

Uhrspiralfedern

Nur für den privaten Gebrauch! Ausdruck nicht möglich!

Mit freundlicher Genehmigung durch Hr. Himmelsbach, Fa. Carl Haas,
Schramberg 1998, Digitalisierung: © M. Stern, Berlin

- Eine Uhrspiralfeder ist immer Bestandteil eines Schwingungssystems in einer Uhr.
- Ein Schwingungssystem besteht aus einer Uhrspiralfeder und einer Unruhe.
- Das Schwingungssystem muß Schwingungen von einer bestimmten Dauer ausführen, damit die Uhr die Zeit richtig anzeigt.
- Für hochwertige Uhren wird für den Werkstoff der Spiralfeder die Legierung Nivarox verwendet.

Diese hat die Eigenschaften

- temperaturkompensierend
 - hochelastisch
 - ermüdungsfrei
 - nichtrostend
 - geringe Dämpfung
 - anpassungsfähiger Isochronismus
 - geringe Magnetempfindlichkeit.
- Für wenig anspruchsvolle Gebrauchsuhren genügt die Verwendung von CuSn8.

Nur für den privaten Gebrauch Ausdruck nicht möglich!

- Die Schwingungsdauer eines Schwingungssystems errechnet sich aus der Formel

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{M}} \quad (1)$$

T = Schwingungsdauer einer vollen Schwingung [s]

J = Trägheitsmoment der Unruhe [g cm²]

M = Drehmoment der Spiralfeder [$\frac{\text{dyn cm}}{\text{rad}}$]

T = Schwingungsdauer

Diese Schwingungsdauer ist immer vorgegeben.

J = Trägheitsmoment der Unruhe

Der Wert des Trägheitsmoments der Unruhe ist nie bekannt in g cm². Versuche, diesen Wert auf Grund der an sich bekannten Geometrie der Unruhe zu berechnen, sind mühsam und zu ungenau. Diesen errechneten Wert in die Formel (1) einzusetzen, um mit dem bekannten T dann M zu errechnen, wird zu ungenau.

M = Drehmoment der Spiralfeder

Folgende praktische Vorgehensweise führt zur Bestimmung von M.

Bei der Musterfertigung der Feder muß die Unruhe vorhanden sein. Sie wird mit einer vorhandenen Spirale zu einem Schwingungssystem gepaart. Dieses Schwingungssystem wird auf dem Abzählgerät mit der Soll-Schwingungsdauer abgezählt.

Am Abzählpunkt muß nach Formel (1) das Soll-Drehmoment der Spiralfeder sein. Die Messung des Drehmoments erfolgt dann am Abzählpunkt mit dem bekannten Drehmomentmeßgerät in mpcm/90°.

Für die Formel ist die Angabe in $\frac{\text{dyn cm}}{\text{rad}}$ notwendig.

Die Umrechnung ist: $1 \text{ mpcm}/90^\circ = 0.624 \frac{\text{dyn cm}}{\text{rad}}$

Somit ist die Ausrechnung der Feder möglich nach der Formel

$$M = \frac{E \cdot b \cdot s^3 \cdot t}{3\pi (D^2 - d^2)} \quad (2)$$

M = Drehmoment der Spiralfeder	$\left[\frac{\text{dyn cm}}{\text{rad}} \right]$
E = Elastizitätsmodul	$\left[\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}^2} \right]$
b = Bandbreite	[cm]
s = Banddicke	[cm]
t = Windungsabstand	[cm]
D = Außendurchmesser der Spiralfeder am Abz. Punkt	[cm]
d = Innendurchmesser der Spiralfeder	[cm]
Ersetzt man in Formel (2) t mit p · s	
t = Windungsabstand	[cm]
p = Anzahl der gewickelten Bänder	
s = Banddicke	[cm]

so ist nach Umstellung der Formel (2) die Bandbreite errechenbar:

$$b = \frac{M \cdot 3 \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2)}{E \cdot s^4 \cdot p} \quad (3)$$

CGS-Nummer

Uhrfedern werden mit der CGS-Nummer gekennzeichnet. Für die Berechnung der Formeln (1) (2) (3) wird das gebräuchliche Maßsystem, das physikalische CGS-System benutzt. Es enthält die mechanischen Maßeinheiten (Größenarten):

- Centimeter
- Gramm
- Sekunde

Unter der CGS-Numerierung der Spiralfeder versteht man also die Kennzeichnung des Drehmoments von Spiralfedern nach Maßeinheiten des CGS-Systems, bezogen auf einen bestimmten Durchmesser.

Die Formel zur Berechnung der CGS-Nummer ist

$$K = M \cdot (D^2 - d^2) \quad (4)$$

K = CGS-Nummer

M = Drehmoment der Spiralfeder

$$\left[\frac{\text{dyn cm}}{\text{rad}} \right]$$

D = Außendurchmesser der Spiralfeder am Abz.Punkt

$$[\text{cm}]$$

d = Innendurchmesser der Spiralfeder

$$[\text{cm}].$$

Die CGS-Nummern sind genormt. Auf beiliegender Tabelle sind sie ersichtlich. Bei der Berechnung der CGS-Nummer ist das Rechenergebnis nie genau gleich wie eine CGS-Nummer der Tabelle. Es ist deshalb, bezogen auf den Rechenwert, die nächstliegende Nummer zu wählen.

Uhrspiralfedern
Übersicht über die standardisierten K-Werte
(CGS-Nummern)



0.100	1.00	10.0	100	1000
0.106	1.06	10.6	106	1060
0.112	1.12	11.2	112	1120
0.118	1.18	11.8	118	1180
0.125	1.25	12.5	125	1250
0.132	1.32	13.2	132	1320
0.140	1.40	14.0	140	1400
0.150	1.50	15.0	150	1500
0.160	1.60	16.0	160	1600
0.170	1.70	17.0	170	1700
0.180	1.80	18.0	180	1800
0.190	1.90	19.0	190	1900
0.200	2.00	20.0	200	2000
0.212	2.12	21.2	212	2120
0.224	2.24	22.4	224	2240
0.236	2.36	23.6	236	2360
0.250	2.50	25.0	250	2500
0.265	2.65	26.5	265	2650
0.280	2.80	28.0	280	2800
0.300	3.00	30.0	300	3000
0.315	3.15	31.5	315	3150
0.335	3.35	33.5	335	3350
0.355	3.55	35.5	355	3550
0.375	3.75	37.5	375	3750
0.400	4.00	40.0	400	4000
0.425	4.25	42.5	425	4250
0.450	4.50	45.0	450	4500
0.475	4.75	47.5	475	4750
0.500	5.00	50.0	500	5000
0.530	5.30	53.0	530	5300
0.560	5.60	56.0	560	5600
0.600	6.00	60.0	600	6000
0.630	6.30	63.0	630	6300
0.670	6.70	67.0	670	6700
0.710	7.10	71.0	710	7100
0.750	7.50	75.0	750	7500
0.800	8.00	80.0	800	8000
0.850	8.50	85.0	850	8500
0.900	9.00	90.0	900	9000
0.950	95.0	95.0	950	9500

Bei der Bestellung von Spiralfedern für Uhren sind folgende Angaben erforderlich:

1. Außendurchmesser am Abzählpunkt
2. Windungszahl am Abzählpunkt
3. Federbreite
4. Zus. Windungszahl am Abzählpunkt
5. Rollenbohrung
6. Rollendurchmesser
7. Rollenhöhe
8. Rollenwerkstoff
9. Befestigungsart
10. Werkstoff
11. Therm. Koeffizient
12. Zurverfügungstellen von ca. 10 ausgewuchteten Unruhen
13. Schwingungsdauer bzw. Frequenz des Schwingungssystems
14. Oberfläche
15. Maße der Anbiegung (nur für Kurzzeitmesser)
16. Befestigung links- oder rechtslaufend.

Nur für den privaten Gebrauch - Ausdruck nicht möglich!

Die Befestigung der Federn für Uhren erfolgt am inneren Ende an einer Rolle. Rolle und befestigte Feder werden dann auf die Unruhwellen aufgedrückt.

Das Befestigen der Feder an der Rolle geschieht auf folgende Weise:

1. Schlitznietung

Der innere Federsteg wird in einem Schlitz vernietet.

2. Rillennietung

Das innere Federende wird in der Umfangsnut einer zylindrischen Rolle vernietet.

3. Kleben

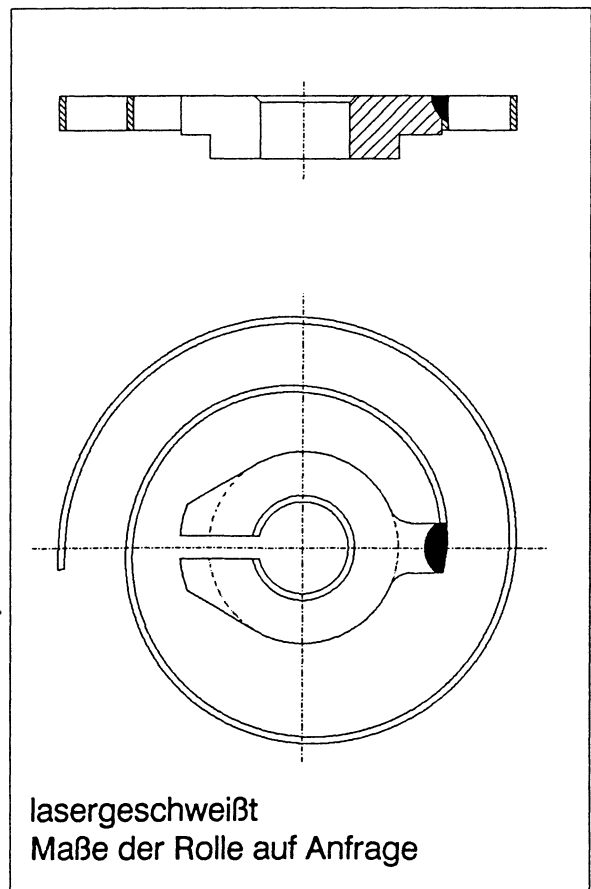
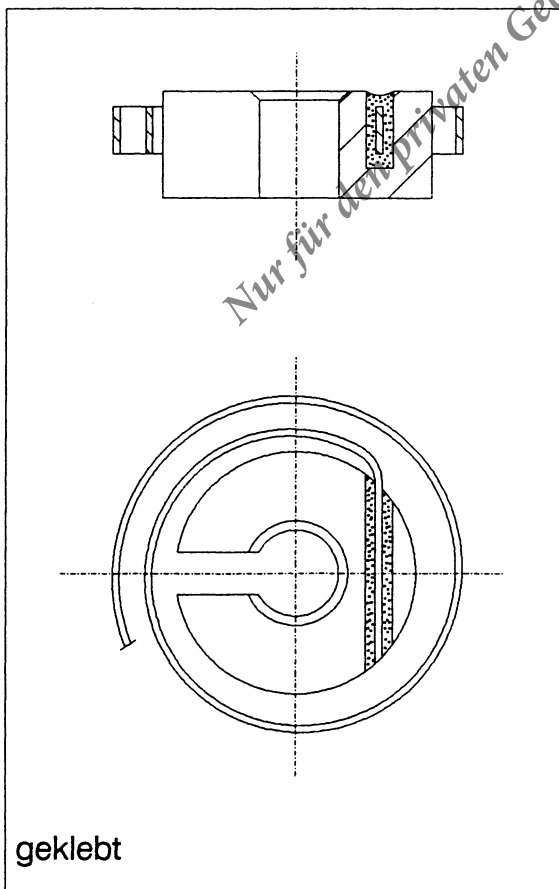
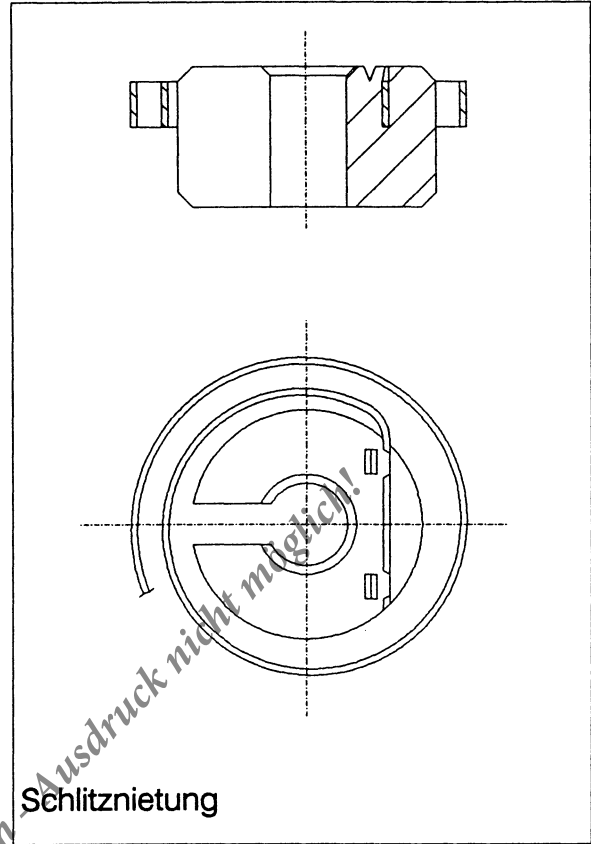
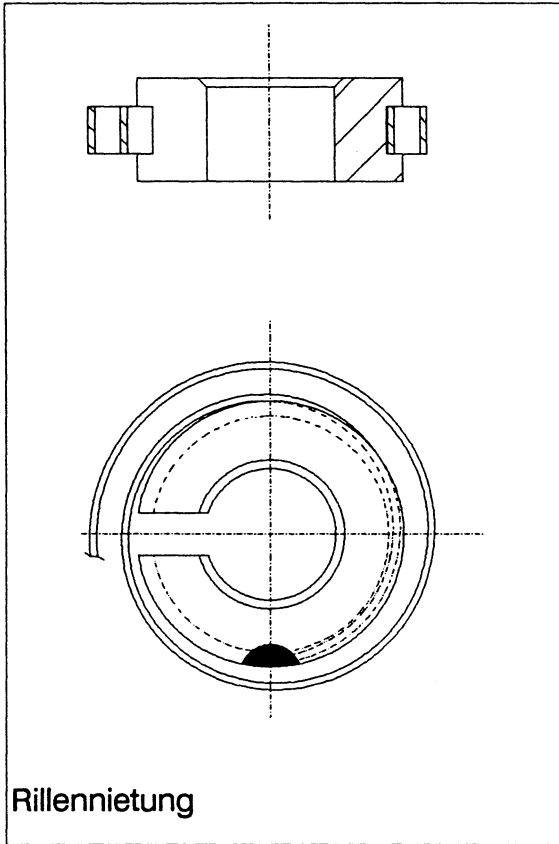
Der innere Federsteg wird spannungsfrei in einem Schlitz verklebt.

4. Laserschweißen

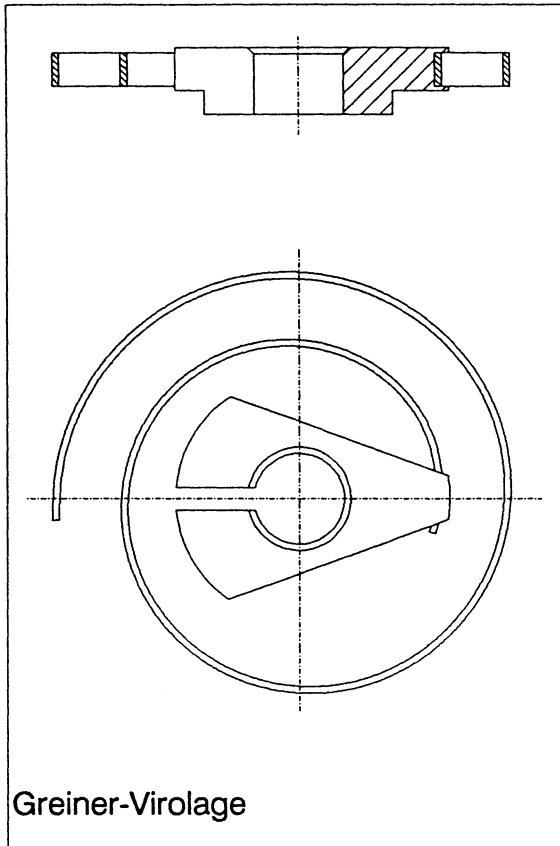
Das innere, auf einen genauen Radius geschnittene Federende wird mit einer Rolle mittels Laserschweißen verbunden.

5. Greiner-Violage

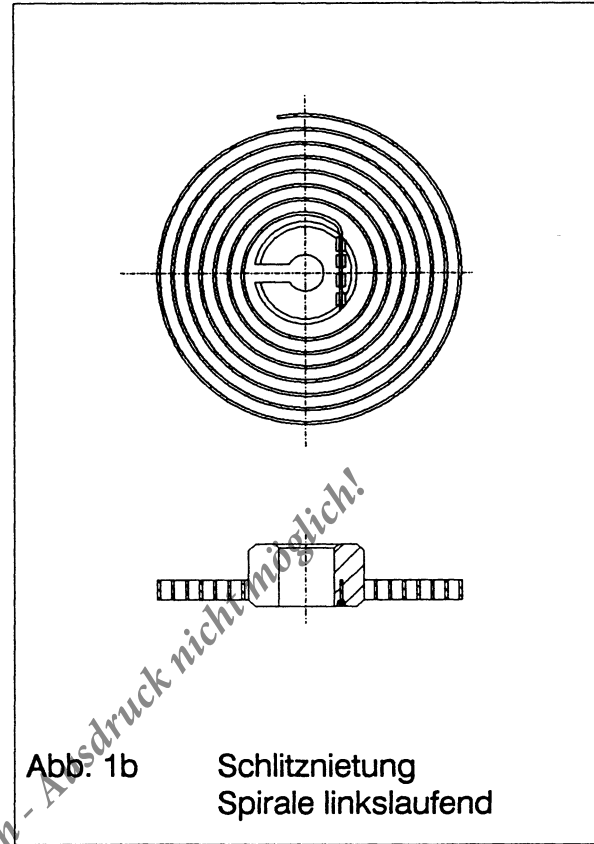
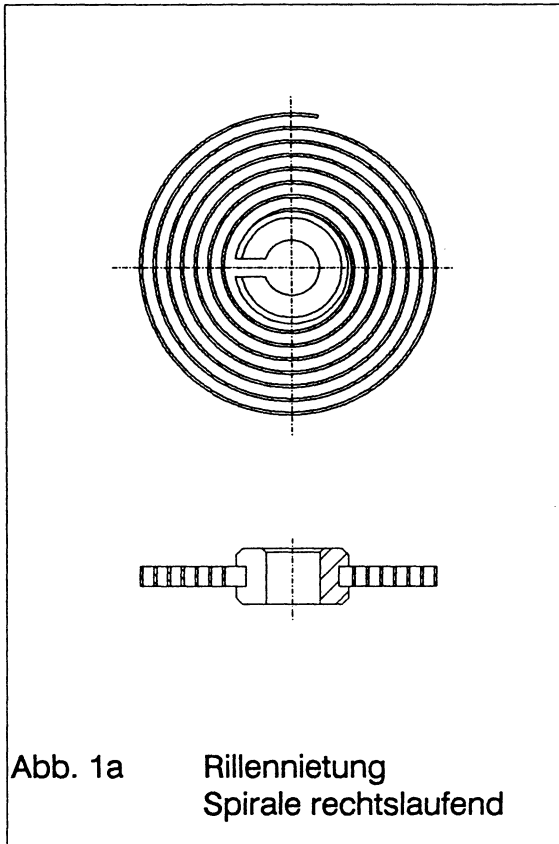
Das innere, auf einen genauen Radius geschnittene Federende wird in einer Umfangsnut vernietet.



Nur für den privaten Gebrauch Ausdruck nicht möglich!



Nur für den privaten Gebrauch - Ausdruck nicht möglich!



Ausführungsarten

Die Federn können links- oder rechtslaufend an der Rolle befestigt sein. Eine Feder mit Rillenrolle, deren Bohrung auf beiden Seiten angesenkt ist, kann sowohl links- als auch rechtslaufend verwendet werden.

Wenn die Rollenbohrung einseitig angesenkt ist, wird die Laufrichtung der Feder folgendermaßen ermittelt:

Man legt die Feder mit Rolle in ebener Lage so hin, daß die Senkung der Bohrung unten liegt. Entwickeln sich nun die Windungen von oben gesehen von innen nach außen im Uhrzeigersinn, so ist die Feder rechtslaufend; entwickeln sie sich entgegengesetzt, so ist sie linkslaufend (siehe Abb. 1a, 1b).

Rollenwerkstoff	Kurzzeichen	Werkstoffnummer
Messing	CuZn39Pb3	2.0401
Messing	CuZn39Pb1,5	2.0371
Nichtrostender Stahl	X17CrMoS17	1.4104

Oberflächen

Blank
Gefärbt  galvanisch
gespritzt

Abmessungen

Bohrungsdurchmesser	0,35 - 6,0 mm	
Außendurchmesser FER	1,1 - 9,0 mm	Rolle für Schlitznietung
Außendurchmesser RR	1,5 - 8,0 mm	Rolle für Rillennietung
Höhe (Drehteillänge)	0,7 - 6,5 mm	

Betrifft Außendurchmesser:

Ganze und halbe Millimeter bevorzugt.

Nur für den privaten Gebrauch - Ausdruck nicht möglich!

In dieser Norm sind lediglich die Maße der Spiralrollen und der zu verwendende Werkstoff festgelegt. Außerdem wird durch die Formbuchstaben A und B eine Unterscheidung zwischen den Spiralrollen nach der Länge der montierten Spiralklinge (einseitig oder mittig) getroffen. Die Art der Befestigung der Spirale an der Rolle ist nicht genormt; sie bleibt dem Hersteller überlassen. Maße in mm. Nicht angegebene Einzelheiten sind zweckentsprechend zu wählen.

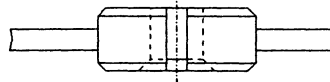
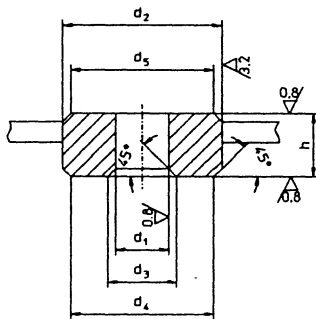
Form A ($\frac{0,8}{\nabla}$ $\frac{3,2}{\nabla}$)

Form B

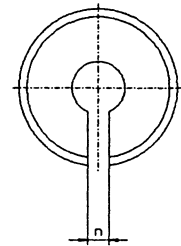
Draufsicht

für einseitig zur Spiralrolle liegende Spiralklinge

für mittig zur Spiralrolle liegende Spiralklinge



Maße und Angaben wie Form A



Bezeichnung einer Spiralrolle Form A von Bohrung $d_1 = 0,8\text{mm}$ und Außendurchmesser $d_2 = 2\text{mm}$ aus Messing:

Spiralrolle A0,8x2 DIN 8255

Sind jeweils zwei Werte für die Rollenhöhe h (bei $d_1 = 0,4$ bis $0,55\text{mm}$) vorgesehen, so muß die DIN-Bezeichnung erweitert werden. Sie lautet dann z.B. für eine Spiralrolle Form A von Bohrung $d_1 = 0,5\text{mm}$, Außendurchmesser $d_2 = 1,3\text{mm}$ und Höhe $h = 0,45\text{mm}$ aus Messing:

Spiralrolle A0,5x1,3x0,45 DIN 8255

d_1 Empfohlene Passung	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,7	0,8	0,9	H7 / z7			ZA8 / h8		ZB8 / h8	
	$d_3 \pm 0,05$	0,5	0,55	0,65	0,7	0,75	0,9	1	1,15	1,3	1,5	1,8	2	2,4	
$h -0,03$	0,4 oder 0,45	0,45 oder 0,5	0,45 oder 0,5	0,5 oder 0,55	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,5	1,8	2	$d_4 = d_5^{1)}$ $\pm 0,05$	n $+0,02$
d_2 h9															
1,1						-	-	-	-	-	-	-	-	0,95	0,06
1,2						-	-	-	-	-	-	-	-	1,05	
1,3						-	-	-	-	-	-	-	-	1,15	
1,5	-										-	-	-	1,3	0,1
1,7	-	-									-	-	-	1,5	
2	-	-	-											1,7	0,2
2,5	-	-	-	-	-									2,2	
3	-	-	-	-	-	-	-	-						2,6	0,3
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-					3,5	0,4

Graue Fächer entsprechen Vorzugsgrößen. Größen außerhalb der Stufenlinie sind nicht genormt.

¹⁾ Bei Rollenhöhen $h \leq 0,8$ sind die Tabellenwerte für d_5 Größtmaße, d.h. die zulässige Abweichung $\pm 0,05$ entfällt dabei.

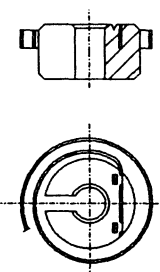
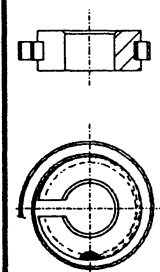
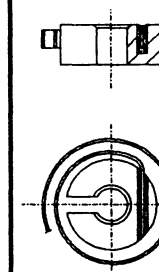
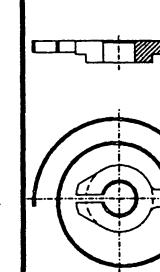
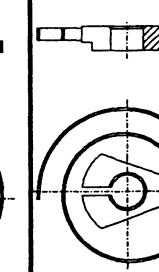
Erläuterungen

Die in dieser Norm vorgesehenen Toleranzen sind nach der ISO-Empfehlung Draft "Toleranzen und Passungen" der Internationalen Normenorganisation (ISO = International Organization for Standardization) gewählt worden. Diese ISO-Empfehlung wird in Kürze die allgemein bekannten ISA-Passungen nach DIN 7150 und folgende ersetzen. Da sie zwar von dem zuständigen ISO-Komitee bereits verabschiedet, aber noch nicht veröffentlicht worden ist, werden für die in dieser Norm verwendeten Toleranzfelder die oberen und die unteren Abmaße in $\mu = 1/1000\text{mm}$ angegeben.

Abmaße in mm

Toleranzfeld	Durchmesserbereich	
	bis 3mm	über 3 bis 6mm
H7	+10 0	-
ZA8	-32 -46	-
ZB8	-40 -54	-
h8	0 -14	-
h9	-	0 -25
z7	+36 +26	-

Nur für den privaten Gebrauch - Ausdruck nicht möglich!

					
	Schlitz- nietung	Rillen- nietung	geklebt	laserge- schweißt	Greiner- Virolage
Verwendung für Kleinuhren bis CGS 5,0	ja	ja	ja	nein	ja
Verwendung für Großuhren ab CGS 5,0	ja	ja	ja	ja	nein
hochwertige Uhren	ja	nein	ja	ja	ja
wenig anspruchsvolle Uhren	nein	ja	nein	nein	nein
Austrittspunkt der Feder an der Rolle	definiert	nicht definiert	definiert	definiert	definiert
Rundlauf der Feder	schlecht, muß nachgerichtet werden	mäßig, kann nicht nachgerichtet werden	gut	gut	gut
Flachlauf der Feder	schlecht, muß nachgerichtet werden	mäßig, kann nicht nachgerichtet werden	gut	gut	gut
stromleitend	ja	ja	nein	ja	ja

Vorbetrachtung

Der Hauptanteil des Temperaturfehlers einer Uhr wird durch die Änderung des Elastizitätsmoduls des Federwerkstoffes verursacht. Fast alle Metalle verhalten sich so, daß der E-Modul bei steigender Temperatur abnimmt. Dies bedeutet, daß bei einer Temperaturerhöhung die Richtkraft abnimmt und die Uhr nachgeht.

Mit der von Straumann entwickelten speziellen Eisen-Nickel-Legierung Nivarox kann der E-Modul in einem bestimmten Bereich konstant gehalten werden. Das hat zur Folge, daß die Feder praktisch keinen oder nur einen kleinen Temperaturfehler aufweist.

Temperaturkoeffizient

Unter dem Temperaturkoeffizient einer Uhr versteht man die tägliche Gangänderung unter dem Einfluß einer Temperaturänderung von 1°C, ausgedrückt in Sekunden pro Tag und Grad Celsius für einen bestimmten Temperaturbereich. Für normale Gebrauchsuhren ist dies zwischen 4°C und 36°C.

Berechnung des Temperaturkoeffizienten

Es gilt:
$$C_t = \frac{G_{36} - G_4}{32} = \left[\frac{s}{d \cdot ^\circ C} \right]$$

C_t = Temperaturkoeffizient $\left[\frac{s}{d \cdot ^\circ C} \right]$

G_{36} = Uhrgang bei 36C $\left[\frac{s}{d} \right]$

G_4 = Uhrgang bei 4C $\left[\frac{s}{d} \right]$

Nivarox-Qualitäten

Es werden 3 Qualitätsgruppen angeboten.

Für hochwertige Uhren können als 3 therm. Koeffizienten gewählt werden:

Nivarox 1 $C_t = \pm 0.6 \frac{s}{d \cdot ^\circ C}$

Nivarox 2 $C_t = \begin{matrix} + 0.6 \text{ to } + 1.5 \frac{s}{d \cdot ^\circ C} \\ - 0.6 \text{ to } - 0.5 \frac{s}{d \cdot ^\circ C} \end{matrix}$

Nivarox 3 $C_t = \begin{matrix} + 1.5 \text{ to } + 3.5 \frac{s}{d \cdot ^\circ C} \\ - 1.5 \text{ to } - 3.5 \frac{s}{d \cdot ^\circ C} \end{matrix}$

Federn aus nichtkompensierendem Werkstoff

Für nichthochwertige Uhren wird kein temperaturkompensierender Werkstoff verwendet (z.B. für Wecker, Kurzzeitmesser).
Verwendet wird hier CuSn8.

CuSn8 $C_t = + 15 \frac{s}{d \cdot ^\circ C}$

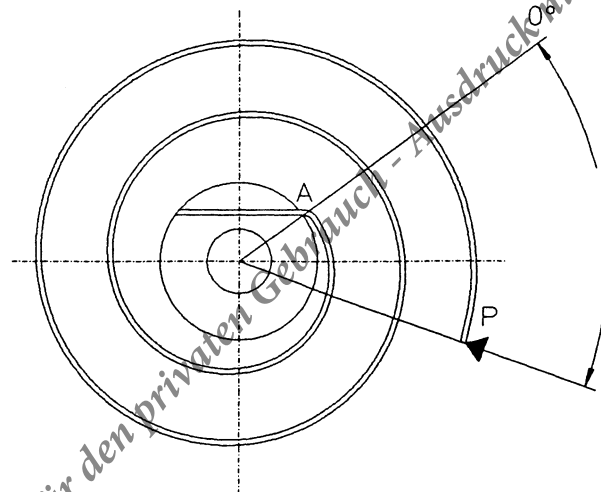
Definition

Unter dem Isochronismusfehler versteht man einen von der Schwingungsweite des Schwingungssystems abhängigen Gangfehler. Dieser Gangfehler kann verschiedene Ursachen haben:

- Ansteckwinkel
- Rundlauffehler
- Flachlauffehler
- Unwucht der Unruhe.

Ansteckwinkel

Unter dem Ansteckwinkel α versteht man den Winkel zwischen dem Austrittspunkt der Feder aus der Rolle und dem äußeren Befestigungspunkt am Piton der Uhr.



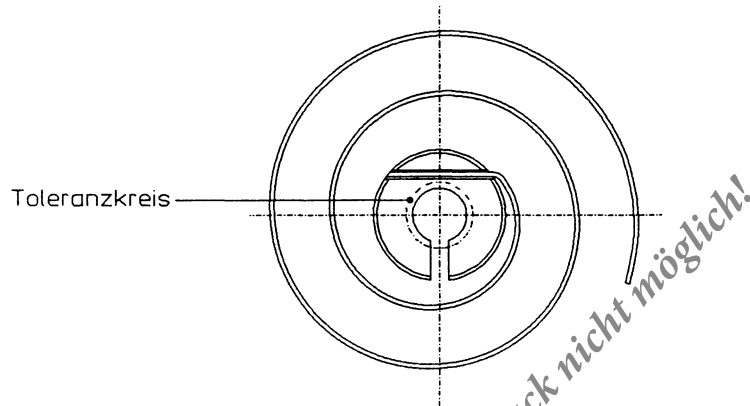
Man kann nun durch die Wahl des Ansteckwinkels ein verschieden großes Vorgehen oder Nachgehen in den kleinen Schwingungsweiten oder isochrones Verhalten des Schwingungssystems erzielen.

In der Regel liegt der günstigste Ansteckwinkel zwischen 0° und 50° . Bedingt durch den u.U. größeren oder kleineren Rückerspalt, muß dieser Ansteckwinkel verändert werden. Dieser neue Ansteckwinkel muß empirisch ermittelt werden.

Die mögliche Toleranz des Ansteckwinkels in der Fertigung ist $\pm 45^\circ$.

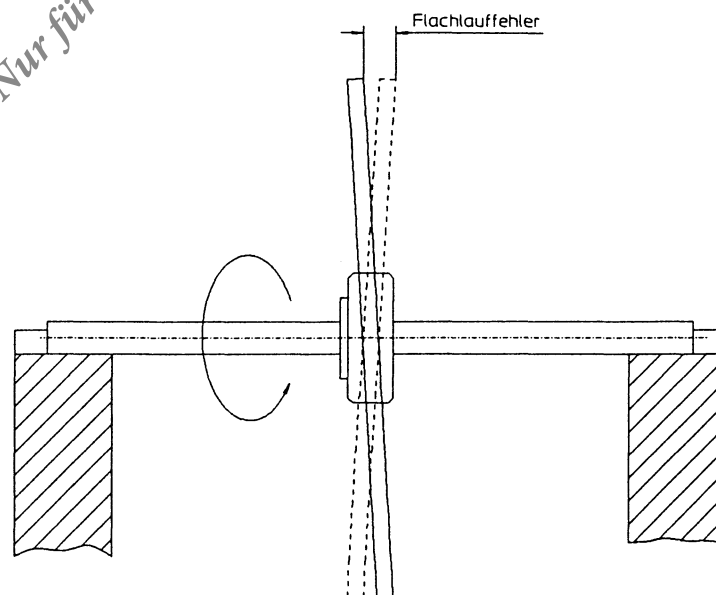
Rundlauffehler

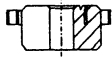
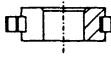
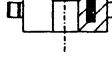



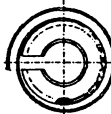

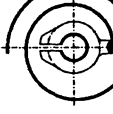
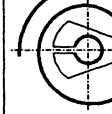
Unter dem Rundlauffehler versteht man das Maß zwischen dem Achsmittelpunkt der Rollenbohrung und dem gedachten inneren Endpunkt der archimedischen Spiralfeder.



Flachlauffehler

Unter dem Flachlauffehler versteht man den Gesamtausschlag einer Feder am äußeren Ende, indem man diese um eine Achse langsam dreht. Der Gesamtausschlag wird mit dem Meßmikroskop gemessen.



							
							
		Schlitznietung	Rillennietung	geklebt	lasergeschweißt	Greiner-Virolage	
Ansteckpunkt möglich		ja	nein	ja	ja	ja	
Abgezählte Windungszahl	Gr. 1	±45°	±90°	±45°	±45°	±45°	
	Gr. 2	±60°		±60°	±60°	±60°	
Voller ø und abgezählter ø	CGS	0.100-2.000	±0.05				
		2.12 - 100	±0.1				
		106 u.mehr	±0.2				
Flachlauf	CGS	0.100-0.375		0.10	0.08	-	0.06
		0.406-1.00		0.14	0.09	-	0.06
		1.06-2.50		0.16	0.10	-	0.06
		2.65-8.50		0.18	0.14	0.15	-
		9.0-100		0.20	0.15	0.15	-
		106-475		0.25	0.18	0.18	-
		500 u. mehr		0.25	0.20	0.20	-
Rundlauf	CGS	0.100-0.375		0.03	-	0.03	
		0.400-1.00		0.035	-	0.03	
		1.06-2.50		0.04	-	0.03	
		2.65-8.50		0.04	0.45	-	
		9.0-100		0.045	0.45	-	
		106-475		0.05	0.05	-	
		500 u. mehr		0.06	0.06	-	