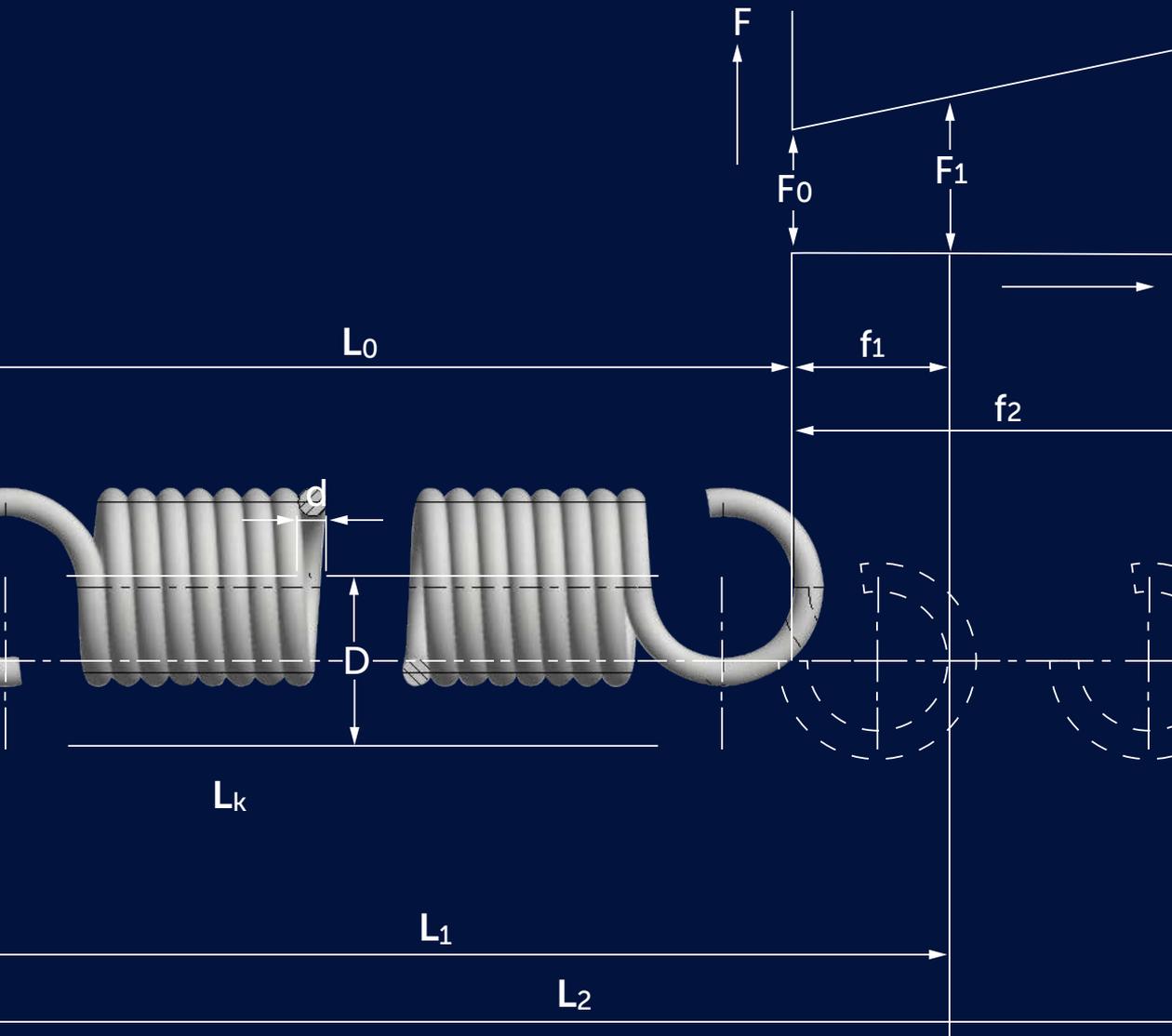


TECHNISCHE DATEN



Federdraht

Federn werden aus speziellem Federstahldraht gefertigt. Federstahldraht wird in mehreren Schritten hergestellt. Der erste Schritt findet in großen Stahlwerken mit Stahlföfen statt. Ein Stahlofen fasst ca. 180 Tonnen Stahl. In diesem Ofen wird der Stahl auf eine Temperatur von ca. 1500 °C erhitzt, wobei der Stahl vollständig schmilzt. In dieser Phase werden Proben entnommen, um die Zusammensetzung des Stahls zu untersuchen.

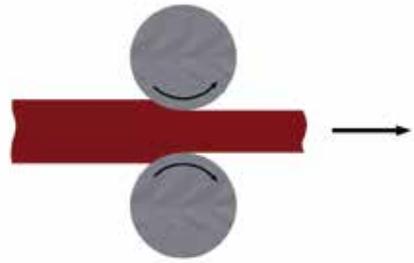
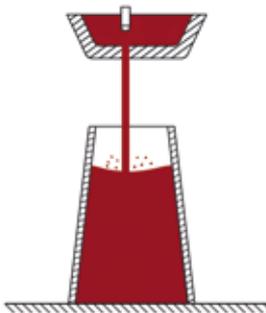
Für Federstahl nach EN 10270-1-SH ist folgende chemische Zusammensetzung erforderlich:

C = Kohlenstoff	ca. 0,8 %
Si = Silizium	ca. 0,2 %
Mn = Mangan	ca. 0,9 %
P = Phosphor	max. 0,035%
S = Schwefel	max. 0,035%
Cu = Kupfer	max. 0,2 %

Der Rest:

Fe = Eisen	ca. 98 %
------------	----------

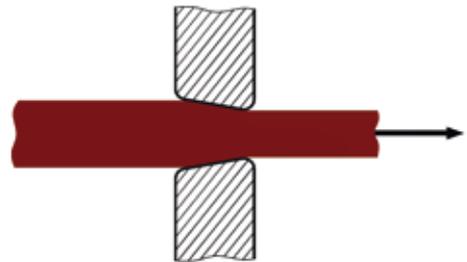
Bei der Herstellung von Federstahl müssen die Werte der verschiedenen chemischen Bestandteile innerhalb von bestimmten Toleranzen liegen. Wenn die Zusammensetzung stimmt, wird der Ofeninhalt in Blöcke mit 2500 kg oder 2000 kg Gewicht gegossen.



Wenn die Blöcke erstarrt, aber immer noch glühend heiß sind, werden sie zu Draht ausgewalzt.

Walzdraht wird in verschiedenen Stärken an Drahtziehereien geliefert. Der dünnste Walzdrahtdurchmesser ist 5,5 mm.

In den Drahtziehereien wird der Draht durch Ziehsteine gezogen, wodurch sein Durchmesser immer weiter abnimmt. Das Drahtziehen ist ein kaltes Verfahren. Diese Kaltverformung verfestigt den Draht auch. Im Prinzip ist es möglich, den Drahtdurchmesser um ca. 60 % zu reduzieren.



Der Ziehprozess wird mit Spezialmaschinen ausgeführt. Diese Maschinen bestehen aus mehreren Drahtstationen. Je nach der insgesamt erforderlichen Querschnittsabnahme können 8 bis 16 Stationen hintereinander angeordnet werden. Wenn der Querschnitt um mehr als 60 % reduziert werden soll, ist Zwischenglühen erforderlich.

Dazu wird der Draht durch ein Bleibad mit ca. 800° C geführt. Dadurch wird das Gefüge des Drahts wiederhergestellt. Diesen Prozess bezeichnet man als „Patentieren im Bleibad“.

Die Druckfedern, Zugfedern und Schenkelfedern aus diesem Katalog sind aus im Bleibad patentiertem Draht hergestellt. Der im Bleibad patentierte Draht ist qualitativ rein kaltgezogenem Draht überlegen. Ausschließlich kaltgezogenen Draht bezeichnet man als „Stelmor-Draht“. Der gesamte Prozess vom Gießen bis zum Drahtziehen ist genormt, alle Beschreibungen sind festgelegt.

Alcomex bezieht normalen Federstahl ausschließlich gemäß EN 10270-SH-1 (vorherige Norm: DIN 17223 Klasse C).

Gezogener Draht muss nach dieser Norm auch eine bestimmte Zugfestigkeit aufweisen. Diese Zugfestigkeit kann mit folgender Formel berechnet werden: $R_m = 2220 - (810 \log(d))$

Es gibt auch andere Werkstoffe, wie etwa Chrom-Silizium-Draht, Chrom-Vanadium-Draht, Edelstahl AISI 302 (1.4319) und AISI 316 (1.4401). Alle diese Werkstoffe werden auf die gleiche Weise hergestellt. Der Unterschied liegt vor allem in ihrer chemischen Zusammensetzung. AISI 316 wird nur dort eingesetzt, wo absolut kein Rost vorkommen darf, wie z. B. in der Lebensmittelindustrie. Chrom-Silizium-Draht besitzt sehr gute Eigenschaften für Federn in dynamischen Anwendungen, wie sie vielfach in Motoren, Kupplungen und in der Automobilindustrie ganz allgemein verwendet werden.

Chrom-Vanadium eignet sich auch für dynamische Anwendungen, vor allem aber dann, wenn die Feder harte Stöße auffangen muss. Stempelfedern sind ein Beispiel dafür. Die Stempelfedern von Alcomex sind ebenso wie die Tellerfedern aus Chrom-Vanadium-Stahl gefertigt.

Was ist „Zugfestigkeit“?

Wenn an etwas gezogen wird, setzen die Moleküle des Materials der Zugkraft einen Widerstand entgegen. Die resultierende Spannung wird als Zugspannung bezeichnet. Wird die Zugspannung so groß, dass der Stab bricht, dann ist das Moment, bei dem der Bruch auftritt, die Zugfestigkeit. In der folgenden Abbildung sind die Moleküle zum Beispiel bestrebt, dem Bruch des Stabs einen Widerstand entgegenzusetzen.



Die Zugspannung wird mit dem griechischen Buchstaben σ (Sigma) angegeben und berechnet sich mit der Formel:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

σ = Zugspannung ausgedrückt in N/mm^2

F = Kraft (Force) in Newton (10 N entspricht ca. 1 kg.)

A = Querschnittsfläche des Stabs bzw. Drahts in mm^2

Wie bereits oben erwähnt, setzen die Moleküle von Stahl (aber auch von anderen Werkstoffen) Zugspannungen einen Widerstand entgegen: Die Moleküle wollen zusammenhalten. Jeder Werkstoff hat einen typischen Widerstand, den man als **Elastizitätsmodul oder E-Wert** bezeichnet.

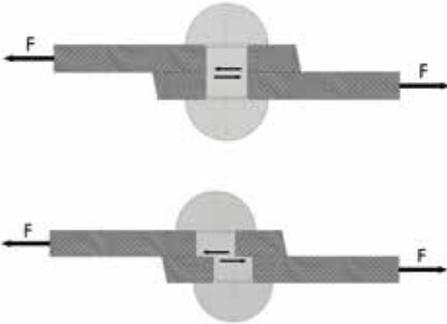
Der E-Wert für Federstahl ist:
206.000 N/mm²

Der E-Wert für rostfreien Federstahl
ist: 195.000 N/mm²

Welche Spannungen kommen im Maschinenbau vor?

Neben Zugspannungen kommen Druck-, Schub-, Biege-, Torsions- und Knickspannungen vor. Druck- und Knickspannungen sind für Federberechnungen nicht weiter von Bedeutung.

Abb. Schubspannung



Eine Schubspannung entsteht, wenn zwei Platten eine entgegengesetzte Kraft senkrecht zum Querschnitt ausüben und wie in der Abbildung bestrebt sind, den Niet abzuscheren.

Die Schubspannung wird mit dem griechischen Buchstaben τ (Tau) angegeben und berechnet sich nach der Formel:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

- τ = Schubspannung in N/mm²
- F = die Kraft in N
- A = Querschnitt des belasteten Bauteils in mm²

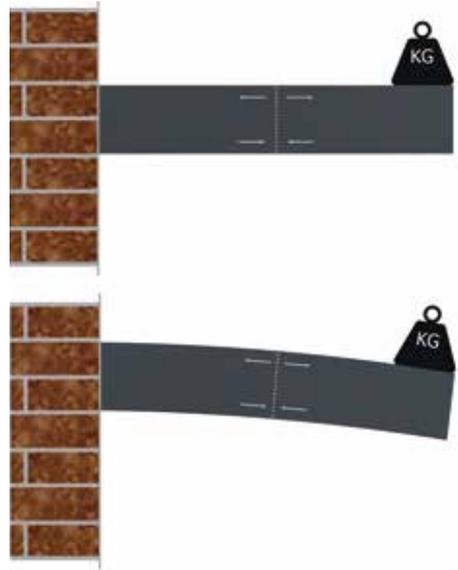
Wie bei Zugspannungen leisten die Moleküle Widerstand und wollen nicht auseinander geschoben werden.

Dieses Widerstandsmodul bezeichnet man bei Schubspannungen (und Torsionsspannungen) als Gleit- bzw. Schubmodul oder G-Wert.

Für Federstahl ist der G-Wert:
81.500 N/mm²

Für rostfreie Federstähle ist der G-Wert:
70.000 N/m²

Abb. Biegespannung



Eine Biegespannung entsteht durch eine Kraft, die senkrecht auf einen Kraftarm wirkt. Das bezeichnet man als Biegemoment. Der Begriff „Moment“ ist im Maschinenbau somit immer eine Kraft in N x Kraftarm in mm = Moment in Nmm.

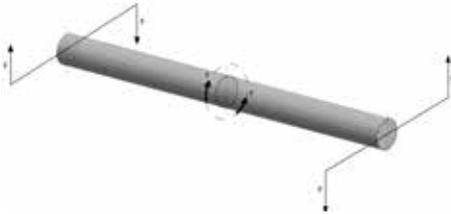
Die Biegespannung wird mit dem Buchstaben Sigma angegeben, da das Biegemoment eine Zugspannung verursacht.

Die Formel zur Berechnung einer Biegespannung ist:

$$\sigma_b = \frac{F}{A}$$

σ_b = Biegespannung in N/mm²
 M_b = Biegemoment in Nmm
 w_b = Widerstandsquerschnitt mm³

Abb. Torsionsspannung



Eine Torsionsspannung entsteht, wenn auf einen Draht oder Stab zwei entgegengesetzte Drehmomente einwirken. Ein Drehmoment ist eigentlich dasselbe wie ein Moment (Kraft x Kraftarm), nur wird das Wort „Drehmoment“ verwendet, wenn es sich um eine Rotationsbewegung handelt.

Die Torsionsspannung wird mit dem griechischen Buchstaben τ (Tau) angegeben, da durch das Torsionsmoment eine Schubspannung entsteht.

Die Formel für die Berechnung einer Torsionsspannung ist:

$$\tau_w = \frac{T}{W_w}$$

τ = Torsionsspannung in N/mm²
 T = Torsionsmoment in Nmm
 W_w = Widerstandsquerschnitt gegen Torsion in mm³

Was ist für uns in der Federberechnung wichtig?

Für uns sind bei der Berechnung von Druck- und Zugfedern die Torsionsspannungen wichtig. Biegespannungen sind wichtig für die Berechnung von Schenkelfedern.

Zug- und Biegespannungen stehen in einem Zusammenhang, und für beide ist der E-Wert wichtig.

Auch Scher- und Torsionsspannungen stehen in einer Beziehung, wobei der G-Wert wichtig ist.

Federberechnung Druck- und Zugfedern

Für die Berechnung einer Druckfeder müssen mehrere Dinge bekannt sein:

- die maximale Kraft, die die Feder ausüben darf (**F_n**)
- der Durchmesser der Feder, er hängt oft vom Einbauraum ab. Für die Federberechnung geht man aus von dem mittleren Windungsdurchmesser (**D_m**)
- der maximalen Federweg (**s_n**)

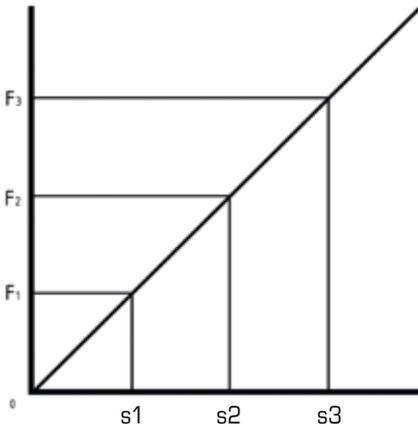
Die Federkonstante (**R**) ist die Kraft, die eine Feder pro mm Druck (Dehnung bei Zugfedern) ausübt. Dieses Verhältnis ist bei zylindrischen Federn direkt proportional (siehe Diagramm).

$$R = \frac{F_n}{f_n}$$

Die maximale Kraft, die die Feder ausüben darf, ist daher F_n. Hat die Feder eine bestimmte Vorspannung, so wird sie üblicherweise als F1 bezeichnet. Der Wert F_n ist entscheidend für die Ausführung der Feder.

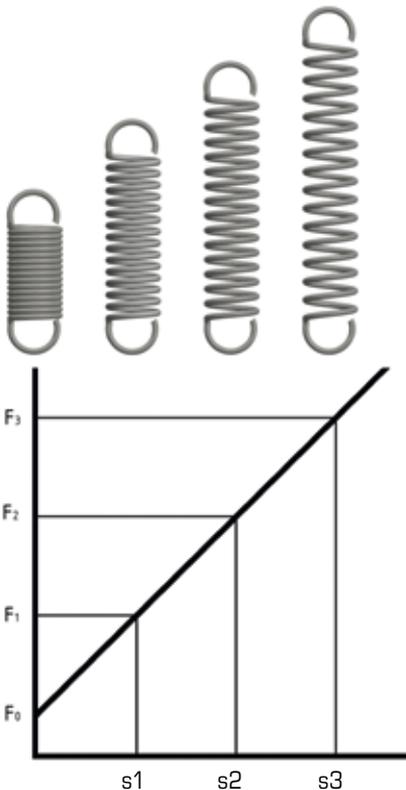
Schema Druckfedern





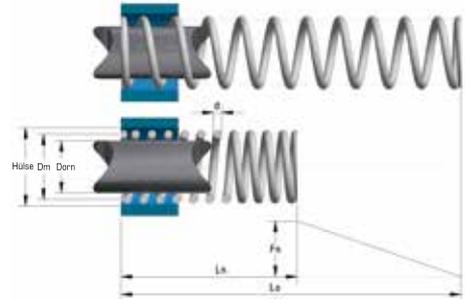
Zugfedern haben auch eine bestimmte Vorspannkraft. Das ist die Kraft, die zum Auseinanderziehen der Windungen erforderlich ist. Die Vorspannkraft (F_0) beträgt 5 % bis 15 % von F_n , abhängig vom Federdurchmesser.

Schema Zugfedern



Einführung in Berechnungsformeln für die Auslegung von Zug- und Druckfedern

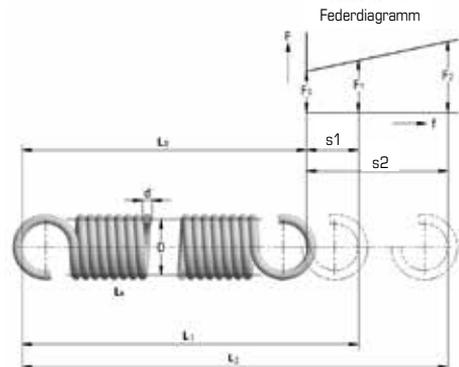
Zeichnung Druckfeder



Unter dem Wert D_m wird der mittlere Windungsdurchmesser verstanden, D_e ist der Außendurchmesser und D_i der Innendurchmesser. Für die Berechnung von Federn ist nur der Wert D_m wichtig. Dieser D_m kann sehr einfach ermittelt werden, indem der Wert D_u gemessen und der Drahtdurchmesser d davon subtrahiert wird.

$$D_m = D_e - d$$

Mit n_w ist die Anzahl der federnden Windungen gemeint. Bei einer Zugfeder kann die Anzahl der federnden Windungen einfach durch Messung der Körperlänge und Teilen durch den Drahtdurchmesser d bestimmt werden.



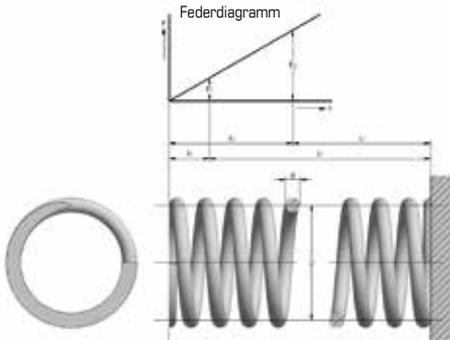
Hinweis: Bei der letzten Windung wird zwar der Drahtdurchmesser gemessen, aber die Federwindungen hören hier auf, so dass es sich nicht um eine zusätzliche Windung handelt.

Die Formel lautet wie folgt:
(Abkürzung Körperlänge = Lk)

$$nw = \frac{Lk}{d} - 1$$

Bei einer Druckfeder ist die Feder an den Federenden geschliffen, und auch an den Federenden hat die Druckfeder eine abweichende Steigung. Bei Druckfedern bezeichnen wir das als Anlegen. Eine Druckfeder wird in der Verarbeitung angelegt und geschliffen.

Zeichnung angelegte und geschliffene Feder



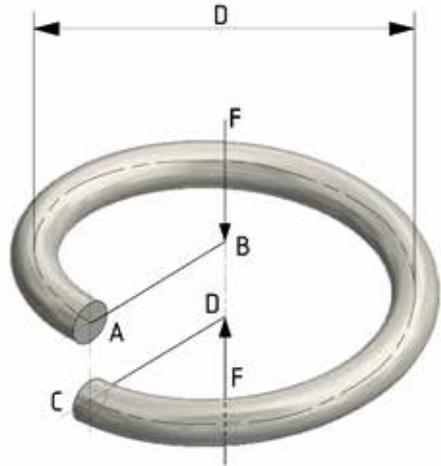
Zum Anlegen werden an beiden Seiten $\frac{3}{4}$ Windungen verwendet. Wenn also die Anzahl der Windungen einer Druckfeder (nt) gezählt wurde, so müssen von dieser Anzahl $2 \times \frac{3}{4} = 1,5$ Windungen subtrahiert werden.

Bei Druckfedern gilt somit:

$$nw = nt - 1,5$$

Berechnungsformeln für die Auslegung von Zug- und Druckfedern

Die Windung einer Feder können wir schematisch so darstellen:



A – B = r oder 0,5 Dm
C – D = r bzw. 0,5 Dm

Das entstehende Drehmoment T ist Kraft F x Kraftarm 0,5 Dm.

$$T = \frac{F \cdot Dm}{2}$$

Der Federdraht kann einen rechteckigen, quadratischen oder runden Querschnitt haben. Bei Federn, die in einen kompakten Raum eingebaut sind und einer großen Kraft standhalten müssen, wie z. B. die Stempelfedern von Alcomex, ist der Federdraht rechteckig. Die übrigen Zug- und Druckfedern sind fast ausschließlich aus Runddraht gefertigt. Der Widerstandsquerschnitt gegen Torsion wird mit Ww angegeben. Ww berechnet sich nach der Formel:

$$Ww = \frac{\pi}{16} \cdot d^3$$

Die Formel zur Bestimmung der Torsionsspannung ist:

$$\tau_w = \frac{T}{Ww}$$

Dann können wir auch sagen, dass:

$$T = Ww \cdot \tau w$$

Wenn wir das einsetzen, erhalten wir:

$$\frac{F \cdot Dm}{2} = \frac{\pi}{16} \cdot d^3 \cdot \tau w$$

Oder:

$$\tau w = \frac{8 \cdot F \cdot Dm}{\pi \cdot d^3}$$

Die Windung, wie oben schematisch dargestellt, ist abgewickelt ein Stab. Die leichte Schräge der Windung wird vernachlässigt. Die Länge l dieses Stabs ist:

$$l = \pi \cdot Dm$$



Der Winkelversatz in diesem Stab berechnet sich nach der Formel:

$$\varphi = \frac{T \cdot l}{G \cdot Ip}$$

(Ip = polares Trägheitsmoment)

Für T können wir auch schreiben:

$$T = \frac{F \cdot Dm}{2}$$

Für Ip können wir schreiben:

$$Ip = \frac{\pi}{32} \cdot d^4$$

Für die Länge von Windung l können wir schreiben:

$$\pi \cdot Dm$$

Wenn wir das einsetzen, erhalten wir:

$$\varphi = \frac{F \cdot Dm}{2} \cdot \frac{\pi \cdot Dm}{G \cdot d^4}$$

Vereinfacht ergibt sich:

$$\varphi = \frac{16 \cdot F \cdot Dm^2}{G \cdot d^4}$$

Die Eindrückung einer Windung stimmt fast mit der Bewegung durch den Winkelversatz φ überein. Dann können wir sagen, dass der Federweg einer Windung übereinstimmt mit:

$$\frac{\varphi \cdot Dm}{2}$$

Eine Feder hat mehr als eine Windung; die Anzahl der federnden Windungen bezeichnen wir mit nw . Der gesamte Federweg bei Kraft F wird somit:

$$s = \frac{8 \cdot F \cdot Dm^3 \cdot nw}{G \cdot d^4}$$

Durch entsprechendes Auflösen der Formel können wir für eine Feder fehlende Daten in Abhängigkeit von den bekannten Daten berechnen.

Die resultierende Torsionsspannung:

$$\tau w = \frac{8 \cdot F \cdot Dm}{\pi \cdot d^3}$$

Oder:

$$\tau w = \frac{G}{\pi} \cdot \frac{d}{nw \cdot Dm^2} \cdot s$$

Anzahl der federnden Windungen:

$$nw = \frac{G \cdot f \cdot d^4}{8 \cdot F \cdot Dm^3}$$

Federkonstante:

$$R = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot Dm^3 \cdot nw}$$

Federweg:

$$s = \frac{8 \cdot F \cdot Dm^3 \cdot nw}{G \cdot d^4}$$

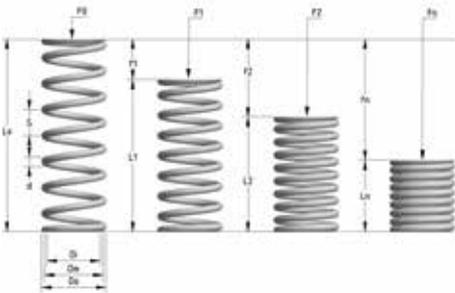
Federkraft:

$$F = \frac{G \cdot d^4 \cdot s}{8 \cdot Dm^3 \cdot nw}$$

Symbolen:

- τ_w = Torsionsspannung (N/mm²)
- Dm = mittlerer Windungsdurchmesser (mm)
- F = Federkraft (N)
- G = Schubmodul (N/mm²)
- D = Durchmesser Federdraht (mm)
- Nw = Anzahl federnde Windungen
- s = Federweg (mm)
- R = Federkonstante (N/mm)

Schematische Darstellung einer Druckfeder in verschiedenen Belastungssituationen



Diese Formeln werden in der Federberechnung auf der Alcomex-Webseite verwendet. Normalerweise ist die Kraft, die ausgeübt werden soll, bekannt. Der Federweg – bei einer Druckfeder der Druck, bei einer Zugfeder die Dehnung – ist in der Regel ebenfalls bekannt. Mit der Bestimmung des Durchmessers ist näherungsweise bekannt, in welchem Raum die Feder passt. Das Windungsverhältnis einer Feder Dm / d darf nicht kleiner als 4 und nicht größer als 15 sein. Manchmal muss ein Federdurchmesser groß sein und ergibt sich ein Windungsverhältnis größer als 15. In diesem Fall wenden Sie sich bitte an einen technischen Berater von Alcomex, der Sie beraten kann, welche Feder im gegebenen Fall am besten geeignet ist.

Beispiel 1:



Auf der Webseite geben Sie bei der Federberechnung für Druckfedern ein:

Federkraft F1	50 N
Federweg f1	10 mm
Werkstoff	Federstahl

Sie wissen nicht, welchen Durchmesser Sie wählen sollen, also klicken Sie auf „Feder berechnen“. Nun wird vorgeschlagen, Dm zwischen 3 mm und 15 mm zu wählen.

Sie wählen 10 mm, weil Sie denken, dass es eine schön kompakte Feder ergibt und sie ungefähr zwischen 3 mm und 15 mm liegt.

Die Antwort ist eine Feder mit einem Lo 18,4 mm, nw 4,2, Ln 8,4 mm, Dorn 8 mm, Hülse 12 mm, d = 1,2 mm.

Wenn Sie eine große Serie dieser maßgefertigten Feder benötigen, können Sie diese natürlich bestellen. Aber das Programm berechnet auch Alternativen, die bereits vorrätig sind. Womöglich muss geringfügig von dem exakt benötigten Wert abgewichen werden, aber D1920 und D2210 liegen ganz in der Nähe, besonders mit Blick auf die Federkonstante R.

Vorrätige Federn liegen bereits für den Versand bereit und sind für Kleinserien und Prototypen deutlich kostengünstiger.

Wird eine sehr große Stückzahl einer vorrätigen Feder benötigt, können Sie dafür jederzeit einen Sonderpreis anfordern.

Beispiel 2:



Sie benötigen eine Zugfeder aus Edelstahl, die im gedehnten Zustand mit 20 kg zieht.

20 kg sind ca. 200 N, also geben Sie bei F1 200 N ein. Der Federweg ist in dieser Situation nicht wichtig, aber 100 mm sind in Ordnung. Also geben Sie als Federweg 100 mm ein. Nun klicken Sie auf die Schaltfläche „Feder berechnen“ und sehen, dass der Vorschlag für Dm zwischen 6 mm und 30 mm liegt.

Sie nehmen 15 mm. Nun haben Sie eine Antwort, aber keine vorrätige Feder. Dann ist es sinnvoll, zu versuchen, auf eine doch vorrätige Feder zu kommen. Wenn Sie den Durchmesser auf 20 mm ändern, erhalten Sie neben der berechneten Lösung jetzt zwei Alternativen, die TR2040 und TR3200, die ab Lager lieferbar sind und morgen bei Ihnen sein können.

Beispiel 3:



Sie haben ein Gerät, in dem sich eine Stahlfeder befindet, aber die Kraft reicht Ihnen nicht. Eigentlich möchten Sie, dass die Feder im eingedrückten Zustand mindestens 5 kg mehr Kraft ausübt.

An der Feder messen wir die folgenden Daten: Im entspannten Zustand ist die gesamte Länge 150 mm. Im Gerät wird die Feder 80 mm eingedrückt. Der Drahtdurchmesser der Feder ist 2,5 mm. Die Gesamtzahl der Windungen der Feder ist 13,5, und die Enden sind angelegt und geschliffen. Der Außendurchmesser beträgt 25 mm und der Einbauraum, in dem die Feder jetzt montiert ist, 30 mm.

Zusammengefasst haben Sie folgende Daten:

$L_0 = 150 \text{ mm}$
 $s_1 = 80 \text{ mm}$
 $d = 2,5$
 $n_t = 13,5$
 $D_e = 25 \text{ mm}$

Sie wissen sofort, dass $n_w = n_t - 1,5$, also ist $n_w = 12$ federnde Windungen
 $D_m = D_e - d$ und folglich $D_m = 22,5 \text{ mm}$.

Jetzt möchten Sie die Federkraft berechnen. Dazu verwenden Sie die Formel für die Federkraft. Da es in diesem Beispiel um die Kraft einer

Feder geht, verwenden Sie für diese Berechnung die Formel für die Federkraft.

$$F = \frac{G \cdot d^4 \cdot s}{8 \cdot Dm^3 \cdot nw}$$

Der G-Wert ist bekannt, nämlich 81.500 N/mm² (das Gleitmodul für Federstahl ist immer 81.500 N/mm²).

$$F = \frac{81.500 \text{ N/mm}^2 \cdot 2,5 \text{ mm} \cdot 2,5 \text{ mm} \cdot 2,5 \text{ mm} \cdot 2,5 \text{ mm} \cdot 80 \text{ mm}}{8 \cdot 22,5 \text{ mm} \cdot 22,5 \text{ mm} \cdot 22,5 \text{ mm} \cdot 12}$$

$$F = 232,91 \text{ N}$$

Bei einer Eindrückung von 80 mm möchten Sie zusätzlich 5 kg oder 50 N haben. Jetzt verwenden Sie das Programm im Webshop und wählen zuerst als Werkstoff Federstahl. Die Kraft setzen Sie auf 280 N (dies ist ein gerundeter Wert).

Als Federweg geben Sie 80 mm und als Dm 22,5 mm an. Das Programm ermittelt eine Lösung mit zwei Alternativen aus dem Vorratsprogramm. Die D3420 wie die D6140 sind geeignete Optionen.

Federberechnung Schenkel- federn

Die resultierende Biegespannung:

$$\sigma = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot d^3}$$

Anzahl der federnden Windungen:

$$nw = \frac{d^4 \cdot E \cdot \alpha \cdot \pi}{360 \cdot 32 \cdot Dm \cdot M}$$

Federkonstante:

$$R = \frac{d^4 \cdot E \cdot \pi}{360 \cdot 32 \cdot Dm \cdot nw} \quad \text{oder} \quad R = \frac{M}{\alpha}$$

Drehwinkel:

$$\alpha = \frac{360 \cdot 32 \cdot Dm \cdot M \cdot nw}{E \cdot d^4 \cdot \pi}$$

Moment:

$$M = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \sigma}{32}$$

oder

$$M = \frac{d^4 \cdot E \cdot \alpha \cdot \pi}{360 \cdot 32 \cdot Dm \cdot nw}$$

Symbole:

- σ b = Biegespannung (N/mm²)
- Dm = mittlerer Windungsdurchmesser (mm)
- M = Moment (Nmm)
- E = Elastizitätsmodul (N/mm²)
- D = Durchmesser Federdraht (mm)
- Nw = Anzahl federnde Windungen
- α = Drehwinkel (°)
- R = Federkonstante (N/°)



Alcomex Federn GmbH

Daimlerstraße 18a
47574 Goch
Deutschland

T +49 28 23 87 98 45 0

E info@alcomex.de

w www.alcomex.de

