K$  der Spiralfeder gleich dem zugehörigen Elastizitätsmoment. Interessant ist weiter die Gegenüberstellung obiger nach  $C$  aufgelöster Gleichung mit der bereits eingangs aufgezeigten Formel für die Bestimmung des Elastizitätsmomentes:

$$C = \frac{K}{D^2 - d^2} \text{ und } C = \frac{E \cdot b \cdot s^3}{12 \cdot L}$$

Es ist somit möglich, das von der Spiralfeder entwickelte Elastizitätsmoment sowohl aus der CGS-Nummer und dem zugehörigen Durchmesser als auch aus den Abmessungen der Spiralfeder selbst und dem zugehörigen Elastizitätsmodul zu ermitteln. Da nun zwei Größen, wenn sie einer dritten Größe gleichen, auch untereinander gleich sind, so ist

$$\frac{K}{D^2 - d^2} = \frac{E \cdot b \cdot s^3}{12 \cdot L}$$

oder nach der Charakteristik  $K$  aufgelöst:

$$K = (D^2 - d^2) \frac{E \cdot b \cdot s^3}{12 \cdot L}$$

Eine Formel, die für die Bestimmung der Spiralfeder-Nummernfolge nur bekannte und meßbare Faktoren aufweist.

#### Für die praktische Arbeit am Werkstück

sowie die konstruktive Durchbildung des Reglers interessiert diese gesetzmäßige Abhängigkeit der Faktoren durch die Wechselbeziehung der Spiralfedernummern (Charakteristiken) und Durchmesser zu- und untereinander, die (und das ist das wesentliche Moment) ohne große Lagerhaltung und durchzuführende Reihenversuche durch einfache Gegenüberstellung (und die nachfolgend aufgezeigte „mechanisierte“ Rechnung) die objektive Bestimmung der zu einer Unruh gehörenden Spiralfeder gestattet. Es wurde bereits aufgezeigt, daß Schwingungsdauer, Auslenkungswinkel und Elastizitätsmoment in enger Beziehung zueinander stehen, und daß, wenn der Isochronismus der Spiralfeder erreicht werden soll, die absolute Proportionalität dieser Faktoren gewährleistet sein muß. Die richtig bemessene Spiralfeder ist eine der Voraussetzungen dieser Forderung.

Die Wechselbeziehung von Spiralfederdurchmesser und Charakteristik wird durch die Verhältnisgleichung

$$K : K_1 = D^2 : D_1^2$$

ausgedrückt. Es verhalten sich die Charakteristiken zweier Spiralfedern wie die Quadrate der zugehörigen Durchmesser. Die Auflösung dieser Gleichung nach  $K$  (der gesuchten Spirale)

$$K = K_1 \left( \frac{D}{D_1} \right)^2$$

kennzeichnet den für die Bestimmung der Spiralfeder erforderlichen Arbeitsgang.  $K_1$  ist die CGS-Nummer einer vorhandenen Feder, die als Versuchsspirale (gleichgültig, ob sie in der Größe zu der Unruh gehören kann) zunächst auf die Unruh gepaßt und abgewogen wird. Eine Arbeit, die sehr einfach und mit großer Genauigkeit in der Zeitwaage zu bewerkstelligen ist. Der Durchmesser dieser abgewogenen Spiralfeder sowie die bekannte CGS-Nummer kennzeichnen die Charakteristik der gesuchten Spirale.

#### Ein Beispiel:

Zunächst noch folgender Hinweis: Es wird für durchzuführende Spiralfederrechnungen in der Uhrmacherei allgemein der Halbmesser als veränderliche Größe eingesetzt, weil dieser ohne Rechnung gemessen und für erforderliche Arbeitsvorgänge (Bestimmung der Endkurve) bereits festgelegt ist. Diese Rechnung wird entsprechend berücksichtigt. Da

$$D : D_1 = R : R_1$$

ist, die Durchmesser sich also wie die zugehörigen Halbmesser verhalten, so ist auch

$$K : K_1 = R^2 : R_1^2$$

und

$$K = K_1 \left( \frac{R}{R_1} \right)^2$$

Der Halbmesser  $R$  der gesuchten Spirale wird durch die Unruhgröße bestimmt. Er wurde für vorliegendes Beispiel mit 4,75 mm festgelegt. Als Versuchsspirale wurde die vorhandene, in der Größe nahezu richtige Spiralfeder CGS 50 eingesetzt und der abgewogene Halbmesser mit 4,4 mm ermittelt. Diese in obige Gleichung eingesetzten Werte geben die gesuchte Charakteristik:

$$K = 50 \cdot \left( \frac{4,75}{4,4} \right)^2$$

$$K = \frac{50 \cdot 22,5625}{19,36} = 58,25$$

Die CGS-Kennzeichnung der Spiralfedern ist in einer Tabelle zusammengestellt, die von 0,025 bis 236 unterteilt ist und in der jeweils von 0,025 bis 0,236, 0,25 bis 2,36, 2,5 bis 23,6 und 25 bis 236 vier Charakteristiken aufgezeigt sind. Die Reihe 2,5 bis 23,6:

|      |      |      |      |
|------|------|------|------|
| 2,5  | 4,5  | 8    | 14   |
| 2,65 | 4,75 | 8,5  | 15   |
| 2,8  | 5    | 9    | 16   |
| 3    | 5,3  | 9,5  | 17   |
| 3,2  | 5,6  | 10   | 18   |
| 3,4  | 6    | 10,6 | 19   |
| 3,6  | 6,4  | 11,2 | 20   |
| 3,8  | 6,8  | 11,8 | 21,2 |
| 4    | 7,2  | 12,5 | 22,4 |
| 4,25 | 7,6  | 13,2 | 23,6 |

Die Werte der anderen Reihen entsprechen den aufgezeigten Werten. Sie unterscheiden sich lediglich durch das mit den Faktoren 10, 0,1 und 0,01 gebildete Vielfache.

#### Die Anwendung einer Fluchtlinientafel

entspricht im wesentlichen der Rechnung mit dem Rechenschieber. Sie gestattet durch die einfache Gegenüberstellung logarithmischer Strecken die Ablesung einer gesuchten Größe.

In die  $R$ -,  $R_1$ - und  $K_1$ -Leiter (Abb. 1) werden die gemessenen bzw. bekannten Werte (vorstehendes Beispiel) eingetragen.  $R$  und  $R_1$  (der Halbmesser der gesuchten Spirale = 4,75 und der Versuchsspirale = 4,4) werden verbunden. Über den Schnittpunkt dieser Verbindungslinie mit der Mittellinie hinaus erfolgt von der Eintragung der  $K_1$ -Leiter (CGS-Nummer der bekannten Spirale = 50) die Verbindung zur  $K$ -Leiter. Der Schnittpunkt entspricht dem gesuchten  $K$ -Wert. Ablesung Charakteristik der gesuchten Spirale  $K = 58,25$ .

Die in die  $K$ - und  $K_1$ -Skalen eingetragenen Werte entsprechen den aufgezeigten Reihe 2,5 bis 23,6. Durch einfache Multiplikationen (im vorliegendem Beispiel mit 10) wird die jeweilige Stellenzahl der Charakteristik bestimmt. Eine Fehlermessung ist durch die Größenänderung der Spiralfedern von Reihe zu Reihe ausgeschlossen.

Die dem ermittelten  $K$ -Wert 58,25 entsprechende CGS-Nummer wäre 56 oder 60. Für vorliegende Uhr wurde die Nr. 60 gewählt.

Soweit diese Richtlinien als Einführung in die Eigenart der CGS-Kennzeichnung für regulierende Spiralfedern. Ein weiteres wesentliches Moment und eine weitere Voraussetzung für die durch die Spiralfeder zu bewirkende Schwingungsdauer und Proportionalität ist ihre nach allen Seiten vollkommen freie und gleichmäßige Entwicklung, die (als Zielsetzung einer höheren Gangleistung) durch folgerichtige Anwendung der Endkurve zu erreichen ist. Es werden nachfolgend die für die Bestimmung der Spiralfeder-Endkurven maßgebenden Faktoren und Größen herausgestellt, wobei zunächst die sich aus der gegenseitigen Lage der Ansteckungspunkte ergebende Beziehung zwischen innerem und äußerem Teil der Spiralfeder unberücksichtigt bleibt. Diese Gegenüberstellung interessiert bei Neuarbeiten durch den (ausgehend vom inneren Ansteckungspunkt) für die Bestimmung des Kurvenanlaufes erforderlichen und entsprechend der Hemmungsanordnung anzutragenden Winkelwert sowie durch das für das genaue Abwiegen der Spiralfeder unter Umständen erforderliche Nachsetzen der inneren Befestigung. Es erfolgt weiter die Aufstellung einer Fluchtlinientafel, die wiederum die Bestimmung einer gesuchten Größe (der Kurvennummer) ohne Formelrechnung gestattet, sowie die Aufstellung der für die Entwicklung der gebräuchlichen Endkurven erforderlichen Punktkoordinaten und Winkelwerte.

#### Die Endkurve in der Praxis

Es ist nun zunächst interessant, zu beobachten, wie und nach welchen Grundsätzen ein an sich guter Arbeiter bei der Durchführung einer erforderlichen Nach- und Neuarbeit der Endkurve vorgeht (denn daß diese Grundsätze verschieden sind, erklären die durchgeführten Berechtigungen). Da ist zu beachten, daß die Spiralfeder im Mittel