SCHNORR®

SPEZIALFABRIK FÜR TELLERFEDERN

zertifiziert ISO/TS 16949: 2002

Die Tellerfeder im Griff

Impressum

Adolf Schnorr GmbH + Co. KG

SCHNORR®

Postfach 60 01 62
D-71050 Sindelfingen
Stuttgarter Straße 37
D-71069 Sindelfingen
Telefon +49-(0)70 31-302-0
Telefax +49-(0)70 31-302-138 (Inland) oder
+49-(0)70 31-302-209 (Ausland)
eMail mail@schnorr.de
Internet www.schnorr.de

© Adolf Schnorr GmbH + Co. KG 2004
Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit ausdrücklicher Genehmigung und Quellenangabe.
Bearbeitet von Dipl.-Ing. (FH) Eberhard Fromm
und Ing. (grad.) Wolfgang Kleiner.

Copyright
Der gesamte Inhalt dieses Prospektes ist urheberrechtlich geschützt. Jegliche Wiedergabe oder Verwertung des Ganzen oder von Teilen ist ohne vorherige Zustimmung der Adolf Schnorr GmbH + Co. KG untersagt.

Geschäftsführer
Dieter Girrbach, Andy Haunholter

Registergericht
Adolf Schnorr GmbH + Co. KG, HRA 815 Amtsgericht Böblingen
Schnorr Beteiligungs-GmbH, HRB 296 Amtsgericht Böblingen
USt-Ident-Nr. DE 145142569

Haftungsausschluss
Trotz größtmöglicher Sorgfalt bei der Zusammenstellung der Prospektseiten kann die Adolf Schnorr GmbH + Co. KG für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der enthaltenen Informationen nicht garantieren.

Art.-Nr. 900720

Produktion
Hela Werbung GmbH, Heilbronn
SCR_2004_009

Inhaltsverzeichnis

Theoretische Grundlagen
Dieser Teil enthält die theoretischen Grundlagen zur Berechnung und Auslegung von Tellerfedern. Mit den Kapiteln 1 und 2 brauchen Sie sich nur zu beschäftigen, wenn Sie selbst eine neue Federgröße festlegen oder eine vorhandene Feder in Bezug auf Federkraft oder Spannungen nachrechnen wollen.

Einführung 5

1 Berechnungsgrundlagen mit Rechenbeispielen 9

2 Auslegung und Belastungsgrenzen 17

3 Kombinationsmöglichkeiten 20

Tellerfedern in der Praxis
Der zweite Teil befasst sich mit Fragen, die sich aus der praktischen Anwendung von Tellerfedern ergeben. Die Auswahl einer Feder geschieht am besten anhand der Tabellen in Kapitel 9.

4 Herstellung 23

5 Toleranzen 27

6 Anwendungen 30

7 Werkstoffe 35

8 Sonderausführungen 40

9 Maßtabellen 44

Sicherer Halt für Schrauben
durch unsere SCHNORR®-Sicherungs- und Spannscheiben.

10 Sicherungselemente für Schraubverbindungen 80

Anhang 87

Original SCHNORR® Tellerfedern – seit Jahrzehnten ein Begriff für höchste Qualität

Seit der Gründer unseres Unternehmens, Herr Adolf Schnorr, in den zwanziger Jahren Pionierarbeit bei der Entwicklung der Tellerfeder für die praktische Anwendung leistete, wurde das Produkt ständig weiterentwickelt und eine Vielzahl neuer Anwendungsgebiete wurden erschlossen.

Durch die kontinuierliche Verbesserung der Qualität der Produkte und Prozesse und die Erforschung vieler Problemfelder, haben wir uns eine weltweit führende Rolle auf dem Gebiet der Tellerfeder erarbeitet.

Diese zu festigen und auszubauen ist unser Ziel. Deshalb konzentrieren wir uns ausschließlich auf die Produktion von Tellerfedern und artverwandten Bauteilen sowie Sicherungsscheiben.

Neben einer hervorragenden Produktqualität wollen wir unsere Kunden durch erstklassigen Service überzeugen.

Dem Bereich Engineering kommt neben der Funktion als Hersteller eine steigende Bedeutung zu.

Das Schnorr Handbuch Tellerfedern dient dem Anwender seit 1942 als Referenz und Grundlage für die erste Auslegung.

Jedoch erfordert die steigende Komplexität der Anwendungen und die Entwicklung neuer Problemlösungen immer häufiger ein umfassendes Expertenwissen, welches über die Anwenderkenntnisse hinausgeht.

Für diese Fälle steht bei Schnorr ein erfahrenes Team von Ingenieuren und Technikern mit profunden Fachkenntnissen bereit, um unsere Kunden durch individuelle Beratung zu unterstützen, die Auslegung der Tellerfeder in kritischen Situationen vorzunehmen, neue Lösungen zu entwickeln und erforderliche Eignungsprüfungen zu definieren und durchzuführen.

Wir bedanken uns an dieser Stelle bei unseren Kunden, Lieferanten, den Technischen Universitäten Braunschweig und Darmstadt für die fruchtbare Zusammenarbeit, aus der bereits viele neue Ideen und Lösungen für besondere Anwendungsgebiete hervorgegangen sind.

Wir wollen auch in Zukunft noch viele neue Herausforderungen gemeinsam mit unseren Partnern bewältigen.

Es ist unser Ziel und unsere Motivation, mit qualitativ hochwertigen Produkten und erstklassigem Service einen Beitrag zum Erfolg unserer Kunden zu leisten. Das ist das Fundament, auf dem der Erfolg unseres Unternehmens steht.

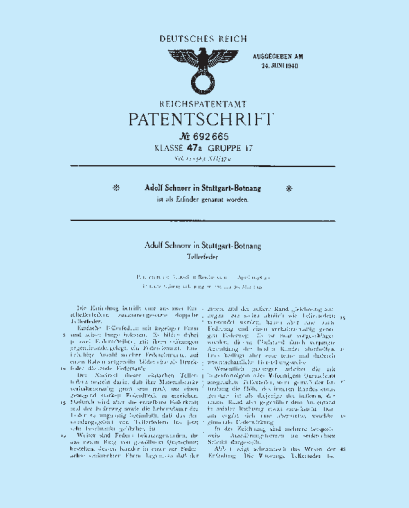
Dafür steht das gesamte Team der Adolf Schnorr GmbH + Co. KG

Andy Haunholter,
Geschäftsführer
der Adolf Schnorr GmbH + Co. KG

Unter einer Tellerfeder versteht man eine kegelige Ringschale, die in Achsrichtung belastbar ist und sowohl ruhend als auch schwingend beansprucht werden kann. Die Krafteinleitung erfolgt normalerweise über den oberen Innenrand und den unteren Außenrand.

Die Tellerfeder kann als Einzelfeder oder als Federsäule verwendet werden. In einer Säule können entweder einzelne Tellerfedern oder aus mehreren Federn bestehende Federpakete wechselsinnig geschichtet werden. Es gibt Tellerfedern mit und ohne Auflageflächen.

Aus der Geschichte der Tellerfeder



DEUTSCHES REICH

REICHSPATENTAMT

PATENTSCHRIFT

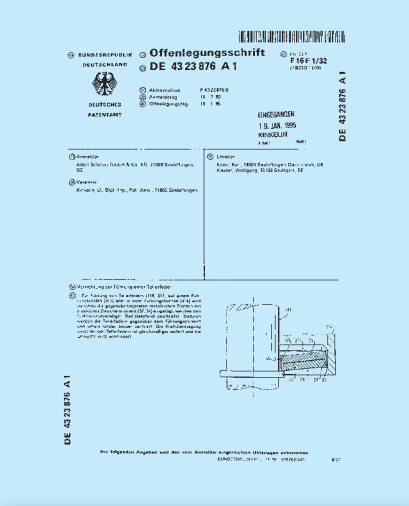
№ 692665

KLASSE 47a GRUPPE 17

Adolf Schnorr in Stuttgart-Botnang

Adolf Schnorr in Stuttgart-Botnang

Tellerfeder



Offenlegungsschrift

DE 43 23 876 A1

F16F 1/32

EINGEGANGEN

19. JAN. 1995

KÖNIGLICH

DE 43 23 876 A1

Wie die beiden Dokumente (oben von 1940, unten von 1995) belegen, war und ist das Haus SCHNORR maßgeblich an der Entwicklung der Tellerfeder beteiligt.

Obwohl die Tellerfeder erst in den letzten Jahrzehnten zu ihrer heutigen weiten Verbreitung gefunden hat, ist sie doch ein recht altes Maschinenelement. Ihr Erfinder ist nicht bekannt, aber schon vor mehr als 140 Jahren, nämlich am 26.12.1861, wurde einem Julien Francois Belleville aus Dünkirchen das französische Patent Nr. 52399 für eine Federanordnung erteilt, die bereits das Prinzip der Tellerfeder beinhaltete. Wir wissen nicht, welche Bedeutung diese Erfindung erlangt hat, aber dass heute noch in Frankreich und in den angelsächsischen Ländern von „Belleville-Federn“ gesprochen wird, lässt auf eine weite Verbreitung dieser oder ähnlicher Federn schließen. Heute bezeichnet man damit meist Tellerfedern von untergeordneter Qualität, was vielleicht ein Hinweis auf die sicher nicht immer befriedigende Ausführung und Funktion der damaligen Federn ist. Kein Wunder, wenn man bedenkt, dass im letzten Jahrhundert weder die theoretischen Vorraussetzungen zur Berechnung, noch die erforderlichen Werkstoffe zur Verfügung standen!

Erst im Jahre 1917 entwickelte Fr. Dubois in seiner Dissertation „Über die Festigkeit der Kegelschale“[1] an der ETH Zürich die der Berechnung der Tellerfeder zugrundeliegende Theorie. Es dauerte aber noch Jahrzehnte, bis diese in die Praxis Eingang fand. Lange noch wurden Tellerfedern – wenn überhaupt – nach der Theorie der ebenen gelochten Platte berechnet. Erst als die bei den Amerikaner J. O. Almen und A. László im Jahr 1936 eine vereinfachte Berechnungsmethode veröffentlichten[2], waren die Voraussetzungen für eine schnelle und praxisgerechte Berechnung der Tellerfeder geschaffen.

Inzwischen hatte die Tellerfeder auf verschiedenen Gebieten der Technik Eingang gefunden. Ausgehend von der Anwendung im Schnitt- und Stanzwerkzeugbau, wo die Tellerfeder durch die großen Variationsmöglichkeiten, die mit ein und derselben Federgröße möglich sind, besonders vorteilhaft ist, fanden sich rasch neue Anwendungen im Maschinen-, im Motoren- und im Fahrzeugbau.

Man mag es zwar bedauern, aber die technische Entwicklung wurde oft durch Kriege besonders vorangetrieben. Die Tellerfeder macht hier keine Ausnahme: ihre Verbreitung wurde durch den 2. Weltkrieg stark gefördert. Man nutzte z.B. ihre guten Dämpfungseigenschaften bei mehrfacher Parallelschichtung zur Abfederung von Geschützverschlüssen aus. Berechnungsmethoden und Werkstofftechnologie wurden weiterentwickelt. Nach dem Krieg waren dann die Voraussetzungen für die Einführung der Tellerfeder auf allen Gebieten der Technik geschaffen.

Adolf Schnorr, der im Jahre 1908 eine mechanische Werkstätte gegründet hatte, begann schon in den zwanziger Jahren mit der Tellerfeder zu experimentieren. Er brauchte hochwertige Federn für Präzisionswerkzeuge, mit denen er sich einen Namen gemacht hatte, und war nach langem Suchen auf die Tellerfeder gestoßen. Da er sie nirgends beschaffen konnte, machte er sich selbst an die Herstellung dieser Federn. Zunächst produzierte er nur für seinen eigenen Bedarf, aber schon Anfang der dreißiger Jahre war die Nachfrage so gestiegen, dass er sich entschloss, den Werkzeugbau für Kunden aufzugeben und sich ganz der Herstellung der „SCHNORR-Feder“ zu widmen. Seither werden in unserem Hause Tellerfedern hergestellt und in Zusammenarbeit mit unseren zahlreichen Kunden im In- und Ausland immer wieder neue Anwendungsgebiete erschlossen.

Eigenschaften der Tellerfeder

Die Tellerfeder hat im Vergleich mit anderen Federarten eine Reihe von vorteilhaften Eigenschaften, von denen vor allem die folgenden genannt seien:

1. Sie kann bei kleinem Einbauraum sehr große Kräfte aufnehmen.
2. Ihre Federkennlinie kann je nach den Maßverhältnissen linear oder degressiv sein und durch geeignete Anordnung auch progressiv gestaltet werden.
3. Durch die fast beliebige Kombinationsmöglichkeit von Einzeltellerfedern kann die Kennlinie bzw. die Säulenlänge innerhalb weiter Grenzen variiert werden.
4. Hohe Lebensdauer bei dynamischer Belastung, wenn die Feder richtig dimensioniert ist.
5. Es tritt keine unzulässige Relaxation auf, wenn die zulässigen Spannungen nicht überschritten werden.
6. Bei geeigneter Anordnung kann eine große Dämpfung erreicht werden.
7. Die Lagerhaltung wird minimiert, da die einzelnen Federgrößen universell kombinierbar sind.
8. Durch die rotationssymmetrische Form erfolgt die Kraftübertragung absolut konzentrisch.

Aufgrund dieser hervorragenden Eigenschaften hat die Tellerfeder in den letzten Jahrzehnten auf fast allen Gebieten der Technik Eingang gefunden.

Checkliste zur Tellerfederauslegung

Aufgrund der verhältnismäßig einfachen geometrischen Grundform wird die Komplexität der Herstellung und Anwendung von Tellerfedern oft unterschätzt. Bei der Auslegung können Fehler gemacht werden, die später zwangsläufig zu Fehlkonstruktionen oder sogar zum Versagen führen. Dann ist es sehr schwierig, bessere Ersatzlösungen zu finden, da man meist mit vorhandenen Einbauräumen zurechtkommen muss.

Bei richtiger Auslegung können diese Probleme jedoch leicht vermieden werden. Die Hauptschwierigkeit ist, sie schon in der Konstruktionsphase zu erkennen, um hier bereits eine optimale Tellerfederlösung entwerfen zu können.

Da die Tellerfeder nicht für jeden Konstrukteur zum täglichen Brot gehört und vielen die Regeln für die Auslegung von Tellerfedern wenig bekannt sind, fassen wir an dieser Stelle kurz die wichtigsten Gesichtspunkte zusammen, die bei der Auslegung von Tellerfedern zu beachten sind.

Federkraft

Die Berechnung der Federkräfte einer Tellerfeder stützt sich auf ein Modell von Almen und László. Ihre Genauigkeit im nutzbaren Bereich der Kennlinie ist sehr gut. Allerdings gibt es in der Praxis am Beginn der Einfederung eine Art Einschwingvorgang, der entsteht, weil Tellerfedern nie vollkommen symmetrisch sind. Sie werden zunächst quasi plangedrückt. Ebenso steigt die Federkraft im letzten Teil der Kennlinie in Wirklichkeit stärker an, wenn eine Feder zwischen zwei parallelen Flächen belastet wird, da sich aufgrund ihrer nie hundertprozentig ebenen Oberflächen Veränderungen des Hebelarmes ergeben (Abschnitt 1.7).

Statische Belastung

Wie bei allen anderen Federn ist bei der Auslegung einer neuen Tellerfeder zu beachten, dass bei statischer Belastung ein bestimmtes Spannungsniveau nicht überschritten werden darf. Die maximal zulässige Grenze wird durch die Vergleichsspannung σ_{om} angezeigt. Ihr Wert sollte nicht größer werden als der Wert der Zugfestigkeit R_m des Werkstoffes, um plastische Verformungen, z.B. ein Setzen der Feder zu vermeiden (Abschnitt 2.1).

Dynamische Belastung

Die meisten Tellerfedern können nur begrenzte dynamische Belastung ertragen. Hier sind sowohl die Lastspanne als auch das Lastniveau von Bedeutung (Abschnitt 2.2). Die zu erwartende Lebensdauer einer Tellerfeder unter einer vorgegebenen Lastsituation kann anhand von Schaubildern abgeschätzt werden (Abschnitt 2.2 sowie Diagrammteil). Zudem ist es erforderlich, Tellerfedern auf mindestens 15% bis 20% ihres möglichen Federweges vorzuspannen, damit Zug-/Druck-Wechselspannungen in der Feder bei Beginn der Einfederung vermieden werden (Abschnitt 2.2).

Schichtung

Tellerfedern können gegensinnig geschichtet werden (Reihenschaltung), dann addieren sich ihre Federwege, oder sie können parallel geschichtet werden (Parallelschaltung), dann addieren sich ihre Federkräfte (Kap. 3). Letzteres führt zu erhöhter Reibung und zu einem verstärkten Hystereseeffekt (Abschnitt 6.5). Die tatsächliche Federkraft liegt durch diesen Effekt bei Belastung höher, bei Entlastung niedriger als die rechnerische Federkraft. Durch geeignete Schmierung (molybdändisulfidhaltiges Fett) kann der Hystereseeffekt verringert werden. Die Schichtungsmöglichkeiten können beliebig kombiniert werden, wobei verschiedene Parallelschichtungen innerhalb einer Federsäule zur Erzeugung einer progressiven Federkennlinie herangezogen werden können. Hierbei ist zu beachten, dass die schwächeren Anordnungen in einer kombinierten Federsäule im allgemeinen flachgedrückt werden, was bei dynamischer Belastung unzulässig ist. Gegebenenfalls sind geeignete Hubbegrenzungen vorzusehen.

Führung

Die Oberflächen von Führungsteilen müssen immer härter als die Tellerfedern sein, wobei eine Oberflächenhärte von min. 55 HRC zu empfehlen ist. Andernfalls kann es zu Beschädigungen der Führungsflächen kommen, die zu ungleichmäßigem Einfedern führen. Dies führt zu einer veränderten Federcharakteristik und kann Dauerbrüche zur Folge haben (Abschnitt 6.4). Auch falsches Führungsspiel kann die Dynamik bei der Einfederung schädlich verändern (Abschnitt 6.3).

Länge der Federsäule

Reibung und andere Einflüsse haben zur Folge, dass sich eine Federsäule beim Einfedern nie ganz gleichmäßig verhält, sie federt auf der Krafteinleitungsseite stärker ein. Dieser Effekt ist bei einer „normalen" Federsäule im allgemeinen vernachlässigbar, kommt aber besonders bei langen Federsäulen zum Tragen. Daher sollte die ungespannte Länge einer Federsäule den dreifachen Wert ihres Außendurchmessers nicht überschreiten. Ist sie dennoch deutlich länger, kann eine Stabilisierung durch Unterteilung der Säule mittels Führungsscheiben er-

zielt werden, deren Dicke als Faustregel wenigstens den eineinhalbfachen Wert des Führungsdurchmessers haben sollte (Abschnitt 6.1).

Werkstoffe
Der beste Werkstoff für die Tellerfeder hinsichtlich der reinen Funktion als Feder ist der Standardwerkstoff. Er wird grundsätzlich verwendet, solange keine besonderen Verhältnisse den Konstrukteur zwingen, auf Sonderwerkstoffe auszuweichen. Sonderwerkstoffe haben im allgemeinen niedrigere Festigkeiten und meist einen anderen Elastizitätsmodul als die Standardwerkstoffe. Daher lassen sich bei Tellerfedern aus diesen Werkstoffen sehr oft nicht die gleichen Bauhöhen realisieren wie bei Standardfedern, was im Klartext heißt, dass die Federkräfte meistens etwas niedriger sind (Kap. 7).

Temperatur
Die verschiedenen Werkstoffe können nur in jeweils begrenzten Temperaturbereichen eingesetzt werden. Bei zu hohen Temperaturen entstehen Verluste in der Festigkeit des Werkstoffes, die zum Verlust von Federkraft und im Extremfall zu plastischer Verformung (Setzen) führen können (Einsatztemperaturen-Tabelle Abschnitt 7.4).

Korrosion
Zum Schutz vor Korrosion können Tellerfedern entweder mit geeigneten Beschichtungen versehen werden oder man verwendet korrosionsbeständige Werkstoffe. Hier ist zu beachten, dass die meisten Werkstoffe nur in einer begrenzten Palette von Materialstärken lieferbar sind (Tabelle Abschnitt 7.4). Außerdem neigen höherlegierte Stähle in bestimmten Medien fast immer zu Spannungsrisskorrosion. Dieser Effekt wird maßgeblich ausgelöst durch die bei der Einfederung auftretenden Spannungen.

Wasserstoffversprödung
Bei Anwendung bestimmter chemischer oder elektrochemischer Verfahren (z.B. galvanische Beschichtung) kann Wasserstoff in das Material gelangen und zu verzögertem Sprödbruch führen. Dies ist auch durch thermische Nachbehandlungen nicht vollständig auszuschließen. Daher sind Verfahren, die diese Gefahr nicht bergen, im Normallfall immer vorzuziehen.

Falls wir Ihnen bei der Auslegung von Tellerfedern behilflich sein können, faxen Sie uns den Fragebogen zur Auslegung von Tellerfedern (siehe letzte Seite) ausgefüllt zu.

Normen über Tellerfedern

Für Tellerfedern gibt es die beiden Normen

- **DIN 2092 Tellerfedern, Berechnung**

und

- **DIN 2093 Tellerfedern, Maße, Qualitätsforderungen.**

Diese Normen bilden die Grundlage unserer Fertigung und liegen auch dem vorliegenden SCHNORR®-Handbuch für Tellerfedern zugrunde.

Das in DIN 2092 genormte Berechnungsverfahren geht auf eine Arbeit von J. O. Almen und A. László[2] zurück und hat sich seit vielen Jahren in der Praxis bewährt. Es wurde in den letzten Jahren modifiziert, um auch Tellerfedern mit Auflageflächen einzubeziehen.

Die DIN 2093 enthält drei Maßreihen für Tellerfedern, die sich in den Verhältnissen Außendurchmesser/Dicke und lichte Höhe/Dicke unterscheiden. Außerdem enthält die Norm weitgehende Qualitätsforderungen für Ausführung, Grenzabmaße, Werkstoff, zulässige Spannungen, zulässiges Nachsetzen, Führungsspiel und Prüfung von Tellerfedern. Näheres über diese Festlegungen finden Sie in den Kapiteln 2 und 4 bis 7.

Das SCHNORR®-Lieferprogramm

Neben den in DIN 2093 enthaltenen Abmessungen fertigen wir eine Vielzahl weiterer Federgrößen nach unserer Werksnorm, für die wir ebenfalls die Gütevorschriften der DIN 2093 anwenden. Dazu gehören auch die Federn der Reihe „Z" mit Zoll-Maßen. Die Federn der Reihe „K" sind zum Spielausgleich bei Kugellagern vorgesehen und speziell auf diesen Verwendungszweck abgestimmt. Die technischen Daten aller dieser Federn aus normalem Federstahl finden Sie in den Tabellen im Kapitel 9.

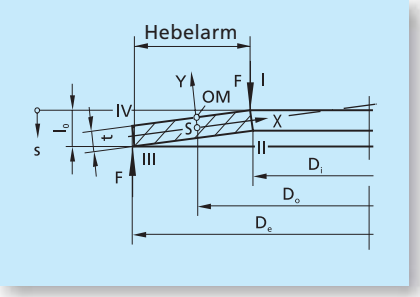
Darüber hinaus stellen wir Tellerfedern in vielen Sondergrößen von 3 bis über 1000 mm Durchmesser und Dicken bis 80 mm aus Federstählen und allen technisch möglichen Sonderwerkstoffen her. Solche Federn bieten den Vorteil, optimal den jeweiligen Anforderungen angepasst werden zu können. In jedem Einzelfall muss allerdings die Möglichkeit der Fertigung überprüft werden. Die Entscheidung über die Fertigung von Sonderfedern müssen wir uns vorbehalten.

Wir empfehlen Ihnen, sich schon im Entwurfsstadium an unseren Technischen Beratungsdienst zu wenden. Wir stellen Ihnen gern unser Wissen, unsere Erfahrung und unsere Hilfsmittel zur Berechnung und Konstruktion von Tellerfedern zur Verfügung!

Durch ihre Eigenschaften ist die Tellerfeder auch hervorragend als Schraubensicherung geeignet. Für diesen Zweck haben wir unsere Original SCHNORR® Sicherungsscheiben entwickelt, die wie die Spannscheiben nach DIN 6796 im Kapitel 10 näher beschrieben sind.

Tellerfedern aus dem SCHNORR®-Programm

Darstellung einer Tellerfeder



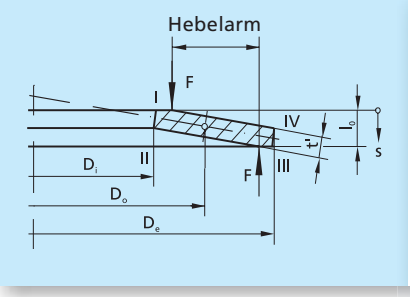
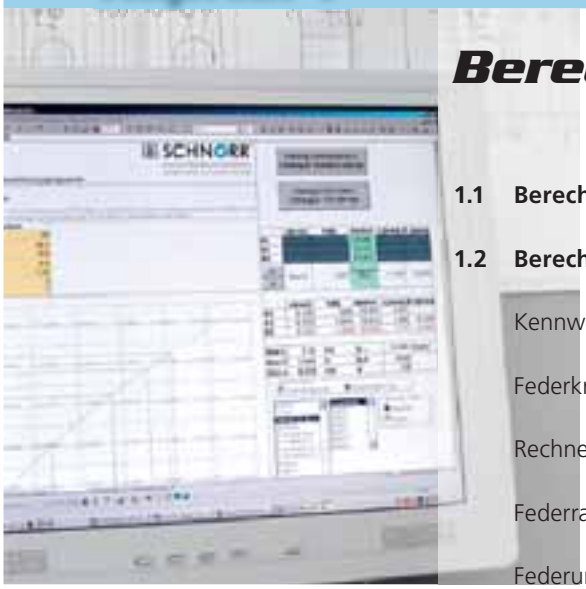


Abbildung 1
Einzeltellerfeder, Querschnitt und Lage der maßgebenden Punkte

links
ohne Auflageflächen
rechts
mit Auflageflächen

Formelzeichen	Einheit	Benennung
D_e	mm	Außendurchmesser
D_i	mm	Innendurchmesser
D_w	mm	Durchmesser an der Zungenwurzel bei geschlitzten Tellerfedern
D_0	mm	Durchmesser des Stülpmittelpunktkreises
E	N/mm²	Elastizitätsmodul
F	N	Federkraft des Einzeltellers
F_1, F_2, F_3	N	Federkräfte, zugeordnet den Federwegen s_1, s_2, s_3
F_c	N	Errechnete Federkraft des plattgedrückten Einzeltellers
F_{ges}	N	Federkraft eines Federpaketes bzw. einer Federsäule
Δ F	N	Kraftabfall durch Relaxation
K_1,K_2,K_3,K_4		Kennwerte zur Berechnung (siehe Kapitel 1)
L_0	mm	Länge der unbelasteten Federsäule oder des unbelasteten Federpaketes
L_1, L_2, L_3	mm	Längen der belasteten Federsäule oder des belasteten Federpaketes, zugeordnet den Federkräften F_1, F_2, F_3
L_c	mm	Errechnete Länge der Federsäule oder des Federpaketes im plattgedrückten Zustand
N		Anzahl der Lastspiele bis zum Bruch
R	N/mm	Federrate
W	Nmm	Federungsarbeit
h_0	mm	Lichte Höhe am unbelasteten Einzelteller (Rechengröße, $h_0 = l_0 - t$)
h_0'	mm	Lichte Höhe am unbelasteten Einzelteller mit reduzierter Dicke t' (und Auflageflächen) (Rechengröße, $h_0' = l_0 - t'$)
i		Anzahl der wechselsinnig zu einer Säule aneinandergereihten Einzelteller oder Federpakete
l_0	mm	Bauhöhe des unbelasteten Einzeltellers
n		Anzahl der gleichsinnig zu einem Paket geschichteten Einzelteller
s	mm	Federweg der Einzeltellerfeder
s_1, s_2, s_3	mm	Federwege, zugeordnet den Federkräften F_1, F_2, F_3
s_{ges}	mm	Federweg der Federsäule oder des Federpaketes
t	mm	Dicke des Einzeltellers
t'	mm	Reduzierte Dicke des Einzeltellers bei Tellerfedern mit Auflageflächen (Gruppe 3)
w_M, w_R		Reibungsfaktoren
$\delta = D_e/D_i$		Durchmesserverhältnis
μ		Poisson-Zahl (für Federstahl = 0,3)
σ	N/mm²	Rechnerische Spannung
σ_{OM}, σ_I, σ_{II},	N/mm²	Rechnerische Spannungen an den Stellen
σ_{III}, σ_{IV}		OM, I, II, III und IV nach Abb. 1
σ_o	N/mm²	Rechnerische Oberspannung bei Tellerfedern mit Schwingbeanspruchung
σ_u	N/mm²	Rechnerische Unterspannung bei Tellerfedern mit Schwingbeanspruchung
σ_h	N/mm²	Hubspannung, zugeordnet dem Arbeitsweg bei Tellerfedern mit Schwingbeanspruchung
σ_O	N/mm²	Oberspannung der Dauerschwingfestigkeit
σ_U	N/mm²	Unterspannung der Dauerschwingfestigkeit
$\sigma_H = \sigma_O - \sigma_U$	N/mm²	Dauerhubfestigkeit

Kapitel 1



Berechnungsgrundlagen

1.1 Berechnung der Einzeltellerfeder 10

1.2 Berechnungsgleichungen 10

Kennwerte 10

Federkraft 10

Rechnerische Spannungen 11

Federrate 11

Federungsarbeit 11

1.3 Tellerfedern ohne Auflageflächen 12

1.4 Tellerfedern mit Auflageflächen und reduzierter Tellerdicke 12

1.5 Tellerfedern aus Sonderwerkstoffen 13

1.6 Hinweis zur Dimensionierung und Berechnung 13

1.7 Kennlinie von Einzeltellerfedern 13

1.8 Berechnungsbeispiele 14

1.9 SCHNORR®-Tellerfeder-Berechnungsprogramm 17

1.1 Berechnung der Einzeltellerfeder

Bei dem auf Almen und László zurückgehenden Berechnungsverfahren wird angenommen, dass sich der Federquerschnitt bei der Einfederung um den sog. Stülpmittelpunkt dreht. Dieser liegt in der Mitte des Federquerschnitts auf dem Stülpmittelpunktkreis D_0.

Gleichung 1

$$D_0 = \frac{D_e - D_i}{\ln D_e / D_i}$$

Diese Drehung führt zu einem Stülpspannungszustand, dem sich der aus der Einfederung herrührende Biegespannungszustand überlagert.

Es werden folgende Annahmen zugrunde gelegt: Es gilt das Hooke'sche Gesetz, d.h. der Werkstoff ist linear elastisch. Der Federquerschnitt ist rechteckig mit scharfen Kanten und bleibt auch bei der Einfederung in sich eben. Die Krafteinleitung erfolgt über die Stellen I und III. Eigenspannungen, die durch die Fertigung und Wärmebehandlung hervorgerufen werden, bleiben unberücksichtigt.

Obwohl heute genauere Methoden zur Verfügung stehen[10] [12] [13], besteht kein Anlass, von dem relativ einfachen, mit handlichen Formeln arbeitenden Verfahren der DIN 2092 abzuweichen. Für übliche Maßverhältnisse liefert es Ergebnisse, die mit gemessenen Werten gut übereinstimmen.

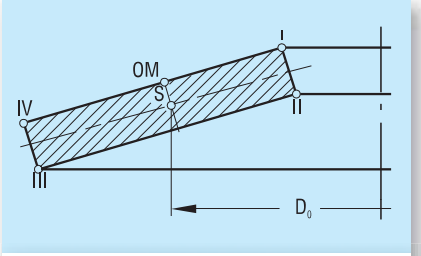


Abbildung 2
Lage des Stülpmittelpunktes und der Stelle OM

1.2 Berechnungsgleichungen

Die folgenden Gleichungen gelten für alle Tellerfedern.

Kennwerte

Gleichung 2

$$\delta = D_e / D_i$$

Gleichung 3

$$K_1 = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\left(\frac{\delta - 1}{\delta}\right)^2}{\frac{\delta + 1}{\delta - 1} - \frac{2}{\ln \delta}}$$

Gleichung 4

$$K_2 = \frac{6}{\pi} \cdot \frac{\frac{\delta - 1}{\ln \delta} - 1}{\ln \delta}$$

Gleichung 5

$$K_3 = \frac{3}{\pi} \cdot \frac{\delta - 1}{\ln \delta}$$

Gleichung 6

$$K_4 = \sqrt{-\frac{C_1}{2} + \sqrt{\left(\frac{C_1}{2}\right)^2 + C_2}}$$

$$C_1 = \frac{\left(\frac{t'}{t}\right)^2}{\left(\frac{1}{4} \cdot \frac{l_0}{t} - \frac{t'}{t} + \frac{3}{4}\right)\left(\frac{5}{8} \cdot \frac{l_0}{t} - \frac{t'}{t} + \frac{3}{8}\right)}$$

$$C_2 = \frac{C_1}{\left(\frac{t'}{t}\right)^3}\left[\frac{5}{32}\left(\frac{l_0}{t} - 1\right)^2 + 1\right]$$

Federkraft

Gleichung 7

$$F = \frac{4E}{1 - \mu^2} \cdot \frac{t^4}{K_1 \cdot D_e^2} \cdot K_4^2 \cdot \frac{s}{t}\left[K_4^2 \cdot \left(\frac{h_0}{t} - \frac{s}{t}\right)\left(\frac{h_0}{t} - \frac{s}{2t}\right) + 1\right]$$

Für Tellerfedern der Fertigungsgruppen 1 und 2 (Kapitel 4) wird $K_4 = 1$:

Gleichung 8a

$$F = \frac{4E}{1 - \mu^2} \cdot \frac{t^4}{K_1 \cdot D_e^2} \cdot \frac{s}{t}\left[\left(\frac{h_0}{t} - \frac{s}{t}\right)\left(\frac{h_0}{t} - \frac{s}{2t}\right) + 1\right]$$

Für Tellerfedern der Fertigungsgruppe 3 mit Auflageflächen und reduzierter Dicke t' muss in allen Berechnungsgleichungen t durch t' und h_0 durch $h_0' = l_0 - t'$ ersetzt werden:

Gleichung 8b

$$F = \frac{4E}{1 - \mu^2} \cdot \frac{t'^4}{K_1 \cdot D_e^2} K_4^2 \cdot \frac{s}{t'}\left[K_4^2\left(\frac{h_0'}{t'} - \frac{s}{t'}\right)\left(\frac{h_0'}{t'} - \frac{s}{2t'}\right) + 1\right]$$

Der Elastizitätsmodul ist praktisch unabhängig vom Vergütungszustand und der Festigkeit des Werkstoffes.

Für Federn aus Stahl mit Maßverhältnissen in Anlehnung an DIN 2093 liefern diese Gleichungen Werte, die gut mit den Messwerten übereinstimmen. Einschränkungen und Grenzen sind in Kapitel 1 näher erläutert.

Die Federkraft einer Tellerfeder steigt nicht linear mit dem Federweg an, sondern ist stets degressiv gekrümmt; ihre Steigung, d.h. die Federrate, nimmt mit zunehmender Einfederung ab. Der Grad der Krümmung wird ausschließlich durch das Verhältnis h_0/t bestimmt, wie aus Abb. 3 hervorgeht. Sehen Sie dazu bitte auch Kapitel 1.

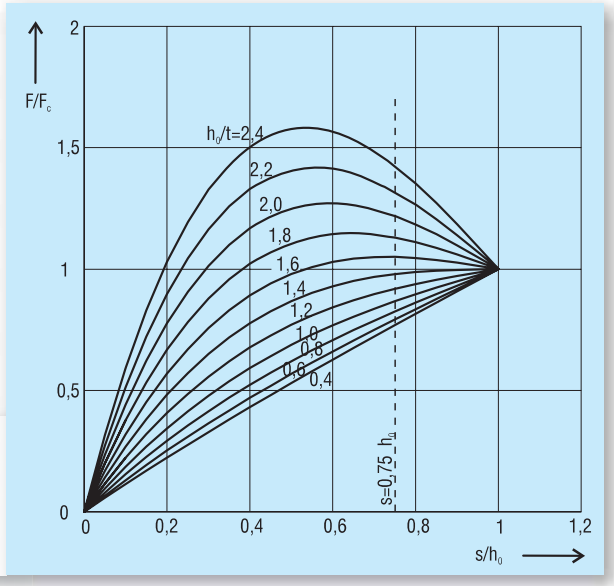


Abbildung 3
Kennlinienverlauf in Abhängigkeit von h_o/t und s/h_o

Rechnerische Spannung

Gleichung 9

$$\sigma_{OM} = -\frac{4E}{1-\mu^2} \cdot \frac{t^2}{K_1 \cdot D_e^2} \cdot K_4 \cdot \frac{s}{t} \cdot \frac{3}{\pi}$$

Gleichung 10

$$\sigma_I = -\frac{4E}{1-\mu^2} \cdot \frac{t^2}{K_1 \cdot D_e^2} \cdot K_4 \cdot \frac{s}{t}\left[K_4 \cdot K_2\left(\frac{h_0}{t} - \frac{s}{2t}\right) + K_3\right]$$

Gleichung 11

$$\sigma_{II} = -\frac{4E}{1-\mu^2} \cdot \frac{t^2}{K_1 \cdot D_e^2} \cdot K_4 \cdot \frac{s}{t}\left[K_4 \cdot K_2\left(\frac{h_0}{t} - \frac{s}{2t}\right) - K_3\right]$$

Gleichung 12

$$\sigma_{III} = -\frac{4E}{1-\mu^2} \cdot \frac{t^2}{K_1 \cdot D_e^2} \cdot K_4 \cdot \frac{1}{\delta} \cdot \frac{s}{t}\left[K_4 \cdot (K_2 - 2K_3) \cdot \left(\frac{h_0}{t} - \frac{s}{2t}\right) - K_3\right]$$

Gleichung 13

$$\sigma_{IV} = -\frac{4E}{1-\mu^2} \cdot \frac{t^2}{K_1 \cdot D_e^2} \cdot K_4 \cdot \frac{1}{\delta} \cdot \frac{s}{t}\left[K_4 \cdot (K_2 - 2K_3) \cdot \left(\frac{h_0}{t} - \frac{s}{2t}\right) + K_3\right]$$

Auch hier gilt für Federstahl:

$$\frac{4E}{1-\mu^2} = 905\,495\ \mathrm{N/mm^2}$$

Positive Werte sind Zugspannungen, negative Werte sind Druckspannungen. Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich bei den rechnerisch ermittelten Spannungen um Nominalwerte handelt. Die real vorhandenen Spannungen liegen bedeutend niedriger, da sie durch die immer vorhandenen Eigenspannungen wesentlich beeinflusst werden.

Federrate

Durch Differentiation der Federkraft F nach dem Federweg s erhält man folgende Gleichung für die Federrate R:

Gleichung 14

$$R = \frac{d_F}{d_S} = \frac{4E}{1-\mu^2} \cdot \frac{t^3}{K_1 \cdot D_e^2} \cdot K_4^2 \cdot \left[K_4^2\left\{\left(\frac{h_0}{t}\right)^2 - 3 \cdot \frac{h_0}{t} \cdot \frac{s}{t} + \frac{3}{2}\left(\frac{s}{t}\right)^2\right\} + 1\right]$$

Für zwei benachbarte Punkte F_1, s_1 und F_2, s_2 kann die Federrate überschlägig durch folgende einfache Beziehung berechnet werden:

Gleichung 15

$$R = \frac{F_2 - F_1}{s_2 - s_1}$$

Federungsarbeit

Die Federungsarbeit erhält man durch Integration der Federkraft F nach dem Federweg s von Gleichung 7:
Für einen bestimmten Arbeitsbereich kann zwischen zwei Federwegen s_1 und s_2 integriert werden.

Gleichung 16

$$W = \int_0^S F \cdot d_S = \frac{2E}{1-\mu^2} \cdot \frac{t^5}{K_1 \cdot D_e^2} \cdot K_4^2 \cdot \left(\frac{s}{t}\right)^2 \cdot \left[K_4^2 \cdot \left(\frac{h_0}{t} - \frac{s}{2t}\right)^2 + 1\right]$$

1.3 Tellerfedern ohne Auflageflächen

Für Tellerfedern ohne Auflageflächen wird $K_4 = 1$ und $h_0 = l_0 - t$. Dies trifft für alle Federn der Fertigungsgruppen 1 und 2 zu (Kapitel 2), also mit einer Dicke bis 6 mm.

Durch den Rechteckquerschnitt mit gerundeten Kanten, wie er für die Federn der Gruppen 1 und 2 vorgeschrieben ist, geschieht die Krafteinleitung in der Praxis immer über geringfügig verkürzte Hebelarme (Abbildung 4). Durch die h/H-Toleranzen für Außen- und Innendurchmesser werden die Hebelarme noch weiter verkürzt. Dies führt bei praktisch allen Federn zu einer Erhöhung der Federkraft um den Faktor $\frac{D_e - D_i}{D_e' - D_i'}$ gegenüber dem nach Gleichung 7 berechneten Wert.

Diesem Umstand trägt die DIN 2093 dadurch Rechnung, dass die Dickentoleranzen nach der Minus-Seite deutlich größer sind als nach der Plus-Seite. Wir fertigen deshalb sämtliche Federn mit geringfügig reduzierter Tellerdicke. Die Hebelarmverkürzung ist auch eine Erklärung dafür, dass die zulässigen Abweichungen für die Federkraft bei Gruppe 1 und 2 nach der Plus-Seite wesentlich größer sind als nach der Minus-Seite.

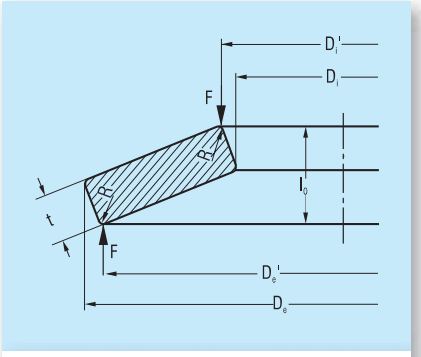


Abbildung 4
Querschnitt einer Tellerfeder der Gruppe 2

1.4 Tellerfedern mit Auflageflächen und reduzierter Tellerdicke

Für Tellerfedern mit über 6 mm Dicke sind nach DIN 2093 außer der Kantenrundung kleine Auflageflächen an den Stellen I und III vorgeschrieben. Abb. 5 zeigt schematisch den Querschnitt einer Feder der Gruppe 3 nach DIN 2093. Auch die entsprechenden Federn unserer Werksnorm werden so gefertigt.

Durch diese Auflageflächen wird der Punkt der Krafteinleitung besser definiert und insbesondere bei Federsäulen die Reibung an den Führungselementen vermindert. Die Folge ist eine beträchtliche Hebelarmverkürzung und eine dementsprechende Erhöhung der Federkraft. Diese wird wieder ausgeglichen durch die Reduzierung der Tellerdicke von t auf t'.

Zur Berechnung von Tellerfedern mit Auflageflächen und reduzierter Dicke muss der Faktor K_4 nach Gleichung 6 berechnet werden; in den Gleichungen 7 bis 16 muss t durch t' und h_0 durch $h_0' = l_0 - t'$ ersetzt werden. In den Tabellen im Abschnitt 9.2 ist die Kraft für den Federweg $s = h_0$ angegeben, bei dem eine Feder mit reduzierter Dicke noch nicht völlig plangedrückt ist.

Die reduzierte Dicke t' wird nach folgenden Bedingungen festgelegt:

- die Bauhöhe l_0 bleibt unverändert
- die Breite der Auflagefläche soll etwa 1/150 des Außendurchmessers betragen
- die Federkraft der reduzierten Feder muss bei $s = 0{,}75\ h_0$ gleich sein wie bei der nicht reduzierten Feder.

Für die in DIN 2093 enthaltenen Tellerfedern ist das Maß t' vorgeschrieben. Der Faktor t'/t beträgt im Mittel:

Reihe	A	B	C
t'/t	0,94	0,94	0,96

Für andere Federn kann t'/t in Abhängigkeit von den Maßverhältnissen δ und h_0/t aus Abb. 6 entnommen werden.

Die Kurven wurden für Tellerfedern mit einer Spannung $\sigma_{OM} = -1600\ N/mm^2$ errechnet. Für Federn mit davon abweichender Spannung wenden Sie sich bitte an unseren Technischen Verkauf.

Da die Bauhöhe nicht verändert wird, haben Federn mit reduzierter Dicke zwangsläufig einen größeren Prägewinkel und eine größere lichte Höhe h_0' als Federn gleichen Nennmaßes ohne Reduzierung. Dadurch wird der Kennlinienverlauf verändert, die Kennlinie ist stärker gekrümmt. Abb. 7 zeigt die Kennlinien von Federn der Reihen A, B und C nach DIN 2093 mit und ohne Auflageflächen und Dickenreduzierung.

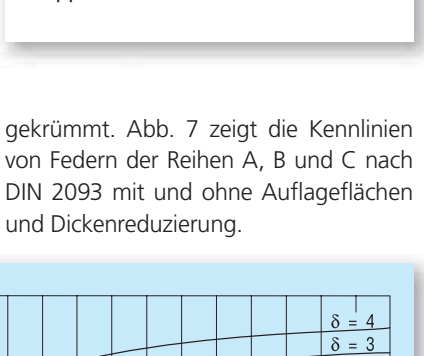


Abbildung 5
Querschnitt einer Tellerfeder der Gruppe 3

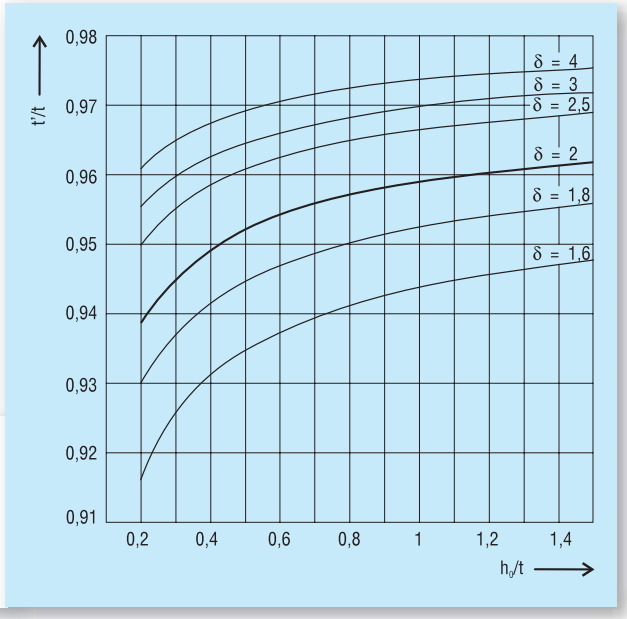


Abbildung 6
Faktor t'/t für Tellerfedern mit
$\sigma_{OM} = -1600\ N/mm^2$

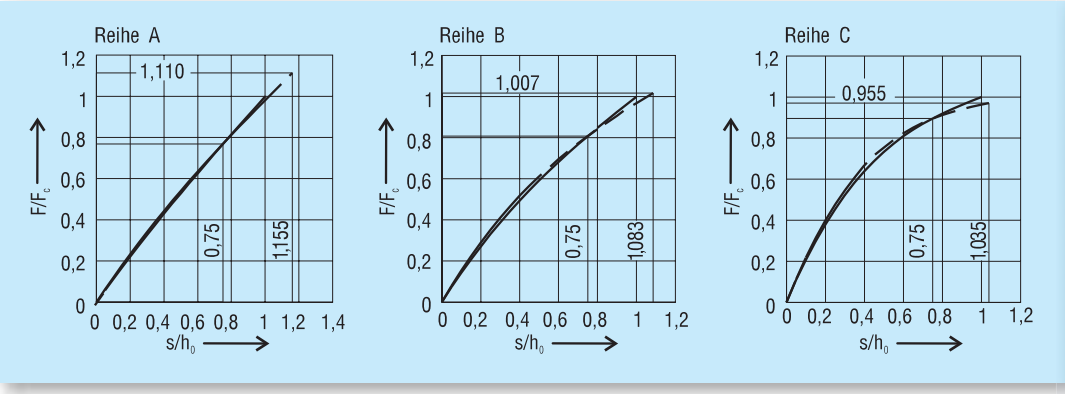


Abbildung 7
Rechnerische Kennlinien für Tellerfedern mit und ohne Auflageflächen.
F_c gilt für die Feder ohne Auflageflächen (ausgezogene Kurve).

1.5 Tellerfedern aus Sonderwerkstoffen

Bei der Verwendung von Sonderwerkstoffen mit abweichenden E-Modulen und Poissonzahlen μ wird empfohlen, zwar den entsprechenden E-Modul zu verwenden, aber den Wert 0,91 für $1–\mu^2$ beizubehalten. Dies wird damit begründet, dass Gleichung 7 für Stahl mit E = 206 000 N/mm² und μ = 0,3 etwa 8 bis 9% zu hohe Kräfte liefert, die jedoch durch die radien- und querschnittbedingte Hebelarmverkürzung in etwa wieder ausgeglichen werden. Bei anderen Werkstoffen gilt dies jedoch nicht mehr[13].

1.6 Hinweis zur Dimensionierung und Berechnung

Tellerfedern werden im wesentlichen durch folgende drei Maßverhältnisse bestimmt:

$$\delta = \frac{\text{Außendurchmesser } D_e}{\text{Innendurchmesser } D_i}$$

$$h_0/t = \frac{\text{lichte Höhe } l_0 - t}{\text{Tellerdicke } t}$$

$$D_e/t = \frac{\text{Außendurchmesser } D_e}{\text{Tellerdicke } t}$$

Diese Maßverhältnisse sollen nach Möglichkeit innerhalb folgender Bereiche liegen:

δ = 1,75…2,5
h_0/t = 0,4…1,3
D_e/t = 16…40

Bei kleineren Werten δ gelten auch die kleineren Werte für h_0/t und D_e/t und umgekehrt.

Für Federn aus Stahl mit Maßverhältnissen innerhalb dieser Grenzen kann Gleichung 7 ohne Einschränkung angewendet werden. Für sehr dünne Tellerfedern ($D_e/t > 50$) ergibt die Gleichung für die Federkraft zu hohe Werte.

Bei sehr schmalen Tellerfedern mit einem Durchmesserverhältnis $D_e/D_i < 1{,}75$ muss bei der Kraftberechnung die Hebelarmverkürzung berücksichtigt werden, die durch die Rechteckform des Querschnitts und durch die Kantenrundung entsteht (Kapitel 1), da sonst zu niedrige Kräfte errechnet werden. In solchen Fällen empfehlen wir Rücksprache mit uns.

1.7 Kennlinie von Einzeltellerfedern

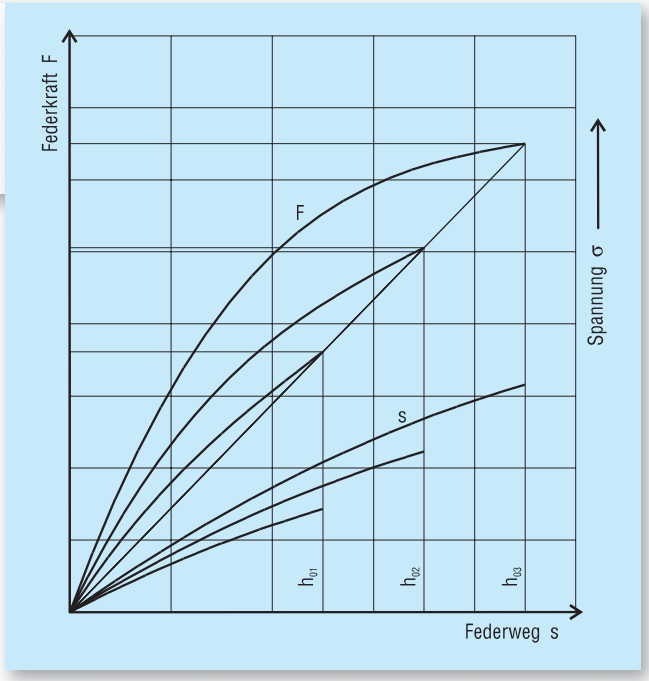
Das Verhältnis h_0/t ist kennzeichnend für die Krümmung der Federkennlinie (Abb. 3). Bei $h_0/t < 0{,}4$ ist die Kennlinie nahezu linear, mit steigendem Verhältnis h_0/t nimmt die Degressivität zu. Bei $h_0/t = \sqrt{2}$ hat die Kennlinie einen annähernd waagrechten Kurventeil (sie hat bei $s = h_0$ eine waagrechte Tangente). Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, Federn mit fast waagrechter Kennlinie zu entwickeln, bei denen die Kraft trotz zunehmender Einfederung nur wenig ansteigt. Für längere Federsäulen sind solche Federn mit $h_0/t \geq 1{,}3$ allerdings nicht geeignet, da einzelne Federn innerhalb der Säule ungleichmäßig einfedern können und dadurch überlastet werden. Solche Federn sollten deshalb nur als Einzelfedern zur Anwendung kommen.

Aus der Abhängigkeit der Kennlinienkrümmung vom Verhältnis h_0/t ergibt sich, dass sich die Kennlinie von Tellerfedern gleicher Abmessung ändert, wenn diese verschieden hoch geprägt werden. Umgekehrt wird bei gleicher Höhe h_0 ein dünner Teller eine größere Krümmung der Kennlinie aufweisen als ein dicker Teller (Abb. 8).

Die Federkraft der flachgedrückten Tellerfeder steigt dagegen linear an. Bringt z.B. eine Federberechnung noch kein befriedigendes Ergebnis, so kann als erster Schritt schon eine Änderung der freien Höhe h_0 das gewünschte Kennlinienbild bringen. Dabei müssen allerdings die zulässigen Spannungen beachtet werden, da die Spannungen mit zunehmender Höhe h_0 ansteigen.

Bei $h_0/t = \sqrt{2}$ h durchläuft die Federkraft ein Maximum und fällt danach wieder ab. In manchen Fällen wird der abfallende Kennlinienteil ausgenutzt. Dazu muss die Feder u.U. über die Flachlage hinaus belastet werden, wofür bestimmte konstruktive Voraussetzungen gegeben sein müssen (Abb. 9).

Abbildung 8
Kennlinien eines Einzeltellers bei verschiedener Höhe h_0



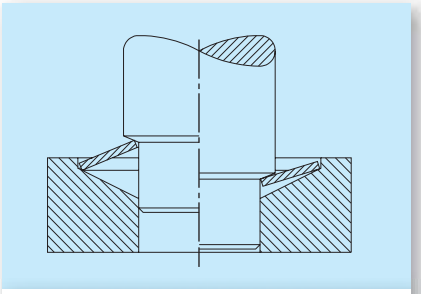
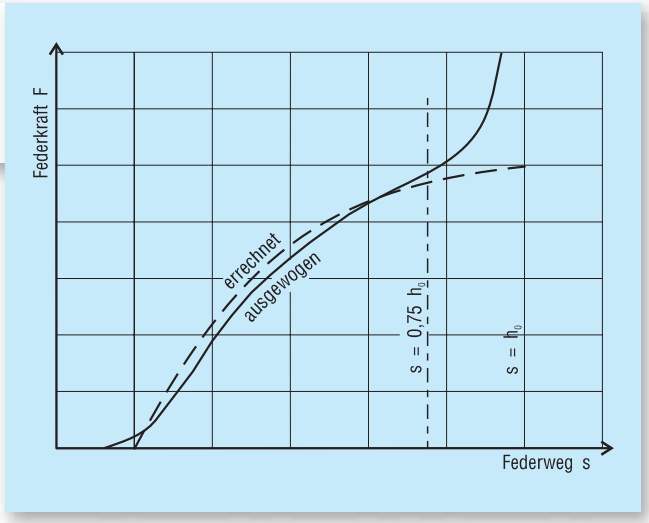


Abbildung 9
Über die Flachlage hinaus belastete Tellerfeder

Abbildung 10
Rechnerische und ausgewogene Kennlinie



Bei üblicher Anordnung von Tellerfedern tritt bei Federwegen $s > 0{,}75\ h_0$ abweichend von der Rechnung ein progressiver Anstieg der Federkraft ein. Dieser entsteht durch die Verschiebung der Kraftangriffspunkte zu kleineren Hebelarmen, weil sich die Tellerfedern aufeinander bzw. auf der Anlagefläche abwälzen. Es wird deshalb empfohlen, den zur Verfügung stehenden Federweg nur bis zu ca. 75 bis 80% auszunutzen. In DIN 2093 werden aus diesem Grund die Federkräfte nur bei $s \approx 0{,}75\ h_0$ angegeben (Abb. 10).

1.8 Berechnungsbeispiele

Im Handbuchteil „Diagramme" sind für alle Federn unseres Standardprogramms die Kennlinien enthalten. Die zugehörigen Lebensdauerlinien erlauben auch die Beurteilung der Lebensdauer für beliebige Arbeitshübe. Trotzdem soll an einigen Beispielen die Überprüfung und Nachrechnung von Tellerfedern gezeigt werden.

Beispiel 1: Überprüfung einer Tellerfeder auf Dauerfestigkeit

Gegeben:

Tellerfeder 45 x 22,4 x 1,75; $l_0 = 3{,}05$ mm
Vorspannkraft $F_1 = 1580$ N
Endkraft $F_2 = 2670$ N
Frequenz $f = 1000$/min

Gesucht:

Liegt dieser Arbeitshub innerhalb des dauerfesten Bereiches bzw. welche Lebensdauer ist zu erwarten?

Lösung:

Aus der Tabelle im Abschnitt 9.2 werden folgende Daten entnommen:

s/h_0	s [mm]	F [N]	s [N/mm²]
0,25	0,325	1524	433
0,5	0,650	2701	814
0,75	0,980	3659	1148
1,0	1,300	4475	1421

Mit Hilfe dieser vier Punkte können Federkraft und Spannung in Abhängigkeit vom Federweg aufgezeichnet werden.

Trägt man die beiden Betriebspunkte ein, dann lassen sich aus dem Diagramm folgende Werte ablesen:

$s_1 = 0{,}34$ mm, $s_2 = 0{,}64$ mm
$s_u = 450$ N/mm²
$s_o = 804$ N/mm²

Aus dem Dauer- und Zeitfestigkeitsschaubild für die Gruppe 2 (Abb. 19) lässt sich für $\sigma_U = 450$ N/mm² eine zulässige Oberspannung $\sigma_O = 920$ N/mm² ablesen. Die Feder ist also dauerfest, da $\sigma_o < \sigma_O$.

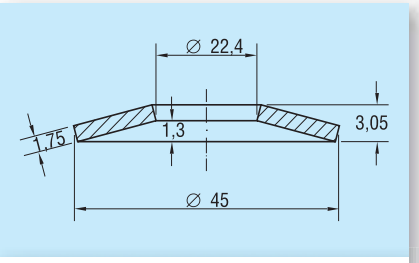


Abbildung 11
Tellerfeder
45 x 22,4 x 1,75; l_0 = 3,05 mm

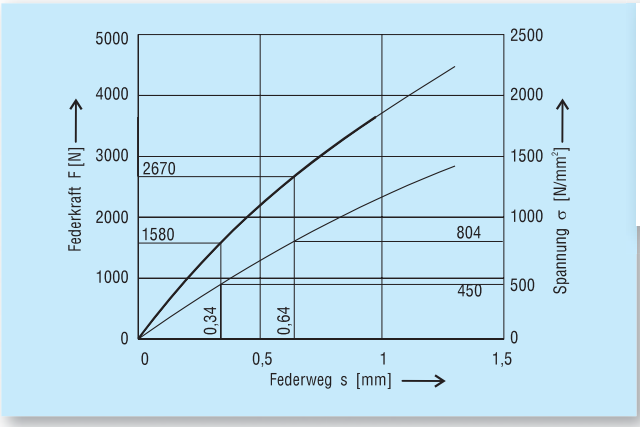


Abbildung 12
Federdiagramm
der Tellerfeder
45 x 22,4 x 1,75 mm,
l_0 = 3,05 mm

Beispiel 2: Tellerfeder mit großem Verhältnis h_0/t

Gegeben:
Führungsbolzen 30 mm Durchmesser
Einbaulänge l_1 = 4,9 mm
Vorspannkraft F_1 = 2000 N min.
Arbeitshub $s_2 - s_1$ = 1,05 mm
Federkraft F2 = 2500 N max.

Gesucht:
Geeignete Tellerfederabmessung

Lösung:
Federinnendurchmesser D_i = 30,5 mm
Federaußendurchmesser D_e = 60 mm
(wegen günstigem Verhältnis D_e/D_i)
Wegen dem sehr kleinen Kraftbereich und der kleinen Einbaulänge kommt nur eine Federabmessung mit annähernd waagrechtem Kennlinienteil in Frage, also mit $h_0/t \approx 1,4$.

Gewählt:
Tellerfeder 60 x 30,5 x 1,5 mm;
l_0 = 3,5 mm h_0/t = 1,333; δ = 1,967

Nachrechnung:
Zunächst werden nach den Gleichungen 3, 4 und 5 die Kennwerte berechnet:
K_1 = 0,688
K_2 = 1,212
K_3 = 1,365

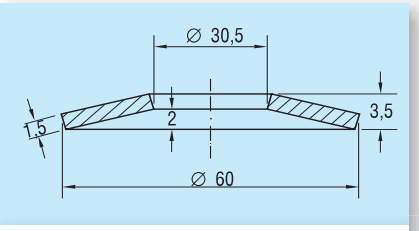


Abbildung 13
Tellerfeder 60 x 30,5 x 1,5 mm

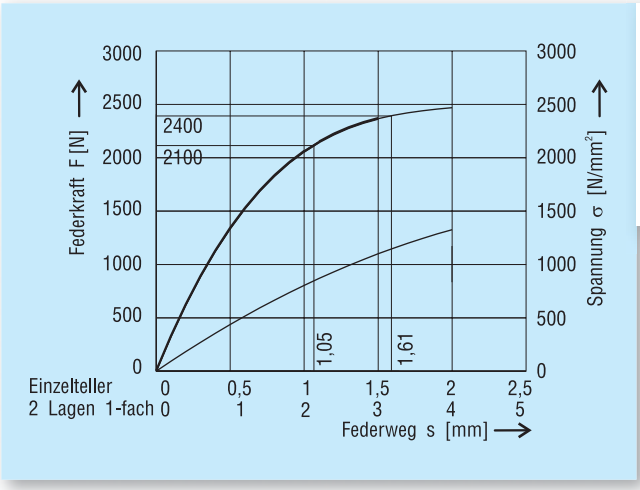


Abbildung 14
Federdiagramm
der Feder
60 x 30,5 x 1,5 mm,
l_0 = 3,5 mm

Zur Überprüfung der Federauslegung kann nach Gleichung 9 die Spannung σ_{OM} berechnet werden:
$\sigma_{OM} = -1048$ N/mm²

Dieser Wert liegt weit unter dem Grenzwert von –1600 N/mm², die Feder ist also setzfest.
Nun wird nach Gleichung 8a die Federkraft berechnet, am besten für die 4 Federwege $s = 0,25h_0$, $s = 0,5\ h_0$, $s = 0,75h_0$ und $s = h_0$.

Man erhält folgende Ergebnisse:

s/h_0	s [mm]	F [N]
0,25	0,5	1338
0,5	1,0	2058
0,75	1,5	2367
1,0	2,0	2469

Mit diesen 4 Punkten kann das Federdiagramm gezeichnet werden.

Man liest ab
für F_1 = 2100 N s_1 = 1,05 mm
und für F_2 = 2400 N s_2 = 1,61 mm
Hub $s_2 - s_1$ = 0,56 mm

Der Hub einer Feder ist demnach nicht ausreichend, es sind 2 wechselsinnig geschichtete Tellerfedern erforderlich, um die gestellten Forderungen zu erfüllen.
Für diese Anordnung ergibt sich:
Ungespannte Länge: L_0 = 7,0 mm
Vorgespannte Länge: L_1 = 4,90 mm
Vorspannfederweg: s_1 = 2,1 mm
Vorspannkraft: F_1 = 2100 N
Federweg $s_2 = s_1 + 1,05$ = 3,15 mm
Federkraft F_2 = 2390 N

Zur Überprüfung der Lebensdauer wird für die Federwege der Einzelfeder s_1 = 1,05 mm und s_2 = 1,575 mm die maßgebende Spannung berechnet. Nach Abb. 17 ist dies die Spannung an der Stelle III, die sich nach Gleichung 12 wie folgt ergibt:
s_1: σ_u = 843 N/mm²
s_2: σ_o = 1147 N/mm²

Aus dem Dauer- und Zeitfestigkeitsschaubild Abb. 19 geht hervor, dass die Dauerfestigkeitsgrenze geringfügig überschritten wird. Es kann mit einer Lebensdauer von etwa 1.000.000 Lastwechseln gerechnet werden.

Beispiel 3: Berechnung einer Tellerfeder mit Auflageflächen

Gegeben:
Tellerfeder 200x82x12 mm; l_0= 16,6 mm
h_0= 4,6 mm; d = 2,439; h_0/t = 0,383

Gesucht:
Federkennlinie
und Spannungen σ_{II} und σ_{III}.
Obwohl es sich um eine Feder unserer Werksnorm handelt, soll der Rechnungsgang hier gezeigt werden. Die Werte für die Federkraft und die größte Zugspannung in der Tabelle im Abschnitt 9.2 können als Kontrolle dienen. Nach den Gleichungen 3 bis 5 werden zuerst die Kennwerte K_1 bis K_3 berechnet:
K_1 = 0,755
K_2 = 1,315
K_3 = 1,541

Die statische Auslegung wird durch Berechnung von σ_{OM} nach Gleichung 9 überprüft, wobei zunächst die Dickenreduzierung nicht berücksichtigt und mit den Nennwerten t und h_0 gerechnet wird.

Es ergibt sich:
σ_{OM} = –1579 N/mm²

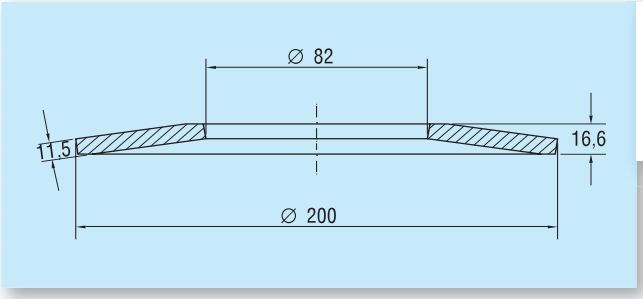


Abbildung 15
Tellerfeder
200 x 82 x 12 mm

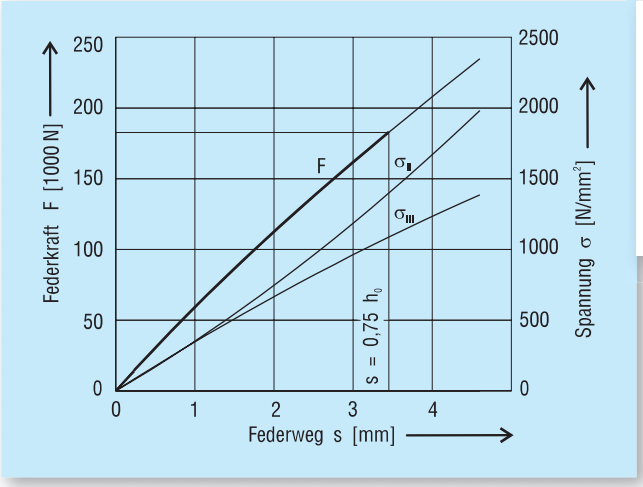


Abbildung 16
Federkraft und Zugspannungen der Tellerfeder
200 x 82 x 12 mm,
t' = 11,5 l_0 = 6,6 mm

Da der zulässige Wert für
$\sigma_{OM} \approx$ –1600 N/mm² beträgt, ist die Feder richtig ausgelegt. Aus Abb. 6 kann in Abhängigkeit von δ und h_0/t der Reduzierungsfaktor t'/t abgelesen werden:
t'/t = 0,958

Damit wird t' = 11,5 mm
und h_0' = 5,1 mm.
Der Beiwert K_4 ergibt sich nach Gleichung 6: K_4 = 1,0537

Nun können nach den Gleichungen 8b, 11 und 12 die Federkraft und die beiden Spannungen berechnet werden:

s/h_0	s [mm]	F [N]	σ_{II} [N/mm²]	σ_{III} [N/mm²]
0,25	1,15	66924	416	389
0,5	2,3	127191	890	747
0,75	3,45	182737	1421	1072
1,0	4,6	235503	2011	1366

Bei dieser Feder ist also die Spannung am Innenrand maßgebend, da sie die größeren Werte erreicht. Zum Schluss kann die Spannung σ_{OM} unter Berücksichtigung der reduzierten Dicke nochmals überprüft werden:

$\sigma_{OM}' = \sigma_{OM} \cdot K_4 \cdot t'/t$
σ_{OM}' = –1595 N/mm²

1.9 SCHNORR®-Tellerfeder-Berechnungsprogramm

Wenn Sie häufiger mit Tellerfedern arbeiten, Federanordnungen auslegen oder überprüfen wollen, empfehlen wir Ihnen unser SCHNORR®-Tellerfeder-Berechnungsprogramm.

Je nach Beanspruchung (Standard, korrosionsbeständig, warmfest, antimagnetisch etc.) können Sie den geeigneten Werkstoff auswählen. Gerne hilft Ihnen bei der Werkstoffwahl unser technischer Verkauf.

Die Berechnungsformeln arbeiten in Anlehnung an DIN 2093, welche auch Grundlage für die Berechnungen in unserem Handbuch als auch unseres Berechnungsprogrammes sind.

Bei Eingabe der Federabmessungen (Außen- und Innendurchmesser, Materialstärke, Bauhöhe), der Einfederzustände (Federkraft, Federweg, prozentuale Einfederung bzw. Differenzfederweg) sowie der Federanordnungen bei Tellerfeder-Säulenanwendungen, werden automatisch alle interessierenden Federdaten berechnet.

Das Programm liefert:

- Kraft-Weg Diagramm
- Zulässige Federspannung SIGMA OM
- Erreichbare Lastwechselspielzahl
- Durchmesser-Veränderungen bei Belastung
- Keine Beschränkungen bezüglich Abmessungen und Schichtungen (bitte entsprechende Hinweise im Programm beachte)
- Auswahlmöglichkeiten aus SCHNORR® Standard-Katalog und Katalog für Tellerfedern aus Werkstoff 1.4310

Die errechneten Federdaten werden tabellarisch und grafisch auf dem Bildschirm dargestellt und können natürlich auch ausgedruckt werden.

Das SCHNORR®-Tellerfeder-Berechnungsprogramm ist auf Microsoft Excel 97® programmiert und verlangt folgende Systemvoraussetzung:
mind. Windows 98®, mind. Excel 97®.

Interessenten stellen wir das Berechnungsprogramm als CD oder kostenlose E-Mail-Datei zur Verfügung.

Kapitel 2

Auslegung und Belastungsgrenzen

2.1 Zulässige Spannungen bei schwingender Belastung 19

Statische Auslegung 19

Zulässige Beanspruchung 19

2.2 Zulässige Spannungen bei statischer oder quasistatischer Belastung .. 19

Für den Schwingungsbruch maßgebende Querschnittsstelle 19

Mindestvorspannfederweg zur Vermeidung von Anrissen 19

Zulässige Beanspruchung 20

2.1 Zulässige Spannungen bei statischer oder quasistatischer Belastung

Statische Auslegung

Ruhende oder selten wechselnde Beanspruchung liegt vor:

a) bei Tellerfedern, die nur statisch ohne Laständerung belastet sind
b) bei Tellerfedern mit gelegentlichen Laständerungen in größeren Zeitabständen und weniger als 10000 Lastspielen während der vorgesehenen Lebensdauer.

Die Bauhöhe l_0 einer Tellerfeder wird üblicherweise so ausgelegt, dass die Feder bei ruhender oder selten wechselnder Belastung plattgedrückt werden kann, ohne dass sich das Maß l_0 über die zulässigen Abweichungen hinaus vermindert. Hierfür ist die Spannung σ_{OM} an der Stelle OM nach Gleichung 9 maßgebend.

Zulässige Beanspruchung

Plastische Verformungen treten auf, wenn in bestimmten Bereichen die Streckgrenze des Werkstoffes überschritten wird. Zur Beurteilung wird als Vergleichsspannung die Spannung σ_{OM} herangezogen. Ihr Betrag bei Planlage sollte nicht größer sein als der Betrag der Zugfestigkeit R_m des zur Verarbeitung kommenden Werkstoffes. Für Federstähle nach DIN 17221 und DIN 17222 gilt $R_m \approx 1600 N/mm^2$.

Bei anderen Werkstoffen müssen die dafür gültigen Werte für die Zugfestigkeit berücksichtigt werden. Die in den Tabellen des Kapitels 9 aufgeführten Tellerfedern nach DIN 2093 und unserer Werksnorm wurden nach einem früheren Verfahren nach der Spannung an der Stelle I ausgelegt. Daher überschreiten einige dieser Federn die zulässige Beanspruchung an der Stelle$_{OM}$. Da sie jahrelang mit dieser Bauhöhe gefertigt wurden, haben wir von einer Änderung der Höhe l_0 abgesehen. Bei derartigen Federn besteht die Möglichkeit eines geringen Nachsetzens.

2.2 Zulässige Spannungen bei schwingender Belastung

Schwingende Beanspruchung liegt bei allen Tellerfedern vor, bei denen die Belastung dauernd zwischen einem Vorspannfederweg s_1 und einem Federweg s_2 wechselt. Unter dem Einfluss der Hubspannung σ_h können schwingend belastete Tellerfedern je nach Lebensdauer in zwei Gruppen eingeteilt werden (siehe auch DIN 50100):

a) Tellerfedern mit hoher Lebensdauer. Diese Tellerfedern sollen ohne Bruch mindestens $2 \cdot 10^6$ Lastwechsel und mehr ertragen. Wird von einer Feder eine wesentlich höhere Lebensdauer verlangt, bitten wir um Rücksprache. Eventuell kann nur ein Dauerversuch genauen Aufschluss geben.
b) Tellerfedern mit begrenzter Lebensdauer. Diese Tellerfedern sollen im Bereich der Zeitfestigkeit $10^4 \leq N < 2 \cdot 10^6$ eine begrenzte Anzahl von Lastspielen bis zum Bruch erreichen.

Für den Schwingungsbruch maßgebende Querschnittsstelle

Für Tellerfedern mit schwingender Beanspruchung sind die rechnerischen Zugspannungen an der Federunterseite maßgebend, da Dauerbrüche stets von hier ausgehen. In Abhängigkeit von den Maßverhältnissen $\delta = D_e/D_i$ und h_0/t und der relativen Einfederung s/h_0 kann die größte Hubspannung σ_h sowohl an der Stelle II als auch an der Stelle III auftreten. Ob Stelle II oder III maßgebend ist, kann für Federn mit und ohne Auflageflächen aus Abb. 17 entnommen werden.

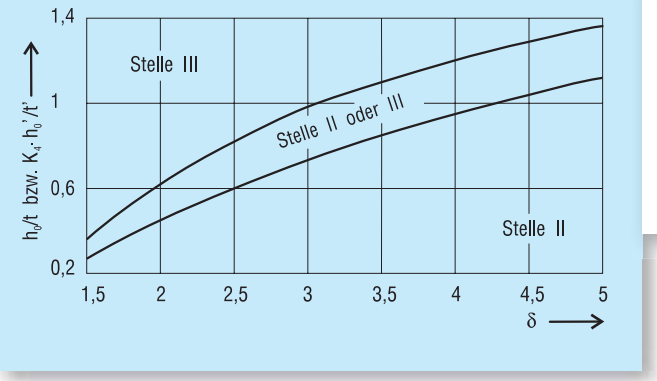


Abbildung 17
Für den Schwingungsbruch maßgebende Querschnittsstelle

Wir empfehlen, für beide Stellen die Spannungen nach den Gleichungen 11 und 12 zu berechnen und mit dem höheren der beiden Werte und anhand der Dauer-und Zeitfestigkeitsschaubilder (Abb. 18–20) die Lebensdauer zu bestimmen.

Mindestvorspannfederweg zur Vermeidung von Anrissen

Nach der Vergütung werden alle Tellerfedern vorgesetzt, was eine plastische Verformung im Bereich der Querschnittsstelle I zur Folge hat (siehe Abschnitt 4.4). Dadurch entstehen in diesem Bereich Zugeigenspannungen an der unbelasteten Feder. Bei Belastung tritt dann ein Wechsel zwischen Zug- und Druckspannung ein, der bei schwingender Beanspruchung zu Anrissen führt. Um diese zu vermeiden, müssen die Zugeigenspannungen durch entsprechende Vorspannung ausgeglichen werden. Schwingend belastete Tellerfedern sollten deshalb mindestens auf $s = 0{,}15$ bis $0{,}20\ h_0$ vorgespannt werden.

Zulässige Beanspruchung

Die für den Arbeitsbereich der Feder errechneten Spannungen werden mit den Dauer- und Zeitfestigkeitsschaubildern Abb. 18–20 verglichen. Diese geben für schwingend beanspruchte, nicht kugelgestrahlte Tellerfedern Richtwerte der Dauerhubfestigkeit σ_H für $N \geq 2 \cdot 10^6$ Lastwechsel und der Zeitfestigkeit für $N = 10^5$ und $N = 5 \cdot 10^5$ Lastwechsel in Abhängigkeit von der Unterspannung σ_U an. Zwischenwerte für andere Lastspielzahlen können geschätzt werden.

Für jede der drei Fertigungsgruppen nach DIN 2093 ist ein Schaubild angegeben. Diese Gruppen werden nach der Tellerdicke wie folgt unterteilt:

Gruppe 1: t kleiner 1,25 mm
Gruppe 2: t = 1,25 bis 6 mm
Gruppe 3: t über 6 bis 14 mm

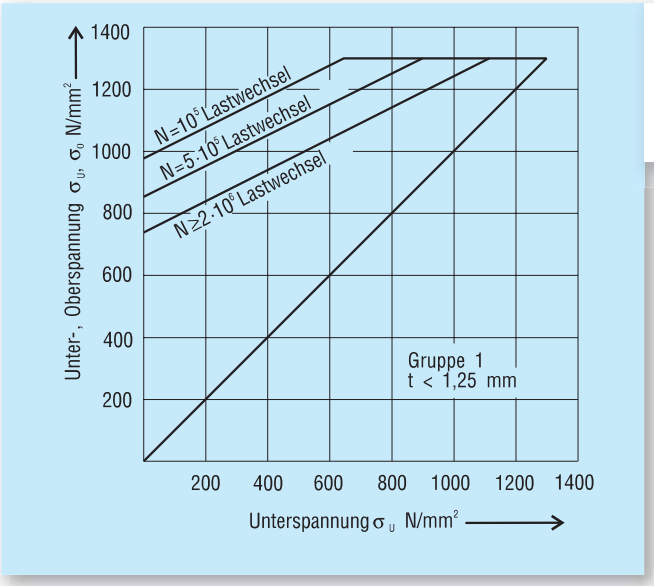


Abbildung 18
Dauer- und Zeitfestigkeitsschaubild für Gruppe 1

Die Dauer- und Zeitfestigkeitsschaubilder wurden aus Laborversuchen auf Prüfmaschinen mit gleichmäßig sinusförmiger Belastung durch statistische Auswertung ermittelt, wobei eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 99% angenommen wurde. Das bedeutet, dass von einer größeren Anzahl Federn 1% durch Schwingungsbruch früher ausfallen kann.

Die Schaubilder gelten für Einzeltellerfedern und Federsäulen mit bis zu 10 wechselsinnig aneinandergereihten Einzeltellerfedern, die bei Raumtemperatur arbeiten, bei oberflächengehärteter und einwandfrei bearbeiteter Innen- oder Außenführung sowie einem Mindestvorspannfederweg s_1 = 0,15 bis 0,20 h_0.

In der Praxis ist zu berücksichtigen, dass die Beanspruchungsart in vielen Fällen von einer annähernd sinusförmigen Schwingung abweicht. Bei stoßartiger Wechselbelastung und infolge von Eigenschwingungen kann die wirkliche Beanspruchung des Werkstoffes bedeutend höher liegen als die errechnete.

Die Werte der Schaubilder dürfen bei diesen Belastungsfällen nur unter Einbeziehung entsprechender Sicherheiten verwendet werden.

Für Tellerfedern aus anderen Werkstoffen als in DIN 2093 angegeben und für Federsäulen mit mehr als 10 oder mit mehrfach parallel geschichteten Einzeltellerfedern sowie bei sonstigen ungünstigen Einflüssen, die auch thermischer oder chemischer Art sein können, liegen keine hinreichenden Dauerfestigkeitswerte vor. In solchen Fällen muss ebenfalls mit zusätzlichen Sicherheiten gerechnet werden. Wir empfehlen Rücksprache mit uns.

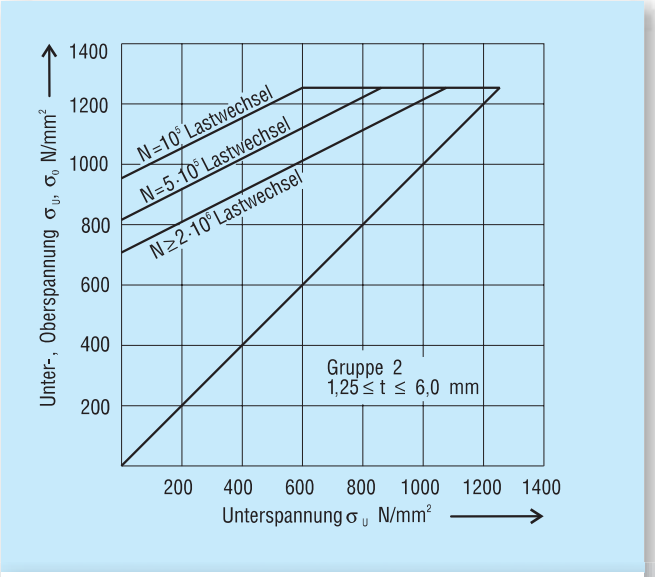


Abbildung 19
Dauer- und Zeitfestigkeitsschaubild für Gruppe 2

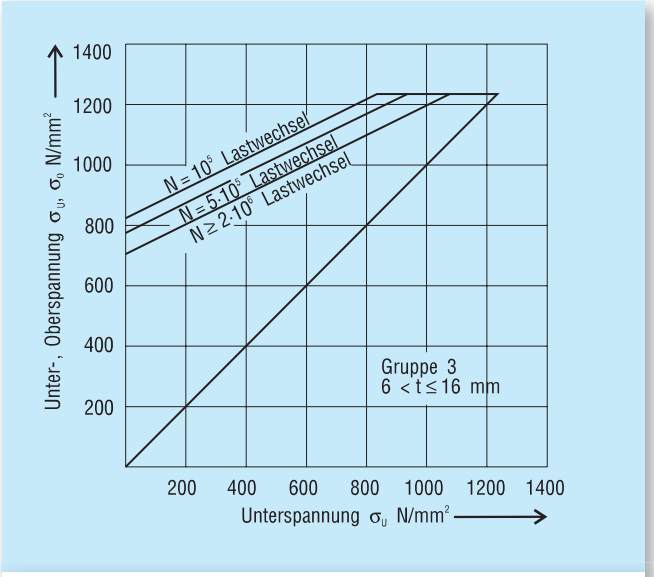


Abbildung 20
Dauer- und Zeitfestigkeitsschaubild für Gruppe 3

Kapitel 3

Kombinationsmöglichkeiten

3.1 Kombinationsmöglichkeiten von Einzeltellerfedern 22

3.2 Hintereinanderschaltung 22

3.3 Parallelschaltung 22

3.4 Federsäulen aus Federpaketen 22

3.5 Progressive Federkennlinien 23

3.1 Kombinationsmöglichkeiten von Einzeltellerfedern

Die Form der Tellerfeder als kegelförmige Ringschale erlaubt es, Einzelfedern auf verschiedene Weise zu kombinieren. Damit kann die Kennlinie einer Federanordnung fast beliebig variiert und den Erfordernissen angepasst werden. Prinzipiell gibt es folgende Möglichkeiten (Abb. 21):

- Wechselsinnige Schichtung zu Federsäulen (Hintereinanderschaltung)
- Gleichsinnige Schichtung zu Federpaketen (Parallelschaltung)
- Wechselsinnige Schichtung von Federpaketen zu Federsäulen

Für die Bestimmung der Kennlinie von zusammengesetzten Tellerfedern geht man von der Kennlinie der Einzelfeder aus (Abb. 21, Grafik a).

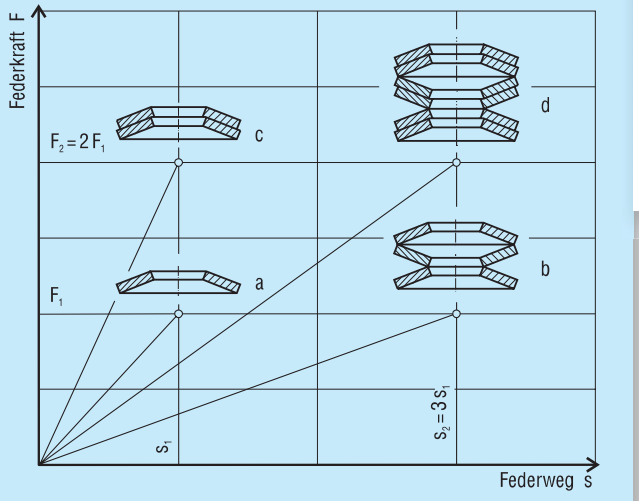


Abbildung 21
Kennlinien von Federsäulen mit Federn gleicher Größe bei verschiedener Anordnung (schematisch)

3.2 Hintereinanderschaltung

die Federkraft:
Gleichung 17

$$F_{ges} = F$$

der Federweg:
Gleichung 18

$$s_{ges} = i \cdot s$$

die Säulenlänge (unbelastet):
Gleichung 19

$$L_0 = i \cdot l_0$$

Es ist also nur der Federweg mit der Anzahl der wechselsinnig angeordneten Federn zu multiplizieren, nicht aber die Federkraft.

3.3 Parallelschaltung

Für ein aus n gleichsinnig geschichteten Einzeltellern bestehendes Federpaket (Abb. 21, Grafik c) gelten ohne Berücksichtigung der Reibung folgende Beziehungen für

die Federkraft:
Gleichung 20

$$F_{ges} = n \cdot F$$

den Federweg:
Gleichung 21

$$s_{ges} = s$$

die Pakethöhe (unbelastet):
Gleichung 22

$$L_0 = l_0 + (n - 1) \cdot t$$

In diesem Fall muss die Federkraft mit der Zahl der parallel geschichteten Tellerfedern multipliziert werden, während der Federweg der Einzelfeder erhalten bleibt. Bei Federn der Gruppe 3 mit Auflageflächen und reduzierter Tellerdicke ist in Gleichung 22 t durch t' zu ersetzen.

3.4 Federsäulen aus Federpaketen

Dies ist die Kombination einer Hintereinanderschaltung von parallel geschalteten Tellerfedern (Abb. 21, Grafik d). Ohne Berücksichtigung der Reibung ergibt sich für i wechselsinnig aneinandergereihte Federpakete aus je n Einzelfedern

die Federkraft:
Gleichung 23

$$F_{ges} = n \cdot F$$

der Federweg:
Gleichung 24

$$s_{ges} = i \cdot s$$

die Säulenlänge (unbelastet):
Gleichung 25

$$L_0 = i \cdot [l_0 + (n - 1) \cdot t]$$

Bei dieser Anordnung ist die Federkraft proportional der Zahl der gleichsinnig geschichteten Tellerfedern, während der Federweg proportional der Zahl der Federpakete ist. In Gleichung 25 muss gegebenenfalls t durch t' ersetzt werden.

3.5 Progressive Federkennlinien

In manchen Fällen ist es erwünscht, dass die Federkraft mit zunehmender Einfederung progressiv ansteigt, d.h. dass die Steigung der Kennlinie größer statt – wie für Tellerfedern typisch – kleiner wird (Abb. 22). Ein solcher Kennlinienverlauf lässt sich auf verschiedene Weise realisieren.

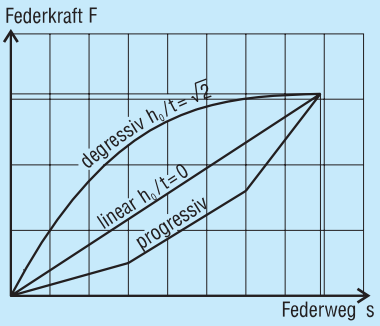


Abbildung 22
Verschiedene Typen von Federkennlinien

Bei einer Tellerfedersäule nach Abb.23, Grafik a werden bei Belastung die Teller der 1-fach-, 2-fach- und 3-fach-Schichtung nacheinander flachgedrückt. Die Kennlinie einer derartigen Federsäule ergibt sich aus der Addition der Einzelkennlinien, wie in Abb. 23 schematisch gezeigt. Das gleiche Ergebnis ist auch erreichbar, wenn Tellerfedern verschiedener Dicke zu einer Säule angeordnet werden (Abb. 23, Grafik b). Dabei muss berücksichtigt werden, dass die 1-fach oder 2-fach geschichteten Federpakete bzw. die dünneren Einzelteller sehr hoch beansprucht werden, falls Tellerfedern nach DIN 2093 oder SCHNORR-Werksnorm ausgewählt wurden. Eine Überbeanspruchung kann jedoch durch eine kleinere Prägehöhe bzw. durch Distanzhülsen oder Ringe zur Hubbegrenzung vermieden werden.

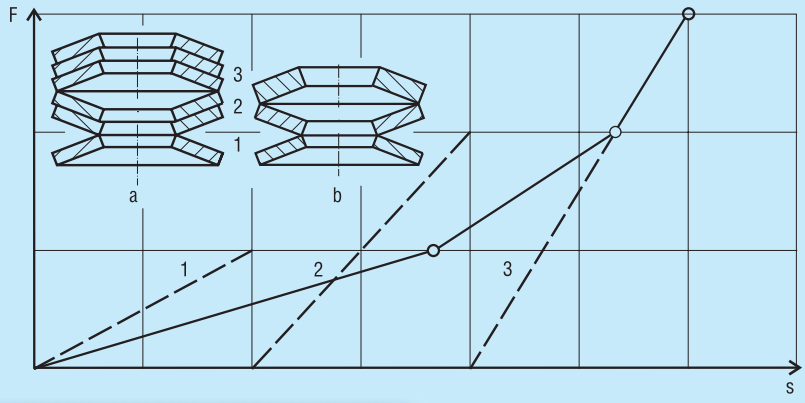


Abbildung 23
Progressive Kennlinie mit Tellerfedern

Weitere Möglichkeiten zum Erreichen einer progressiven Kennlinie zeigen die Abbildungen 24 bis 26. Durch Einlegen verschieden dicker Zwischenringe wird der Hub einer aus gleichen Tellerfedern bestehenden Federsäule stufenweise begrenzt. Dadurch vergrößert sich mit zunehmender Einfederung die Federrate (Abb. 24). Bei den Federn ohne Zwischenringen (Teil 3 der Säule) muss darauf geachtet werden, dass die zulässige Beanspruchung nicht überschritten wird.

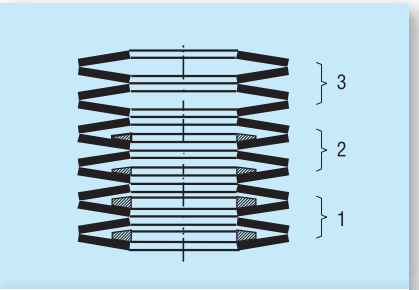


Abbildung 24
Federanordnung für progressive Kennlinie

Durch Kombination von Tellerfedern mit ebenen Scheiben kann ebenfalls eine progressive Kennlinie erreicht werden. Bei einer Schichtung nach Abb. 25 federt eine Gruppe von 2 Tellerfedern mit einer dazwischenliegenden ebenen Scheibe zunächst soweit ein, bis alle 3 Teile parallel liegen. Von diesem Punkt an arbeiten die beiden Tellerfedern in 2-fach-Schichtung und die ebene Scheibe wird wieder entlastet, da sie sich in Richtung ihres Ausgangszustandes bewegt.

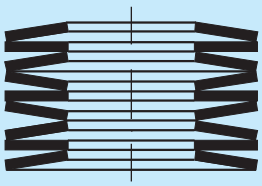


Abbildung 25
Federanordnung für progressive Kennlinie

Scheiben und Tellerfedern können auch unterschiedliche Dicke haben oder so angeordnet werden, dass 3-fach- oder Mehrfachschichtungen entstehen.

In Bild 26 ist eine Federsäule dargestellt, die aus Tellerfedern in drei verschiedenen Dicken besteht. Zum Schutz der dünneren Federn gegen Überbeanspruchung wird der Hub durch außenliegende Ringe begrenzt.

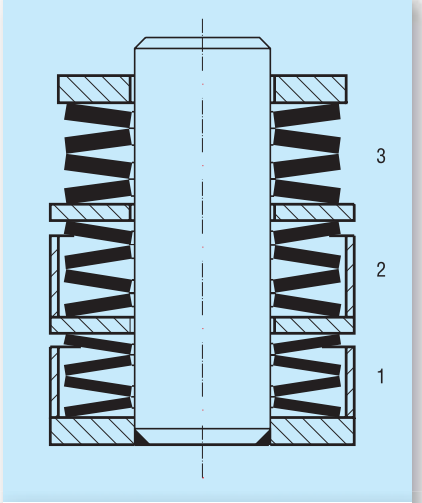


Abbildung 26
Federanordnung für progressive Kennlinie

Wenn Sie solche oder ähnliche Federanordnungen vorsehen wollen, dann bedienen Sie sich bitte unseres Technischen Beratungsdienstes! Wir führen gern die entsprechenden Berechnungen für Sie durch.

Kapitel 4

Herstellung

4.1 Gruppeneinteilung 25

4.2 Feingeschnittene oder gedrehte Tellerfedern? 25

4.3 Wärmebehandlung 25

4.4 Vorsetzen 25

4.5 Kugelstrahlen 25

4.6 Korrosionsschutz 27

Phosphatieren 27

Brünieren 27

Überzugsmetalle 27

- Zink 27
- Nickel 27

Galvanische Verfahren 27

Mechanische Metallbeschichtung 27

Metallspritzen 27

Chemische Vernickelung 27

Dacromet 27

4.1 Gruppeneinteilung

Der große Abmessungsbereich, in dem Tellerfedern hergestellt werden, erfordert sehr unterschiedliche Fertigungsverfahren. Die Palette reicht vom einfachen Stanzen über Stanzen mit zusätzlicher spanender Bearbeitung bis zur Verarbeitung von geschmiedeten Rohlingen und gewalzten Ringen, die durch Drehen oder Schleifen ihre endgültige Form erhalten.

Nach DIN 2093 werden 3 Fertigungsgruppen unterschieden:

Gruppe 1: Tellerdicke t kleiner 1,25 mm
Gruppe 2: Tellerdicke t = 1,25 bis 6 mm
Gruppe 3: Tellerdicke t über 6 bis 14 mm

Für diese Fertigungsgruppen sind folgende Bearbeitungsverfahren vorgeschrieben:

Gruppe 1:
- gestanzt,
- kaltgeformt,
- Kanten gerundet

Gruppe 2:
- gestanzt,
- kaltgeformt,
- De und Di gedreht,
- Kanten gerundet

Gruppe 3:
- kalt- oder warmgeformt,
- allseits gedreht,
- Kanten gerundet,
- mit Auflageflächen und reduzierter Tellerdicke

Alle SCHNORR-Tellerfedern nach DIN 2093 und Werksnorm werden nach dieser Bearbeitungsvorschrift hergestellt. Auch Sondergrößen werden der entsprechenden Gruppe zugeordnet, soweit die Fertigungsmöglichkeit gegeben ist oder keine abweichende Fertigungsweise vereinbart wurde. Der Fertigungsablauf für die drei Gruppen ist in Abb. 27 schematisch dargestellt.

4.2 Feingeschnittene oder gedrehte Tellerfedern?

Für die Gruppe 2 lässt die Norm alternativ die Ausführung
- feingeschnitten
- kaltgeformt
- Kanten gerundet

zu. Die Wahl des Bearbeitungsverfahrens bleibt dem Hersteller überlassen, **wenn es vom Besteller nicht ausdrücklich vorgeschrieben wird**. Der Anwender kann also selbst bestimmen, welche Ausführung geliefert werden muss! Wir liefern Federn der Gruppe 2 ausschließlich mit gedrehtem Innen- und Außendurchmesser, weil wir nach wie vor diese Ausführung für die beste halten. Beim Drehen entstehen die unvermeidlichen Bearbeitungsriefen in Umfangsrichtung und damit in Richtung der Hauptspannungen, während Stanzriefen (die es auch beim Feinschneiden gibt!) quer zur Hauptspannungsrichtung verlaufen und zu einer vielfach größeren Kerbempfindlichkeit führen[11].

Folglich liegt doch klar auf der Hand, dass, auch wenn feingeschnittene Tellerfedern die nach DIN 2093 geforderte Lebensdauer erreichen, die gedrehte Feder bessere Voraussetzungen für höchste Anforderungen an die Lebensdauer bietet.

4.3 Wärmebehandlung

Die Wärmebehandlung ist für die Eigenschaften einer Feder von ausschlaggebender Bedeutung. Wir vergüten deshalb alle Tellerfedern aus üblichen Federstählen – soweit sie nicht aus federhartem Material gefertigt werden – nach einem isothermischen Verfahren. Dadurch wird ein sog. Zwischenstufengefüge erreicht, das der Feder höchste Zähigkeit bei gleichzeitig hoher Festigkeit und damit optimale Dauerfestigkeitseigenschaften verleiht.

Nach DIN 2093 muss die Härte der Tellerfedern zwischen 42 und 52 HRC liegen. In unserer Fertigung wird die Härte in Abhängigkeit von der Tellerdicke gestuft.

4.4 Vorsetzen

Nach der Wärmebehandlung wird jede Feder mindestens einmal plattgedrückt. Dabei verringert sich die Bauhöhe, die Feder wird plastisch verformt. An der Oberseite entstehen Zugeigenspannungen, die den bei folgenden Belastungen auftretenden Lastspannungen entgegenwirken und somit Spannungsspitzen abbauen. Dadurch wird eine weitere plastische Verformung bei späteren Belastungen der Feder vermieden.

Nach DIN 2093 muss jede Tellerfeder so vorgesetzt sein, dass nach dem Belasten mit der doppelten Federkraft $F_{(s = 0{,}75\ h_0)}$ die Grenzabweichungen für die Federkraft eingehalten werden.

4.5 Kugelstrahlen

Eine Oberflächenverfestigung durch Kugelstrahlen hat sich für Tellerfedern mit schwingender Belastung sehr gut bewährt. Dadurch sind erhebliche Steigerungen der Lebensdauer weit über die Werte der Dauer- und Zeitfestigkeitsschaubilder Abb. 18, 19 und 20 hinaus möglich. Durch das Kugelstrahlen werden an der Oberfläche Druckspannungen erzeugt, die die durch das Setzen entstandenen Zugeigenspannungen teilweise abbauen. Dadurch setzen sich in der Regel kugelgestrahlte Federn etwas stärker. Aus diesem Grund wird bei Federn mit ruhender Belastung eine Oberflächenverfestigung durch Kugelstrahlen nicht empfohlen.

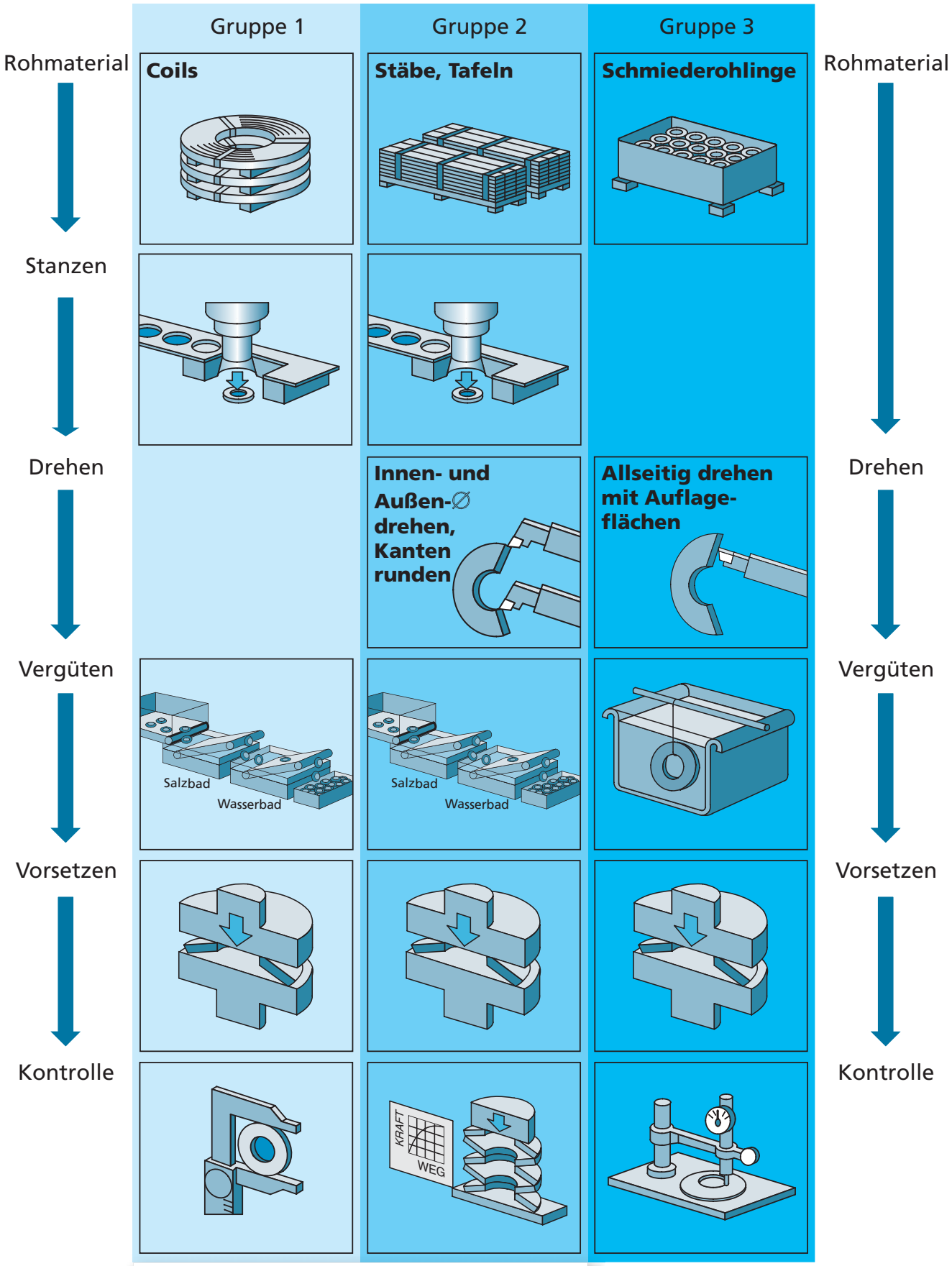


Abbildung 27
Fertigungsablauf für Tellerfedern verschiedener Gruppen

4.6 Korrosionsschutz

Die gängigen Standardwerkstoffe für Tellerfedern bieten selbst keinen Schutz gegen Korrosion. Deshalb müssen Tellerfedern aus diesen Stählen durch geeignete Oberflächenbehandlung gegen Korrosion geschützt werden.

Es stehen dafür eine ganze Reihe von Verfahren zur Verfügung, aus denen für jeden Einzelfall das bestgeeignete ausgewählt werden muss. Über korrosionsbeständige Stähle für Tellerfedern finden Sie Näheres in Kapitel 7.3.

Die wichtigsten Oberflächenbehandlungen sind:

Phosphatieren

Dieses Verfahren verwenden wir generell für alle Federn aus niedriglegierten Stählen, wenn nichts anderes vereinbart wird. Auf der Oberfläche wird eine Zinkphosphatschicht erzeugt, die anschließend mit Korrosionsschutzöl getränkt wird. Der damit erreichte Schutz reicht in den allermeisten Fällen aus. Vor allem bei Innenanwendungen, aber auch im Freien, wenn die Federn witterungsgeschützt eingebaut werden, ist oft kein weitergehender Schutz erforderlich.

Nach DIN 50960 lautet die Bezeichnung dieser Phosphatschicht: Überzug DIN 50942 Fe/Znph r10 f.

Brünieren

Dieses Verfahren erzeugt lediglich eine Oxydschicht, die anschließend mit Korrosionsschutzöl geölt wird. Der Korrosionsschutz ist nicht ganz so gut wie beim Phosphatieren, deshalb wird diese Behandlung meist nur dort angewendet, wo eine Phosphatschicht bzw. deren Abrieb stört.

Nach DIN 50960 wird eine Brünierung wie folgt bezeichnet: Überzug DIN 50938 Fe/A f.

Metallische Überzüge

Überzugsmetalle

- **Zink** ist das weitaus am meisten verwendete Überzugsmetall. Da es in der elektrochemischen Spannungsreihe bei Raumtemperatur niedriger liegt als Stahl, wird es bei einem Korrosionsangriff zuerst angegriffen und bildet einen sog. kathodischen Schutz. Durch einen Chromatüberzug kann der Beginn der Korrosion deutlich verzögert werden. Am wirksamsten ist eine Gelbchromatierung, die der Transparentchromatierung unbedingt vorzuziehen ist.
- **Nickel** ist gegen sehr viele Medien beständig und wird häufig als Überzugsmetall vorgesehen. Es liegt in der Spannungsreihe über Stahl, d. h. bei Bildung eines Lokalelementes, z. B. an einer Verletzung der Nickelschicht, wirkt Nickel als Kathode und das Grundmetall wird angegriffen. Aus diesem Grund muss bei Nickelüberzügen unbedingt auf porenfreie, dichte Schichten geachtet werden.
- **Cadmium** bietet ebenfalls einen sehr guten Korrosionsschutz, wird aber aus Umweltschutzgründen nur noch selten eingesetzt.

Galvanische Verfahren

Durch galvanische Verfahren lässt sich praktisch jedes Metall als Überzug niederschlagen. Bei der Behandlung von hochfesten Stählen – wie sie bei Tellerfedern und Sicherungsscheiben immer vorliegen – lässt sich jedoch nach dem heutigen Stand der Technik die Gefahr einer Wasserstoffversprödung nicht mit Sicherheit ausschließen. Auch durch eine thermische Nachbehandlung wird das Risiko nicht völlig beseitigt. Wir führen deshalb galvanische Behandlungen nur durch, wenn sie zwingend vorgeschrieben sind oder ein Überzug auf andere Weise nicht hergestellt werden kann.

Bezeichnung einer galvanisch erzeugten Zinkschicht von 8 µm Dicke, transparent chromatiert: Überzug DIN 50961 Fe/Zn 8 cB.

Mechanische Metallbeschichtung

Bei diesem als „Mechanical Zinc Plating" bekannten Verfahren werden die zu behandelnden Teile in einer Trommel zusammen mit Prallkörpern, z. B. Glasperlen, und einem sog. Promoter bewegt und das Überzugsmetall – vorzugsweise Zink – in Pulverform zugegeben. Dieses schlägt sich auf der Oberfläche nieder und wird durch die Prallkörper verdichtet. Es entsteht ein gleichmäßiger, matter Überzug, der anschließend wie eine galvanische Beschichtung chromatiert werden kann. Die übliche Schichtdicke beträgt 8 µm, möglich sind Dicken bis 40 µm. Von besonderer Bedeutung ist, dass bei sachgemäßer Durchführung des Verfahrens keine Wasserstoffversprödung auftreten kann.

Bezeichnung einer mechanisch aufgebrachten Zinkschicht von 8 µm Dicke, gelb chromatiert: Überzug mech Zn 8 cC.

Metallspritzen

Dieses Verfahren eignet sich hauptsächlich für größere Tellerfedern ab 150 mm Durchmesser, die nicht mechanisch verzinkt werden können. In der Regel werden Zinküberzüge aufgespritzt, die eine relativ große Schichtdicke haben und sich wegen ihrer körnigen Oberfläche auch sehr gut als Untergrund für Anstriche eignen. Die Haftfestigkeit ist allerdings geringer als bei der mechanischen Verzinkung; bei dynamischer Belastung kann die Schicht u. U. abplatzen.

Chemische Vernickelung

Bei diesem auch als „stromlose Vernickelung" bekannten Verfahren wird auf chemischem Wege eine Nickel-Phosphor-Legierung auf dem Grundwerkstoff abgeschieden. Es entsteht eine konturenscharfe, dichte und harte Schicht mit ausgezeichneter Korrosionsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit. Üblicherweise werden Schichtdicken von 15 – 30 µm aufgebracht.

Dacromet

Dies ist eine anorganische, metallisch-silbergraue Beschichtung aus Zink- und Aluminium- Lamellen in einer Chromatverbindung. Die Teile werden als Trommel- oder Gestellware behandelt und die Schicht anschließend bei über 280°C eingebrannt. Dacromet- beschichtete Federn weisen eine sehr gute Beständigkeit im Salzsprühnebeltest auf. Bei der üblichen Verfahrenstechnik ist eine Wasserstoffversprödung völlig ausgeschlossen.

Kapitel 5

Toleranzen

5.1 Durchmessertoleranzen 29

5.2 Dickentoleranzen 29

5.3 Bauhöhentoleranzen 29

5.4 Krafttoleranzen 30

Einzeltellerfedern 30

Federsäulen 30

5.5 Zulässiges Nachsetzen 30

Toleranzen von Tellerfedern

Die nachfolgend aufgeführten Grenzabweichungen sind in DIN 2093 festgelegt. Sie gelten für alle SCHNORR-Tellerfedern nach DIN und Werksnorm. Auch für Sondergrößen wenden wir im allgemeinen diese Toleranzen an, lediglich bei Federn, die in den Maßverhältnissen stark von den DIN-Federn abweichen, müssen größere Toleranzen festgelegt werden. Dies gilt z.B. für unsere Kugellager-Tellerfedern (Abschnitte 8.1 und 9.5). Wenn engere Toleranzen gewünscht werden, als sie in DIN 2093 vorgeschrieben sind, bitten wir um Rücksprache.

5.1 Durchmessertoleranzen

Für den Außendurchmesser D_e gilt Toleranzfeld h12, für den Innendurchmesser D_i Toleranzfeld H12.
Für die Koaxialität gilt:
für D_e bis 50 mm: 2 · IT 11
für D_e über 50 mm: 2 · IT 12

D_e bzw. D_i [mm]	Zulässige Abweichung in mm		
	D_e	D_i	Koaxialität
über 3 bis 6	0 / –0,12	+0,12 / 0	0,15
über 6 bis 10	0 / –0,15	+0,15 / 0	0,18
über 10 bis 18	0 / –0,18	+0,18 / 0	0,22
über 18 bis 30	0 / –0,21	+0,21 / 0	0,26
über 30 bis 50	0 / –0,25	+0,25 / 0	0,32
über 50 bis 80	0 / –0,30	+0,30 / 0	0,60
über 80 bis 120	0 / –0,35	+0,35 / 0	0,70
über 120 bis 180	0 / –0,40	+0,40 / 0	0,80
über 180 bis 250	0 / –0,46	+0,46 / 0	0,92
über 250 bis 315	0 / –0,52	+0,52 / 0	1,04
über 315 bis 400	0 / –0,57	+0,57 / 0	1,14
über 400 bis 500	0 / –0,63	+0,63 / 0	1,26

5.2 Dickentoleranzen

	t bzw. t' [mm]	Grenzabmaße für t [mm]
Gruppe 1	0,20 bis 0,6	+0,02/–0,06
	> 0,60 bis <1,25	+0,03/–0,09
Gruppe 2	1,25 bis 3,8	+0,04/–0,12
	> 3,80 bis 6,0	+0,05/–0,15
Gruppe 3	> 6,0 0 bis 16,0	+0,10/–0,10

Nach DIN 2093 sind folgende Abweichungen zulässig:
Bei Federn der Gruppe 3 gelten die Grenzabmaße für die reduzierte Dicke t'.

Wir benutzen die Dicke als Fertigungsausgleich und weichen deshalb in manchen Fällen von obigen Werten ab.

5.3 Bauhöhentoleranzen

	t [mm]	Grenzabmaße für l_o [mm]
Gruppe 1	< 1,25	+0,10/–0,05
Gruppe 2	1,25 bis 2,0	+0,15/–0,08
	> 2,0 bis 3,0	+0,20/–0,10
	> 3,0 bis 6,0	+0,30/–0,15
Gruppe 3	> 6,0 bis 16,0	+0,30/–0,30

Zur Einhaltung der vorgeschriebenen Federkräfte lässt DIN 2093 eine geringfügige Überschreitung der Bauhöhentoleranz zu.

5.4 Krafttoleranzen

Einzeltellerfedern

Für Einzeltellerfedern gelten folgende Grenzabweichungen:

	t [mm]	Grenzabweichungen für F bei Prüflänge $l_P = l_0 - 0{,}75\ h_0$
Gruppe 1	< 1,25	+25 % / –7,5 %
Gruppe 2	1,25 bis 3,0	+15 % / –7,5 %
	> 3,00 bis 6,0	+10 % / –5 %
Gruppe 3	> 6,00 bis 16,0	+5 % / –5 %

Die Federkraft muss am Einzelteller bei der Prüflänge l_0–s geprüft werden. Dabei muss die Feder unter Verwendung eines geeigneten Schmiermittels zwischen zwei gehärtete, geschliffene und polierte Platten gelegt werden. Es wird stets beim Belasten der Feder gemessen.

Federsäulen

Zur Ermittlung der Kraftabweichung zwischen Be- und Entlastung wird eine aus 10 wechselsinnig geschichteten Einzeltellern bestehende Federsäule ausgewogen. Die Säule wird auf einem Führungsbolzen nach Abschnitt 6.3 geführt, beidseitig sind Platten nach Abschnitt 5.4 einzulegen. Vor der Prüfung ist die Federsäule mit der doppelten Federkraft $F_{(s = 0{,}75\ h_0)}$ zu belasten.

Bei der Entlastung muss die Federkraft bei der Länge $L_0 - 7{,}5\ h_0$ mindestens den in der Tabelle angegebenen Prozentsatz der Belastungskennlinie erreichen (Abb. 28).

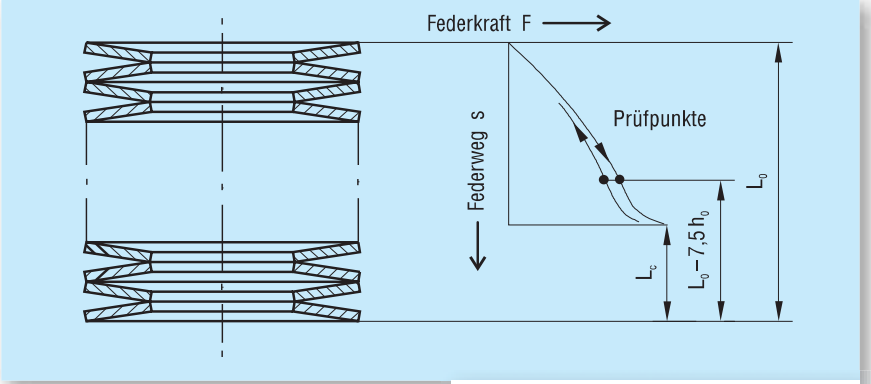


Abbildung 28
Prüfpunkte auf der Belastungs- und Entlastungskennlinie

	Reihe A	Reihe B	Reihe C
Gruppe 1	min. 90%	min. 90%	min. 85%
Gruppe 2	min. 92.5%	min. 92.5%	min. 87.5%
Gruppe 3	min. 95%	min. 95%	min. 90%

5.5 Zulässiges Nachsetzen

Bei jeder Feder tritt im Laufe der Zeit ein Verlust an Spannkraft ein, der im wesentlichen von den auftretenden Spannungen und dem Temperatur-Zeit-Verlauf abhängig ist. Bei Tellerfedern spielt darüber hinaus auch die Spannungsverteilung im Querschnitt eine Rolle, die durch die Maßverhältnisse δ und h_0/t bestimmt wird. Man bezieht die Relaxation deshalb auf die Spannung σ_{OM}, weil sich darin alle anderen Einflüsse am besten widerspiegeln. Je nach Einbausituation kann der Spannungsverlust als Kriechen oder als Relaxation auftreten. Als Kriechen bezeichnet man einen Längenverlust Δ l, den die Feder unter einer konstanten Last F erleidet, als Relaxation einen Kraftverlust Δ F, wenn die Feder bei einer konstanten Länge l eingebaut ist. Richtwerte für die zulässige Relaxation bei statisch beanspruchten Tellerfedern geben die Abb. 29 und 30. Falls Arbeitstemperaturen über 100 °C auftreten, wenden Sie sich bitte an unseren Technischen Verkauf.

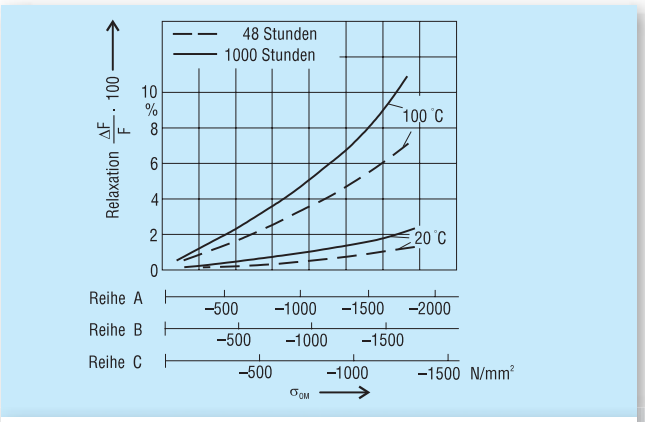


Abbildung 29
Zulässige Relaxation für Tellerfedern aus Ck-Stählen

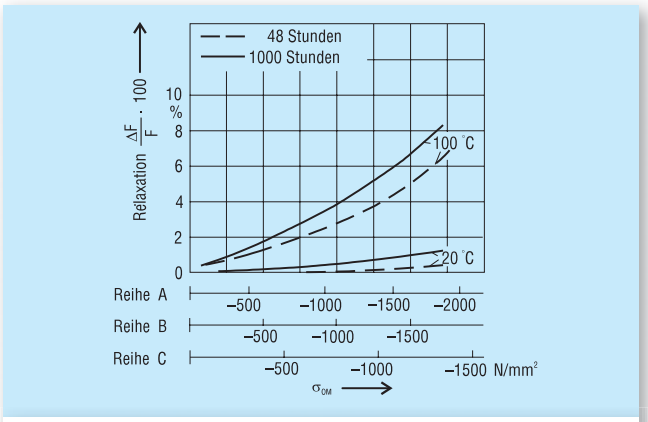


Abbildung 30
Zulässige Relaxation für Tellerfedern aus Chrom- sowie Chrom-Vanadin-legierten Edelstählen nach DIN 17 221 und DIN EN 10132-4

Kapitel 6

Anwendung

6.1 Federsäulen und deren Merkmale 32

6.2 Ausrichten von Federsäulen 32

6.3 Führungsspiel 33

6.4 Führungs- und Anlageflächen 33

6.5 Reibung 33

Ursachen der Reibung 33

Einflussfaktoren und Größe der Reibung 34

Berechnung des Reibungseinflusses nach DIN 2092 34

Schmierung 35

Wirkungen der Reibung 35

6.1 Federsäulen und deren Merkmale

Die beste Federanordnung ist diejenige, die mit der kleinstmöglichen Zahl von Einzelfedern auskommt! Um dieses Ziel zu erreichen, sollte der Außendurchmesser stets so groß wie möglich gewählt werden. Dadurch wird automatisch die Säulenlänge kurz gehalten.

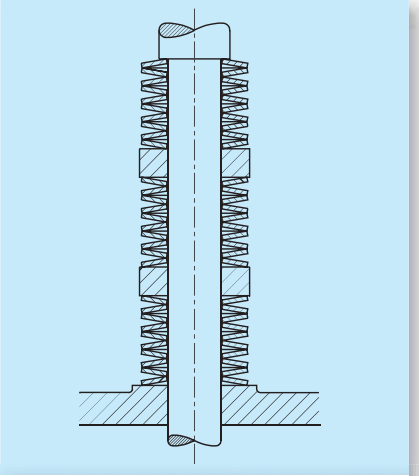


Abbildung 31
Unterteilung einer langen Federsäule

Mit zunehmender Anzahl von Tellerfedern in der Säule vergrößert sich die Reibung und die ungleichmäßige Einfederung einzelner Teller in der Säule. Als Richtwert für die Säulenlänge empfehlen wir: $L_0 \leq 3 \cdot D_e$. Lässt sich eine größere Säulenlänge nicht vermeiden, dann sollte die Säule durch geeignete Scheiben, die möglichst exakt geführt sein sollten, in zwei oder drei Teilsäulen unterteilt werden (Abb. 31).

Um die Reibung in vertretbaren Grenzen zu halten, sollten bei Mehrfachschichtung möglichst nicht mehr als 2 bis 3 Federn parallel geschichtet werden, es sei denn, ein großer Reibungsverlust ist ausdrücklich erwünscht. Insbesondere bei dynamischer Belastung ist schon bei 2-fach-Schichtung mit einer erheblichen Erwärmung zu rechnen.

Wenn möglich, sollten die Enden einer Tellerfedersäule mit dem Außendurchmesser anliegen. Das ist an beiden Enden nur bei einer geraden Zahl von Einzelfedern oder Federpaketen möglich. Aus konstruktionsbedingten Gründen muss oft von dieser Regel abgewichen werden, wenn z.B. nur ein schmaler Bund als Anlage zur Verfügung steht.

6.2 Ausrichten von Federsäulen

Innerhalb einer Federsäule liegt immer eine etwas ungleichmäßige Einfederung der einzelnen Tellerfedern vor (Abb. 32). Dies führt natürlich zu einer Überlastung der Federn an einem Ende der Federsäule und einer dementsprechend verkürzten Lebensdauer. Dies ist auch der Grund dafür, dass bei dynamischer Belastung die ersten Brüche in den allermeisten Fällen an einem Ende der Federsäule auftreten.

Wir empfehlen deshalb ein Ausrichten der leicht vorgespannten Federsäule. Dies kann z.B. in einem Prisma geschehen. Nach erfolgtem Ausrichten sollte die Federsäule nicht mehr völlig entspannt werden. Dieses Ausrichten hat sich in der Praxis zur Verminderung der Reibung sehr gut bewährt.

Ist das Ausrichten aus konstruktiven Gründen nicht möglich, dann kann die Säule ein- oder mehrmals bis zur Flachlage zusammengedrückt werden. Auch dies bringt eine Reibungsverminderung, da sich die Federn dadurch etwas zentrieren. Außerdem wird dadurch der Längenverlust vorweggenommen, der sich bei jeder Säule während der ersten Belastungen ergibt und der davon herrührt, dass sich die Einzelfedern noch geringfügig nachsetzen und aneinander anpassen. Bei einer senkrecht angeordneten Federsäule ist in der Regel die Reibung etwas geringer als bei horizontaler Einbaulage. Bei längeren Federsäulen ist deshalb die vertikale Anordnung vorzuziehen.

Ist eine Federsäule dynamisch beansprucht, dann verändert sich die Reibung während einer gewissen Einlaufzeit, besonders bei Mehrfachschichtung. Der Grund hierfür ist ein gewisser Glättungseffekt sowohl an den Auflagerändern als auch an den sich berührenden Federflanken.

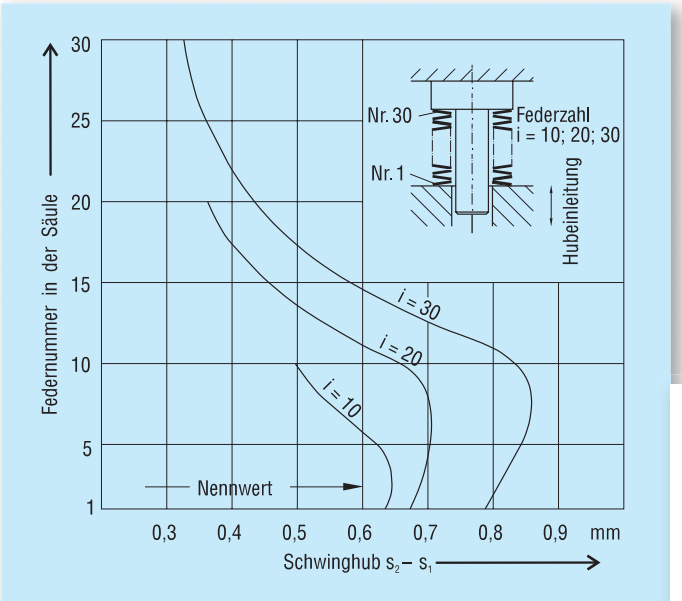


Abbildung 32
Beispiel für ungleiche Einfederung innerhalb einer Federsäule

6.3 Führungsspiel

Tellerfedern erfordern immer ein Führungselement, um das seitliche Verrutschen unter Last zu verhindern. Die Führung kann sowohl am Innendurchmesser D_i als auch am Außendurchmesser D_e erfolgen. Meist wird die Innenführung auf einem Bolzen oder einer Welle der Außenführung in einer Hülse vorgezogen, weil sie konstruktive und wirtschaftliche Vorteile bietet.

Für das Spiel zwischen Führungselement und Feder empfiehlt die DIN 2093 folgende Werte:

D_i bzw. D_e	Spiel
bis 16 mm	0,2 mm
über 16 bis 20 mm	0,3 mm
über 20 bis 26 mm	0,4 mm
über 26 bis 31,5 mm	0,5 mm
über 31,5 bis 50 mm	0,6 mm
über 50 bis 80 mm	0,8 mm
über 80 bis 140 mm	1,0 mm
über 140 bis 250 mm	1,6 mm

Diese Werte stellen die Differenz der Durchmesser dar. Unter bestimmten Voraussetzungen kann das Führungsspiel verringert werden, z.B. bei Federn auf schnellaufenden Spindeln.

Um ein Verklemmen der einzelnen Tellerfedern auf dem Führungsbolzen bzw. in der Führungshülse zu vermeiden, muss der Federquerschnitt unbedingt rechtwinklig ausgebildet werden (Abb. 33). Alle vier Kanten sollen leicht gerundet sein, der Abrundungsradius sollte etwa t/8 sein.

Beim Einfedern dreht sich der Querschnitt um den Stülpmittelpunkt S, der auf dem Durchmesser D_0 liegt. Wenn im ungespannten Zustand der Berührungspunkt der Feder am Führungsbolzen unterhalb einer Horizontalen durch den Stülpmittelpunkt liegt, dann entsteht während der Einfederung keine Verengung der Bohrung. Dasselbe gilt analog für den Außendurchmesser bei Führung durch eine Führungshülse. Bei Federn mit einem Verhältnis $h_0/t > 1$ ist diese Bedingung u.U. nicht erfüllt und es muss mit einer Verkleinerung des Innendurchmessers während der Einfederung gerechnet werden. Diese Verengung ist jedoch meist sehr klein und liegt bei Normfedern auf jeden Fall innerhalb des Führungsspiels nach der Tabelle auf dieser Seite. Die Berechnung der Änderung von Innen- und Außendurchmesser in Abhängigkeit vom Federweg ist heute ohne Schwierigkeiten möglich. Bitte wenden Sie sich an unseren Technischen Verkauf, wenn Sie hierzu weitere Informationen benötigen.

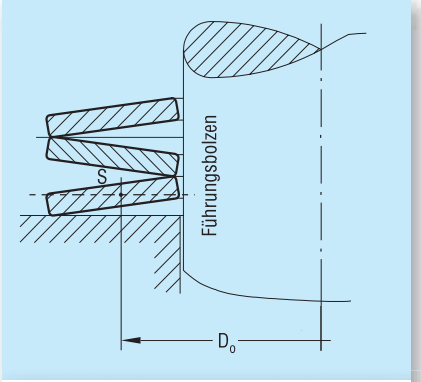


Abbildung 33
Durch rechtwinklige Ausführung des Federquerschnittes wird ein Klemmen am Führungsbolzen während der Einfederung vermieden

6.4 Führungs- und Anlageflächen

Die Führungselemente und die Auflagen sollen nach Möglichkeit einsatzgehärtet sein (Einhärtetiefe ca. 0,8 mm) und eine Mindesthärte von 55 HRC aufweisen. Die Oberfläche der Führungselemente soll glatt und möglichst geschliffen sein. Besonders bei dynamischer Belastung empfehlen wir eine Schmierung mit molybdändisulfidhaltigem Fett. Bei statischer Belastung können auch ungehärtete Führungsteile ausreichend sein.

6.5 Reibung

Durch die Reibung entstehen bei einer Tellerfedersäule stets mehr oder weniger große Abweichungen der tatsächlichen Be- und Entlastungskennlinie von der rechnerischen Kennlinie. Diese Abweichungen sind in vielen Fällen störend, sie können jedoch auch erwünscht sein. Es ist daher oft notwendig, die Reibung in Betracht zu ziehen und ihre Größenordnung abzuschätzen bzw. rechnerisch zu ermitteln.

Ursachen der Reibung
Die Reibung bei Tellerfedern setzt sich aus 4 verschiedenen Komponenten zusammen (Abb. 34):

1. Reibung an den Endanlagen durch die radiale Bewegung zwischen Tellerfeder und Anlagefläche. Sie tritt nur zwischen den letzten Federn einer Säule und den anliegenden Teilen auf. Die innerhalb einer Säule liegenden Federn führen die gleiche Radialbewegung aus, so dass keine Reibung entsteht.
2. Innere Reibung durch elastische Verformung des Werkstoffes. Sie entsteht bei jeder elastischen Verformung eines Stoffes und kann nicht beeinflusst werden.
3. Reibung an den Führungselementen durch Entlanggleiten der Tellerfedern während der Einfederung.
4. Reibung zwischen zwei Federn bei Parallelschichtung.

Die ersten drei Reibungsarten treten nicht nur bei einfach geschichteten Tellerfedersäulen, sondern auch bei einzelnen Tellerfedern auf. Aus diesem Grund ist bei Tellerfedern die Reibung meist etwas größer als z.B. bei Schraubenfedern.

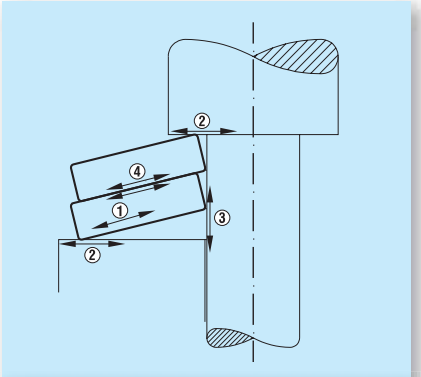


Abbildung 34
Reibung bei Tellerfedern

Einflussfaktoren und Größe der Reibung

Die Größe der Reibung hängt von sehr vielen Einflüssen ab:

Geometrische Faktoren:
- Form des Federquerschnitts
- Rundung der Kanten
- Größe des Führungsspiels
- Oberflächenrauhigkeit der Federn und Führungsteile

Werkstofftechnische Faktoren:
- Werkstoff der Federn und Führungsteile
- Härte der Federn und Führungsteile
- Oberflächenbeschichtung der Federn
- Art des Schmiermittels

Konstruktionsbedingte Faktoren:
- Anzahl der parallel geschichteten Federn
- Länge der Federsäule

Belastungsabhängige Faktoren:
- Größe des Federhubes
- Geschwindigkeit der Belastung (Frequenz)

Der Anteil dieser einzelnen Faktoren an der Gesamtreibung ist natürlich sehr unterschiedlich und von Fall zu Fall erheblichen Schwankungen unterworfen. Wir geben deshalb nur folgende kurze Hinweise:

Die geometrischen Faktoren wurden bereits in Abschnitt 6.3 behandelt. Einen oft unterschätzten Einfluss stellt die Oberflächenbehandlung dar. So haben z.B. verzinkte Federn eine etwas geringere Reibung als solche mit phosphatierter Oberfläche. Bei Mehrfachschichtung stellt die zwischen den parallel liegenden Federn auftretende Reibung den größten Anteil dar. Sie steigt mit der Zahl der gleichsinnig zu einem Paket geschichteten Federn stark an, kann aber durch eine geeignete Schmierung ganz erheblich vermindert werden (siehe Seite 35).

Bei großem relativem Federweg s/h_0 bzw. $(s_2 - s_1)/h_0$ ist erfahrungsgemäß die Reibung größer als bei relativ kleinem Federweg. Vor allem bei hochfrequent schwingenden Federanordnungen sollte diese Tatsache berücksichtigt werden.

Bei der Vielzahl der Einflüsse ist eine genaue Berechnung der Reibung verständlicherweise nicht möglich. Aus vielen Versuchen mit den verschiedensten Federgrößen ergibt sich ein Richtwert für die Größe der Reibung von etwa ± 2,5% je Schichtung (+ Belastung, – Entlastung).

Daraus ergeben sich folgende Werte:

Einfluss der Reibung auf die Federkraft	
1-fach-Schichtung	± 2... 3 %
2-fach-Schichtung	± 4... 6 %
3-fach-Schichtung	± 6... 9 %
4-fach-Schichtung	± 8...12 %
5-fach-Schichtung	± 10...15 %

Abb. 35 zeigt den prinzipiellen Kennlinienverlauf für ein- bis vierfach geschichtete Tellerfedern.

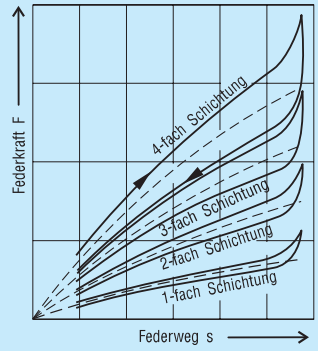


Abbildung 35
Einfluss der Reibung auf den Kennlinienverlauf bei verschiedener Schichtungszahl

Berechnung des Reibungseinflusses nach DIN 2092

Die DIN 2092 Ausgabe 1/92 gibt eine Methode zur rechnerischen Erfassung der durch Reibung beeinflussten Federkraft F_R an. Dabei werden allerdings die innere Reibung und die Reibung an den Führungselementen (Abschnitt 6.5 Nr. 1 und 3) außer acht gelassen, sie müssen durch einen Zuschlag berücksichtigt werden, der den Gegebenheiten entsprechend geschätzt werden muss. Lediglich für die Reibbeiwerte der Mantel- und der Randreibung gibt die DIN 2092 die in nachfolgender Tabelle genannten, relativ breiten Bereiche an.

Wir sind deshalb der Meinung, dass dieses Verfahren zwar theoretisch korrekt ist, im Endeffekt aber auch keine richtigeren Ergebnisse liefert als die Berücksichtigung der Reibung durch einen einfachen prozentualen Zuschlag. Der Vollständigkeit halber geben wir nachstehend diese Berechnungsmethode an.

Gleichung 26

$$= F \frac{n}{1 \pm w_M (n-1) \pm w_R}$$

Darin bedeuten:
- F = rechnerische Federkraft nach Gleichung 7
- n = Anzahl der gleichsinnig zu einem Paket geschichteten Einzelteller
- w_M = Reibbeiwert der Mantelreibung
- w_R = Reibbeiwert der Randreibung
- – = bei Belastung
- + = bei Entlastung

Mit n = 1 beschreibt Gleichung 26 die Verhältnisse an einer Einzelfeder zwischen 2 ebenen Druckplatten. Für die Reibbeiwerte w_M und w_R gibt DIN 2092 folgende Werte an:

Reihe nach DIN 2093	w_M	w_R
Reihe A	0,005...0,030	0,03... 0,05
Reihe B	0,003...0,020	0,02... 0,04
Reihe C	0,002...0,015	0,01... 0,03

Rechnet man Gleichung 26 mit diesen Werten durch, dann ergeben sich folgende, wesentlich anschaulichere Zahlen:

	n = 1		n = 2		n = 3	
Reihe A	+3,09...	+5,26	+3,63...	+8,70	+4,17...	+12,36
	–2,91...	–4,76	–3,38...	–7,41	–3,85...	–9,91
Reihe B	+2,04...	+4,17	+2,35...	+6,38	+2,67...	+8,70
	–1,96...	–3,85	–2,25...	–5,66	–2,53...	–7,41
Reihe C	+1,01...	+3,09	+1,21...	+4,71	+1,42...	+6,38
	–0,99...	–2,91	–1,19...	–4,31	–1,38...	–5,66

Änderung der rechnerischen Federkraft durch Reibung in %
+ = Krafterhöhung bei Belastung / – = Kraftreduzierung bei Entlastung

Diese Ergebnisse sind in Abb. 36 dargestellt.

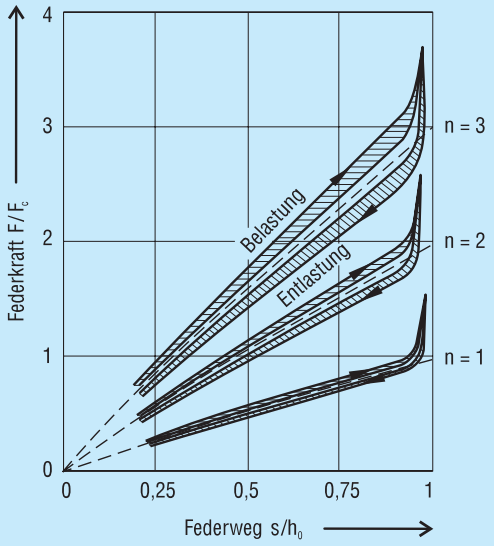


Abbildung 36
Reibung nach DIN 2092 für Tellerfedern

Schmierung

An den großen Streubereichen in Abb. 36 ist zu ersehen, welchen Einfluss die Schmierung auf die Reibung hat. Die Wahl des richtigen Schmiermittels ist deshalb oft von ausschlaggebender Bedeutung. Neben der Verringerung der Reibung soll eine zweckmäßige Schmierung ein Fressen der parallel aufeinander liegenden Federn verhindern. Gleichzeitig wird oft ein gewisser Korrosionsschutz erwartet.

Als Schmiermittel kommen in Frage:

- **Öl** wird häufig im Maschinenbau verwendet, wenn durch Zentralschmierung oder ähnliche Maßnahmen eine kontinuierliche Ölversorgung sichergestellt ist.

- **Fett** ist in allen Fällen angebracht, wenn die Nachschmierung nicht regelmäßig gewährleistet oder schwierig ist. Am besten geeignet sind Fette mit Festschmierstoffanteil.

- **Gleitlacke**, meist mit Festschmierstoffen auf MoS_2-Basis, stellen eine elegante Lösung der Schmierungsfrage dar. Allerdings lässt ihre Korrosionsbeständigkeit oft zu wünschen übrig.

Wirkungen der Reibung

Die Reibungskräfte wirken entgegen der jeweiligen Bewegungsrichtung, d.h. bei Belastung der Feder müssen sie zusätzlich überwunden werden und erhöhen scheinbar die Federkraft, bei Entlastung wirken sie in umgekehrter Richtung und verringern die nach außen abgegebene Kraft. Zwischen tatsächlicher Be- und Entlastungskurve entsteht eine Hystereseschleife, deren Flächeninhalt im Kraft/Federweg-Diagramm die Reibungsarbeit darstellt (Abb. 35). Diese Reibungsarbeit wird vollständig in Wärme umgesetzt und kann bei dynamischer Belastung mit hoher Frequenz zu einer ganz erheblichen Erwärmung führen. In solchen Fällen sind 1-fach geschichtete Federsäulen unbedingt vorzuziehen und auf gute Schmierung muss besonders geachtet werden.

Betrachtet man die Feder als Arbeitsspeicher, dann geht die Reibungsarbeit verloren; sie wird nicht wieder abgegeben. Bei Pufferfedern ist dieser Effekt erwünscht, bei Schwingungssystemen ist die Reibungsarbeit ein Maß für die Dämpfung.

Kapitel 7

Werkstoffe

7.1 Allgemeine Anforderungen 37

7.2 Standardwerkstoffe 37

- C 60S 37
- C 67S und C 75S 37
- 51 CrV 4 37

7.3 Sonderwerkstoffe für besondere Beanspruchung 38

Korrosionsbeständige Federstähle 38

- X 10 CrNi 18-8 38
- X 7 CrNiAl 17-7 38
- X 5 CrNiMo 17-12-2 38
- X 5 CrNi 18-10 38

Stähle für höhere Temperaturen 38

- X 22 CrMoV 12 1 38
- X 39 CrMo 17-1 38

Kupferlegierungen 39

- CuSn 8 39
- CuBe 2 39

7.4 Werkstoffe, Übersichtstabelle 39

Nickel- und Kobaltlegierungen 39

- NIMONIC 90 39
- INCONEL X 750 und INCONEL 718 39
- DURATHERM 600 39

7.1 Allgemeine Anforderungen

Das Wesentliche einer Feder ist die Eigenschaft, auf äußere Belastungen durch elastische Verformung zu reagieren. Dafür sind Werkstoffe mit hoher Elastizität erforderlich. Da in jedem Fall eine kleine Bauweise der Federn angestrebt wird, müssen Federwerkstoffe eine hohe Zugfestigkeit und eine hohe Elastizitätsgrenze aufweisen.

Neben einer hohen Dehnung im elastischen Bereich muss ein ausreichendes plastisches Formänderungsvermögen vorhanden sein, um die Fertigung von kaltgeformten Federn zu ermöglichen und Brüche durch nicht vorhersehbare Überbelastungen weitmöglichst zu vermeiden.

Außerdem wird eine hohe Dauerschwingfestigkeit verlangt, die allerdings kein fester Werkstoffkennwert ist wie z.B. die Zugfestigkeit. Als Voraussetzung für eine gute Dauerfestigkeit der Federn wird ein hoher Reinheitsgrad, ein homogenes Gefüge und eine glatte, abkohlungsfreie Oberfläche gefordert.

Diese Forderungen werden von Stählen sehr gut erfüllt, deshalb werden die allermeisten Federn aus Stahl hergestellt.

Darüber hinaus werden von Fall zu Fall weitere Eigenschaften, wie Korrosionsbeständigkeit, Warmfestigkeit und antimagnetisches Verhalten verlangt, die eine besonders sorgfältige Werkstoffauswahl erfordern.

Eine wichtige Eigenschaft von Federwerkstoffen ist der Elastizitätsmodul (E-Modul). Von dieser Werkstoffkonstanten ist die einer bestimmten Verformung entsprechende Federkraft linear abhängig. Der E-Modul von Stählen wird durch die Vergütung praktisch nicht beeinflusst, es besteht aber eine Temperaturabhängigkeit, die bei höheren Betriebstemperaturen zu berücksichtigen ist (Abb. 37).

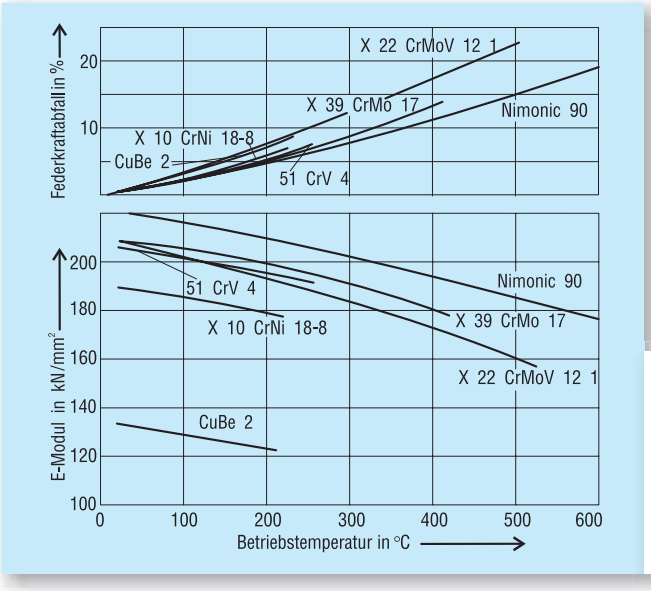


Abbildung 37
Temperaturabhängigkeit des E-Moduls und dadurch bedingter Federkraftabfall

Werkstoffe für Tellerfedern werden hauptsächlich in folgenden Lieferformen verarbeitet:

- Kaltband nach DIN EN 10140
- Warmband nach DIN 1016
- Blech nach DIN EN 10029
- Schmiedestücke nach DIN 7521 und 7526

In den Tabellen auf den Seiten 40 bis 41 sind alle Werkstoffe mit ihren technischen Daten zusammengestellt, die in der Praxis zu Tellerfedern verarbeitet werden. Im folgenden möchten wir hierzu noch einige Erläuterungen geben.

7.2 Standardwerkstoffe

• **C 60S**: Bei diesem Federstahl handelt es sich um Qualitätsstahl nach DIN EN 10132-4. Wir verwenden ihn ausschließlich für unsere Original SCHNORR Sicherungsscheiben und Spannscheiben DIN 6796, da diese Teile nur statisch belastet werden.

• **C 67S** und **C 75S**: Diese Edelstähle nach DIN EN 10132-4 werden als Kaltband für Tellerfedern der Gruppe 1 verwendet. Für niedrig beanspruchte Federn, wie sie z.B. bei unserer Reihe K zum Spielausgleich bei Kugellagern vorliegen, können sie auch in federhartem Zustand verarbeitet werden.

• **51 CrV 4** (1.8159): Dies ist ein Chrom-Vanadium-legierter Edelstahl, der in Bezug auf Qualität und Legierungszusammensetzung höchsten Ansprüchen gerecht wird. Er wird in kaltgewalzter (DIN EN 10132-4), warmgewalzter und geschmiedeter Form (DIN 17221) zu Tellerfedern verarbeitet. Auch bei sehr dicken Querschnitten gewährleistet er eine gute Durchhärtbarkeit und wird deshalb für Tellerfedern bis 50 mm Dicke und darüber verwendet. Die Relaxation ist geringer als bei unlegierten Stählen (siehe Abschnitt 5.5), dies ermöglicht seinen Einsatz bei Temperaturen bis 250 °C (bei entsprechend reduzierter Beanspruchung).

7.3 Sonderwerkstoffe für besondere Beanspruchungen

Besondere Beanspruchungen, wie erhöhte Korrosionsbelastung oder hohe Temperaturen, können es erforderlich machen, einen Sonderwerkstoff zu verwenden. Die Zugfestigkeit dieser Werkstoffe erreicht im allgemeinen nicht die Werte der normalen Federstähle. Dies muss bei der Federauslegung berücksichtigt werden und führt in den meisten Fällen zu einer niedrigeren Bauhöhe bei sonst maßlich gleichen Federabmessungen und damit zu einer niedrigeren Federkraft.

Korrosionsbeständige Federstähle

• **X 10 CrNi 18-8** (1.4310): Dieser Chrom-Nickel-legierte Stahl nach DIN EN 10151 ist der für korrosionsbeständige Federn am meisten verwendete Werkstoff. Wegen seines austenitischen Gefüges mit ferritischen Einlagerungen kann er nicht auf übliche Weise vergütet werden, sondern muss durch Kaltverformung auf die für Federn erforderliche Festigkeit gebracht werden. Dazu ist ein erheblicher Verformungsgrad notwendig. Aus diesem Grund nimmt die Festigkeit mit zunehmender Dicke ab und ist bei Dicken über 2,5 mm in der Regel für Tellerfedern nicht mehr ausreichend. Aus X 10 CrNi 18-8 können also nur Federn bis zu dieser Dicke gefertigt werden. Während sich dieser Stahl im weichen Zustand kaum magnetisieren lässt, wird er durch die Kaltverformung wieder mehr oder weniger magnetisierbar. Für völlig amagnetische Federn eignet er sich daher nicht.

• **X 7 CrNiAl 17-7** (1.4568): Bei diesem Stahl nach DIN EN 10151 handelt es sich um einen ausscheidungshärtbaren Federstahl mit austenitisch-ferritischem Gefüge. Auch er wird im kaltverfestigten Zustand verarbeitet, kann aber anschließend durch eine Wärmebehandlung ausgehärtet werden. Nachteilig gegenüber dem Stahl 1.4310 ist die geringere Korrosionsbeständigkeit und eine je nach Gefügezustand erhebliche Empfindlichkeit gegen Spannungsrisskorrosion. Wir empfehlen ihn deshalb nur für Federn über 2,5 mm Dicke, wenn kein anderer korrosionsbeständiger Stahl zur Verfügung steht.

• **X 5 CrNiMo 17-12-2** (1.4401): Die Festigkeitswerte dieses Stahles liegen etwas niedriger als bei den beiden vorgenannten Stählen, dagegen bietet er die höchste Beständigkeit gegen Korrosion und die geringste Magnetisierbarkeit. Obwohl ebenfalls in DIN EN 10151 (noch unter dem früheren Kurznamen X5 CrNiMo 18-10) enthalten, ist er oft nicht leicht zu beschaffen und wird deshalb nur selten verwendet.

Stähle für höhere Temperaturen

Bei der Auslegung von Federn für höhere Betriebstemperaturen müssen außer den niedrigeren Festigkeitswerten bei Raumtemperatur auch die Warmfestigkeitswerte und der E-Modul bei der Betriebstemperatur berücksichtigt werden.

• **X 22 CrMoV 12-1** (1.4923): Dieser vergütbare Chrom-Molybdän-Vanadium-Stahl hat sich für warmfeste Tellerfedern sehr gut bewährt. Federn von 1,5 bis 6 mm Dicke werden aus Band bzw. Blech gefertigt, für größere Dicken können geschmiedete Rohlinge verwendet werden.

Abb. 38 zeigt die mechanischen Werte und den Elastizitätsmodul in Abhängigkeit von der Temperatur. Zu beachten ist, dass der Stahl trotz eines Chrom-Gehaltes von 12% nicht korrosionsbeständig ist.

• **X 39 CrMo 17-1** (1.4122): Hier handelt es sich um einen Chrom-Molybdän-legierten martensitisch vergütbaren Stahl, der durch seinen Molybdängehalt gute Warmfestigkeitswerte und eine gegenüber reinen Chromstählen verbesserte Korrosionsbeständigkeit aufweist. Diese wird allerdings beeinträchtigt durch die Vergütung auf sehr hohe Festigkeit, die zur Erzielung ausreichender Federeigenschaften notwendig ist. Das dabei entstehende Gefüge bietet nicht die optimalen Voraussetzungen für die Korrosionsbeständigkeit. Der Stahl weist deshalb eine nicht zu unterschätzende Empfindlichkeit gegen Spannungsrisskorrosion auf und bei gewissen Korrosionsangriffen kann ein verzögerter Sprödbruch nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

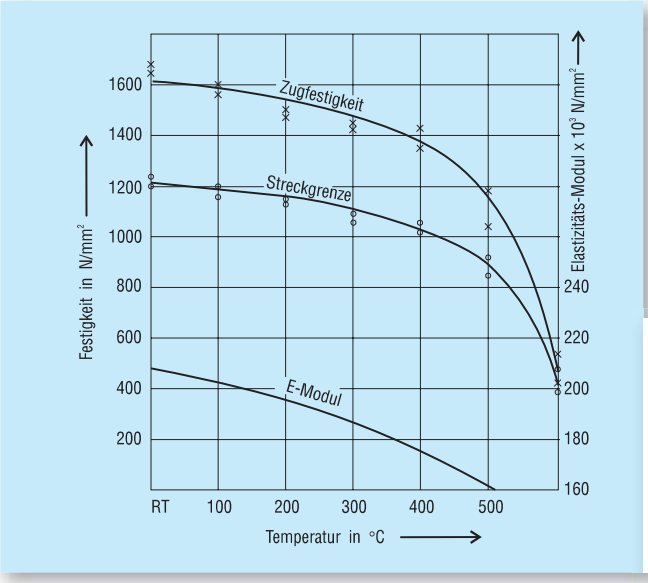


Abbildung 38
Festigkeitswerte und E-Modul des Stahles X 22 CrMoV 12-1 in Abhängigkeit von der Temperatur

Kupferlegierungen

Kupferlegierungen sind absolut unmagnetisch und haben eine sehr gute elektrische Leitfähigkeit. Außerdem sind sie gegen viele Medien korrosionsbeständig. Diese Eigenschaften machen sie für viele Anwendungsfälle von Tellerfedern unentbehrlich.

- **CuSn 8** (2.1030): Zinnbronze nach DIN EN 1654 ist eine Legierung aus Kupfer und Zinn, die ihre Federeigenschaften durch Kaltverformung erhält. Die erreichbaren Festigkeitswerte liegen allerdings deutlich niedriger als bei Federstählen und der E-Modul erreicht nur etwa 55% des Wertes von Stahl. Dies muss bei der Federberechnung berücksichtigt werden und erlaubt die Auslegung von Tellerfedern für sehr kleine Kräfte.
- **CuBe 2** (2.1247): Kupfer-Beryllium ist ein hervorragender Federwerkstoff. Diese aushärtbare Legierung erreicht nach der Aushärtung Festigkeitswerte, die mit Stahl vergleichbar sind. Der E-Modul beträgt jedoch nur etwa 60% des E-Moduls von Stahl. Hervorzuheben ist die Anwendbarkeit dieser Legierung bei extrem tiefen Temperaturen bis in die Nähe des absoluten Nullpunktes.

7.4 Werkstoffe, Übersichtstabelle

Nickel-und Kobaltlegierungen

Aus der großen Zahl der Legierungen auf Nickel-Chrom- bzw. Nickel-Chrom-Kobalt-Basis haben einige auch für Tellerfedern Bedeutung erlangt. Es handelt sich um Legierungen, die durch Zusatz von Aluminium, Titan und/oder Niob/Tantal ausscheidungshärtbar sind. Diese Werkstoffe sind sehr zäh, d.h. sie haben eine hohe Dehnung und ein niedriges Streckgrenzenverhältnis, was sich in einem ungünstigen Setzverhalten der Tellerfedern äußert und deshalb schon bei der Federauslegung berücksichtigt werden muss. Dagegen sind die Dauerfestigkeitseigenschaften hervorragend. Bei richtiger Dimensionierung der Tellerfedern liegt meist Dauerfestigkeit über annähernd den gesamten Federungsbereich vor. Auf Grund ihrer Zusammensetzung weisen diese Legierungen eine hervorragende Beständigkeit gegen sehr viele Medien auf. Alle diese Legierungen sind sehr teuer und oft schwer zu beschaffen, in der Regel muss mit langen Lieferzeiten gerechnet werden. Ihre Verwendung bleibt daher meist auf solche Fälle beschränkt, wo aus technischen Gründen andere Werkstoffe nicht eingesetzt werden können.

- **NiCr 20 Co 18 Ti (Nimonic 90)** (2.4632, 2.4969): Diese Nickel-Chrom-Kobalt-Legierung macht von der Beschaffung her am wenigsten Probleme und wird deshalb am häufigsten verwendet. Sie hat sehr gute Warmfestigkeitseigenschaften und kann bei entsprechender Dimensionierung bei Temperaturen bis zu 700°C eingesetzt werden.
- **NiCr 15 Fe 7 TiAl (Inconel X 750)** (2.4669) und **NiCr 19 NbMo (Inconel 718)** (2.4668): Diese Nickel-Chrom-Legierungen sind praktisch kobaltfrei und werden aus diesem Grund in der Reaktortechnik bevorzugt. Ihre Aushärtung ist aufwendig und teuer, die Anwendung beschränkt sich daher auf einige Spezialfälle. NIMONIC und INCONEL sind Markennamen des Inco-Konzerns.
- **DURATHERM 600**: Dies ist eine aushärtbare Federlegierung auf Kobalt-Nickel-Basis mit ausgezeichneten Festigkeitseigenschaften. Bei Temperaturen von über 0°C ist der Werkstoff unmagnetisch. Er kann für sehr hohe Temperaturen (600°C und darüber) verwendet werden. Der sehr hohe Preis dieser Legierung begrenzt allerdings die Anwendung trotz der hervorragenden Eigenschaften. DURATHERM ist ein eingetragenes Warenzeichen der Vacuumschmelze GmbH, Hanau.

7.4 Werkstoffe, Übersichtstabelle

Kurzname	AISI ASTM	W-Nr.	Norm	Chemische Zusammensetzung in Gewichts-%					
Stähle für normale Beanspruchung				**C**	**Si**	**Mn**	**P max.**	**S max.**	**Cr**
Standardwerkstoffe									
C 60S	1060	1.1211	DIN EN 10132-4	0,57...0,65	0,15...0,35	0,60...0,90	0,025	0,025	max. 0,40
C 67S	1070	1.1231	DIN EN 10132-4	0,65...0,73	0,15...0,35	0,60...0,90	0,025	0,025	max. 0,40
C 75S	1078	1.1248	DIN EN 10132-4	0,70...0,80	0,15...0,35	0,60...0,90	0,025	0,025	max. 0,40
51 CrV 4	6150	1.8159	DIN EN 10132-4	0,47...0,55	max. 0,40	0,70...1,10	0,025	0,025	0,90...1,20
			DIN 17221	0,47...0,55	0,15...0,40	0,70...1,10	0,030	0,030	0,90...1,20
Sonderwerkstoffe für besondere Beanspruchung									
Korrosionsbeständige Stähle									
X 10 CrNi 18-8	301	1.4310	DIN EN 10151	0,05...0,15	max. 2,0	max. 2,0	0,045	0,015	16,0...19,0
X 7 CrNiAl 17-7	631	1.4568	DIN EN 10151	max. 0,09	max. 0,7	max. 1,0	0,040	0,015	16,0...18,0
X 5 CrNiMo 17-12-2	316	1.4401	DIN EN 10151	max. 0,07	max. 1,0	max. 2,0	0,045	0,015	16,5...18,5
X 5 CrNi 18-10	304	1.4301	DIN EN 10151	max. 0,07	max 1,0	max. 2,0	0,045	0,015	17,0...19,5
Warmfeste Stähle									
X 22 CrMoV 12-1	–	1.4923	DIN EN 10269	0,18...0,24	max. 0,5	0,40...0,90	0,025	0,015	11,0...12,5
X 39 CrMo 17-1	–	1.4122	DIN EN 10088-2	0,33...0,45	max. 1,0	max. 1,5	0,040	0,03	15,5...17,5
Kupferlegierungen				**Sn**	**P**	**Be**	**Ni + Co**	**Cu**	
CuSn 8	–	2.1030	DIN EN 1654	7,5...8,5	0,01...0,4	–	–	Rest	
CuBe 2	–	2.1247	DIN EN 1654	–	–	1,8...2,1	max. 0,3	Rest	
Nickel- und Kobaltlegierungen				**Ni**	**Cr**	**Co**	**Ti**	**Al**	**C**
NiCr 20 Co 18 Ti	HEV6	2.4632 / 2.4969		Rest	18,0...21,0	15,0...21,0	2,0...3,0	1,0...2,0	0,13 max.
(Nimonic 90)	5829C (AMS)								
NiCr 15 Fe 7 TiAl	688	2.4669		70,0 min.	14,0...17,0	1,0 max.	2,25...2,75	0,40...1,00	0,08 max.
(Inconel X 750)	5542L (AMS)								
NiCr 19 NbMo	5596J (AMS)	2.4668		50,0...55,0	17,0...21,0	1,0 max.	0,70...1,15	0,3...0,7	0,02...0,08
(Inconel 718)									
Duratherm 600	–	–		Rest	12	40...41	1,8...2,2	–	–
Nickel- und Kobaltlegierungen (Fortsetzung)				**S**	**P**	**B**	**Nb + Ta**	**Mo**	**W**
NiCr 20 Co 18 Ti	HEV6	2.4632 / 2.4969		0,015 max.	0,03 max.	0,02 max.	–	–	–
(Nimonic 90)	5829C (AMS)								
NiCr 15 Fe 7 TiAl	688	2.4669		0,015 max.	0,020 max.	–	0,7...1,2	–	–
(Inconel X 750)	5542L (AMS)								
NiCr 19 NbMo	5596J (AMS)	2.4668		0,015 max.	0,015 max.	0,006 max.	4,8...5,5	2,8...3,3	–
(Inconel 718)									
Duratherm 600	–	–		–	–	–	–	4	3,9

Die Angaben über den E-Modul und die Zugfestigkeit sind als Richtwerte zu betrachten.
Die Bereiche für Einsatztemperatur und Dicke können nur als Anhaltswerte dienen.
Bei warmfesten Stählen weichen Wärmebehandlung und Härte von den Angaben in den genannten Normen ab.

						Physikalische und mechanische Eigenschaften											
						Dichte	E-Modul in kN/mm²							Einsatz-	Zug-	Dicken-	Beschaf-
						kg/dm³	bei	100	200	300	400	500	600	temperatur	Festigkeit	bereich	fung
	V	Mo	Ni		N		RT	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	N/mm²	mm	
	–	max. 0,10	max. 0,40			7,85	206	202	–	–	–	–	–	–20...+100	1150–1750	0,2...7,0	leicht
	–	max. 0,10	max. 0,40			7,85	206	202	–	–	–	–	–	–20...+100	1200–1800	0,1...2,5	leicht
	–	max. 0,10	max. 0,40			7,85	206	202	–	–	–	–	–	–20...+100	1200–1800	0,1...1,5	leicht
	0,10...0,25	max. 0,10	max. 0,40			7,85	206	202	196	–	–	–	–	–50...+200	1200–1800	0,3...80	leicht
	0,10...0,20	–	–														
	–	max. 0,8	6,0...9,5		–	7,90	190	186	180	–	–	–	–	–200...+200	1150–1500	0,2...3,0	leicht
	–	–	6,5...7,8		–	7,90	195	190	180	171	–	–	–	–200...+300	1150–1700	0,2...4,0	erschwert
	–	2,0...2,5	10,0...13,0		max. 0,11	7,95	180	176	171	–	–	–	–	–200...+200	1000–1500	0,2...1,6	schwierig
	–	–	8,0...10,5		max. 0,11	7,90	185	179	171	–	–	–	–	–200...+200	1000–1500	0,2...1,6	erschwert
	0,25...0,35	0,80...1,20	0,30...0,80			7,7	216	209	200	190	179	167	–	–50...+500	1200–1400	1,5...20	leicht
	–	0,8...1,3	max. 1,0			7,7	215	212	205	200	190	–	–	–50...+400	1200–1400	0,3...6,0	leicht
						8,3	115	110	–	–	–	–	–	-50...+100	590–690	0,1...6,0	leicht
						8,8	135	131	125	–	–	–	–	–260...+200	1270–1450	0,1...2,5	leicht
	Si	**Mn**	**Fe**	**Cu**	**Zr**												
	1,0 max.	1,0 max.	1,5 max.	0,2 max.	0,15 max.	8,18	220	216	208	202	193	187	178	–200...+700	≥ 1100	bis 6,35	schwierig
	0,50 max.	1,0 max.	5,0...9,0	0,5 max.	–	8,28	214	207	198	190	179	170	158	–200...+600	≥ 1170	bis 6,35	schwierig
	0,35 max.	0,35 max.	Rest	0,2 max.	–	8,19	199	195	190	185	179	174	167	–200...+600	≥ 1240	bis 6,35	schwierig
	–	8,7	–	–	–	8,50	220	215	208	202	195	188	–	–200...+550	1150–1550	0,1...2,0	schwierig

Kapitel 8

Sonderausführungen

8.1 Tellerfedern zum Verspannen von Wälzlagern 43

8.2 Geschlitzte Tellerfedern 43

8.3 Tellerfedern mit Trapezquerschnitt 43

8.1 Tellerfedern zum Verspannen von Wälzlagern

In jedem Wälzlager muss ein gewisses Radialspiel vorhanden sein, um eine einwandfreie Funktion zu gewährleisten. Dadurch können bei hohen Drehzahlen starke Laufgeräusche entstehen. Da in vielen Fällen Wälzlager als Loslager eingebaut werden, um eine zwanglose Axialverschiebung zu ermöglichen, kann durch eine Verspannung mit geeigneten Tellerfedern ein spielfreier und damit auch geräuscharmer Lauf bewirkt werden. Zugleich können fertigungsbedingte Längentoleranzen und betriebsbedingte Wärmeausdehnungen leicht ausgeglichen werden. In enger Zusammenarbeit unserer Firma mit den SKF Kugellagerfabriken GmbH in Schweinfurt wurden für diesen besonderen Verwendungszweck Tellerfedergrößen festgelegt, deren Abmessungen konstruktionsgerecht den verschiedenen Wälzlagergrößen angepasst sind, die sog. Kugellagerfedern unserer Reihe „K". Neben der normalen, nicht geschlitzten Ausführung sind für Lager bis 95 mm Durchmesser auch geschlitzte Federn verfügbar, die bei sehr kleinen Vorspannkräften große Längendifferenzen überbrücken können (siehe Tabelle in Abschnitt 9.5). Wegen der von „normalen" Tellerfedern stark abweichenden Maßverhältnisse stimmen die Maß- und Krafttoleranzen dieser Federn nicht mit den Toleranzangaben der DIN 2093 (Kapitel 5) überein.

8.2 Geschlitzte Tellerfedern

Durch Anbringen von Schlitzen am Innen- oder Außendurchmesser einer Tellerfeder entstehen Zungen, die als Hebel am nichtgeschlitzten Teil des Querschnitts wirken und dessen Federkraft verringern. Gleichzeitig wird der Federweg vergrößert (Abb. 39). Es entstehen relativ „weiche" Federn mit großem Federweg und – im Verhältnis zum Außendurchmesser – kleiner Federkraft. Voraussetzung für den Einsatz solcher Federn ist jedoch, dass die zulässigen Beanspruchungen im geschlossenen Ringteil nicht überschritten werden, d.h. es muss ein entsprechend großer Außendurchmesser zur Verfügung stehen.

Bei Beachtung dieser Einschränkungen und einiger Gestaltungsregeln bieten sich dieser Art von Tellerfedern vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Das klassische Beispiel ist die Kupplungsfeder in Fahrzeugkupplungen, die aber nicht zu unserem Fertigungsprogramm gehört und hier nicht weiter behandelt werden soll. Bekannt sind auch die geschlitzte Kugellagerfedern, die extrem niedrige Anpresskräfte ermöglichen (siehe Abschnitt 8.1).

Die Berechnung geschlitzter Tellerfedern kann unter Berücksichtigung der Hebelverhältnisse in erster Näherung nach Abschnitt 1.2 erfolgen.

Je nach Form der Schlitze bzw. Zungen müssen jedoch mehr oder weniger große Abweichungen der tatsächlichen von der errechneten Federkraft in Kauf genommen werden. Die Durchbiegung der Zungen macht meist nur einen kleinen Prozentsatz des gesamten Federweges aus und kann vernachlässigt werden. Ein genaueres Berechnungsverfahren ist im Quellenverzeichnis[7] angegeben. Wenn geschlitzte Tellerfedern in Betracht gezogen werden, empfehlen wir auf jeden Fall Rücksprache mit unserem Technischen Verkauf, da neben der Auslegung auch die Fertigungsmöglichkeit geklärt werden muss.

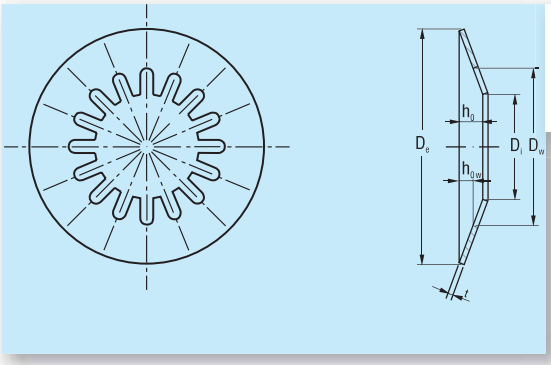


Abbildung 39
Geschlitzte Tellerfeder

8.3 Tellerfedern mit Trapezquerschnitt

Durch trapezförmige Ausbildung des Federquerschnitts kann eine gleichmäßigere Spannungsverteilung an der Ober-und Unterseite erreicht werden. Die günstigeren Zugspannungen an der Unterseite ergeben eine bessere Lebensdauer; die gleichmäßigeren Druckspannungen an der Oberseite haben ein stärkeres Setzen zur Folge. Derselbe Effekt, nämlich eine gleichmäßige Verteilung der Zugspannungen an den Stellen II und III und damit optimale Dauerfestigkeit kann aber auch bei einem Rechteckquerschnitt durch entsprechende Wahl der Maßverhältnisse d und h_0/t erreicht werden[5],[6], so dass in dieser Hinsicht der Trapezquerschnitt keinen Vorteil bietet. Bei gleichem mittlerem Winkel des Federquerschnitts kann eine trapezförmige Tellerfeder weniger Federweg machen als eine entsprechende Feder mit Rechteckquerschnitt (Abb. 40). Das lässt sich nur durch zusätzliche Zwischenringe ausgleichen, was aber einen größeren Raumbedarf zur Folge hat.

Der Hauptvorteil des trapezförmigen Querschnittes liegt in der Möglichkeit, ohne zusätzliche Teile den Hub einer Feder zu begrenzen. Dadurch kann eine Feder so ausgelegt werden, dass sie über den gesamten Federweg dauerfest ist. Am Ende des Federweges ist kein progressiver Anstieg der Federkraft vorhanden.

Bei gleichem Einbauraum und unter Beachtung der zulässigen Spannungen können mit trapezförmigen Federn keine günstigeren Federdaten (mehr Kraft oder mehr Federweg) erreicht werden als mit Federn mit Rechteckquerschnitt. Diese Tatsache und die hohen Herstellungskosten sind wohl als Grund dafür anzusehen, dass trapezförmige Tellerfedern heute praktisch keine Bedeutung mehr haben.

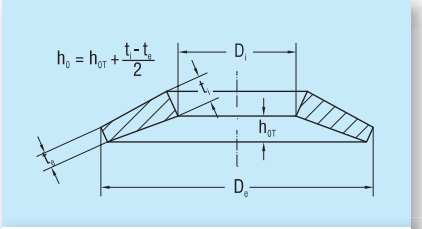
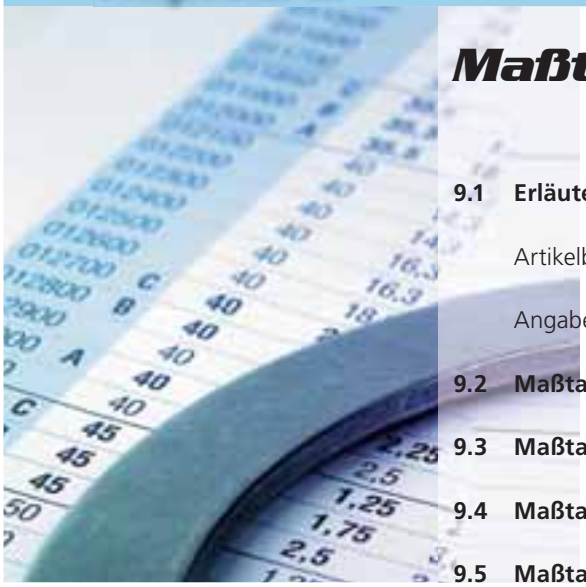


Abbildung 40
Tellerfeder mit Trapezquerschnitt

Kapitel 9



Maßtabellen

9.1 Erläuterungen zu den Maßtabellen 45

Artikelbezeichnung 45

Angaben zu Federkraft und Spannung 45

9.2 Maßtabellen für SCHNORR Tellerfedern 46

9.3 Maßtabellen für korrosionsbeständige SCHNORR Tellerfedern 56

9.4 Maßtabellen für warmfeste SCHNORR Tellerfedern 62

9.5 Maßtabellen für SCHNORR Tellerfedern „K“ 74

9.6 SCHNORR Tellerfedern „Z“ 77

Umrechnungsfaktoren 77

Maßtabellen für SCHNORR Tellerfedern „Z“ 78

9.1 Erläuterungen zu den Maßtabellen

In den nachfolgenden Tabellen sind die in DIN 2093 genormten Tellerfedern sowie die Federgrößen der Schnorr Werksnorm aufgeführt. Die Größen nach DIN 2093 sind durch Fettdruck besonders hervorgehoben. Das vorgesetzte A, B oder C zeigt die Zugehörigkeit zu der entsprechenden Reihe.

Alle aufgeführten Federgrößen werden normalerweise auf Lager gehalten, der Fettdruck weist also nicht auf eine bessere Liefermöglichkeit hin.

Die angegebenen Artikelnummern beziehen sich auf die übliche Ausführung aus Federstahl mit phosphatierter Oberfläche.

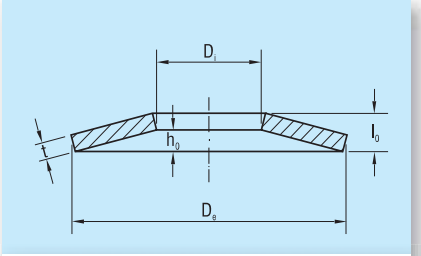


Abbildung 41
Tellerfederquerschnitt mit Hauptmaßen

Artikelbezeichnung

Bezeichnung einer Tellerfeder mit D_e = 40 mm, D_i = 20,4 mm und t =1,5 mm:

Tellerfeder 40 x 20,4 x 1,5

oder bei Federn nach DIN 2093:

Tellerfeder DIN 2093-B 40

oder mit Artikelnummer:

Tellerfeder 012800

Angaben zu Federkraft und Spannung

Für die Kraft und die maßgebende Spannung sind die Werte bei den vier Punkten s = 0,25 h_0, s = 0,5 h_0, s = 0,75 h_0 und s = h_0 angegeben. Auch bei Federn der Gruppe 3 mit reduzierter Dicke t' sind diese Werte auf h_0 und nicht auf h_0' bezogen, der Federweg s = h_0 entspricht also nicht der wirklichen Flachlage. Damit lässt sich der Kraft- und Spannungsverlauf der einzelnen Federgrößen mit genügender Genauigkeit aufzeichnen. Bei s = 0,75 h_0 ist der Wert s wie in DIN 2093 auf zwei Stellen gerundet. Federkraft F und maßgebende Spannung σ sind für den gerundeten Wert exakt berechnet. Die maßgebende Spannung ist die Zugspannung an der Unterseite an der Stelle II oder III, die bei s = 0,75 h_0 den größeren Wert ergibt.

Bei ruhender oder selten wechselnder Belastung können die Federn bis zum flachgedrückten Zustand belastet werden (vgl. Abschnitt 2.1). Es ist jedoch zu beachten, dass ab s = 0,75 h_0 der tatsächliche Kennlinienverlauf abweichend von der Rechnung progressiv ansteigt (siehe Abschnitt 1.7 und Abb. 10).

Bei schwingender Belastung muss die Berechnung nach Abschnitt 2.2 durchgeführt werden. Mit Hilfe des aufgezeichneten Spannungsverlaufes und der Dauer- und Zeitfestigkeitsschaubilder (Abb. 18–20) kann die Lebensdauer auch ohne Berechnung der Spannung abgeschätzt werden.

Sämtliche Werte wurden für einen E-Modul von 206000 N/mm² und μ = 0,3 errechnet und gelten nur für Tellerfedern aus Federstahl DIN 17221 und DIN EN 10132-4 (z.B. 51 CrV 4 oder C67S). Bei Verwendung anderer Werkstoffe mit abweichendem E-Modul müssen die Werte entsprechend umgerechnet werden, bei niedrigerer Festigkeit muss die freie Höhe h_0 bzw. die Bauhöhe l_0 verringert werden (siehe Kapitel 1 und 2).

Bei der Auslegung von Sondergrößen oder Federn aus Sonderwerkstoffen bitten wir Sie, sich von uns beraten zu lassen. Wir führen die erforderlichen Berechnungen schnell und selbstverständlich kostenlos für Sie durch und informieren Sie auch über die Fertigungsmöglichkeit.

9.2 Maßtabellen für SCHNORR Tellerfedern Ø 6–20 mm

Artikel-nummer	Bestellmaße						Gewicht je 1000 St.	Spannung σ_{OM} bei s = h_0
	D_e [mm]	D_i [mm]	t [mm]	l_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0/t	[kg]	[N/mm²]
000100	6	3,2	0,3	0,45	0,15	0,50	0,044	–1623
000200	8	3,2	0,2	0,4	0,20	1,00	0,064	–710
000300	8	3,2	0,3	0,55	0,25	0,83	0,093	–1332
000400	8	3,2	0,4	0,6	0,20	0,50	0,126	–1421
000550 C	**8**	**4,2**	**0,2**	0,45	0,25	1,25	0,055	–1003
000600 B	**8**	**4,2**	**0,3**	0,55	0,25	0,83	0,080	–1505
000700 A	**8**	**4,2**	**0,4**	0,6	0,20	0,50	0,107	–1605
000800	10	3,2	0,3	0,65	0,35	1,17	0,157	–1147
000900	10	3,2	0,4	0,7	0,30	0,75	0,211	–1311
001000	10	3,2	0,5	0,75	0,25	0,50	0,266	–1365
001100	10	4,2	0,4	0,7	0,30	0,75	0,193	–1384
001200	10	4,2	0,5	0,75	0,25	0,50	0,243	–1441
001300 C	**10**	**5,2**	**0,25**	0,55	0,30	1,20	0,109	–957
001400 B	**10**	**5,2**	**0,4**	0,7	0,30	0,75	0,170	–1531
001500 A	**10**	**5,2**	**0,5**	0,75	0,25	0,50	0,214	–1595
001600	12	4,2	0,4	0,8	0,40	1,00	0,297	–1228
001700	12	4,2	0,5	0,85	0,35	0,70	0,374	–1343
001800	12	4,2	0,6	1	0,40	0,67	0,450	–1841
001900	12	5,2	0,5	0,9	0,40	0,80	0,345	–1619
002000	12	5,2	0,6	0,95	0,35	0,58	0,415	–1700
002100	12	6,2	0,5	0,85	0,35	0,70	0,310	–1544
002200	12	6,2	0,6	0,95	0,35	0,58	0,373	–1853
002300	12,5	5,2	0,5	0,85	0,35	0,70	0,382	–1288
002050 C	**12,5**	**6,2**	**0,35**	0,8	0,45	1,29	0,251	–1250
002500 B	**12,5**	**6,2**	**0,5**	0,85	0,35	0,70	0,346	–1388
002700 A	**12,5**	**6,2**	**0,7**	1	0,30	0,43	0,488	–1666
002750 C	**14**	**7,2**	**0,35**	0,8	0,45	1,29	0,308	–1018
002800 B	**14**	**7,2**	**0,5**	0,9	0,40	0,80	0,425	–1293
002900 A	**14**	**7,2**	**0,8**	1,1	0,30	0,38	0,676	–1551
003000	15	5,2	0,4	0,95	0,55	1,38	0,468	–1079
003100	15	5,2	0,5	1	0,50	1,00	0,588	–1226
003200	15	5,2	0,6	1,05	0,45	0,75	0,708	–1324
003300	15	5,2	0,7	1,1	0,40	0,57	0,828	–1373
003500	15	6,2	0,5	1	0,50	1,00	0,553	–1275
003600	15	6,2	0,6	1,05	0,45	0,75	0,665	–1377
003700	15	6,2	0,7	1,1	0,40	0,57	0,778	–1428
003800	15	8,2	0,7	1,1	0,40	0,57	0,654	–1646
003900	15	8,2	0,8	1,2	0,40	0,50	0,740	–1881
004100 C	**16**	**8,2**	**0,4**	0,9	0,50	1,25	0,444	–988
004300 B	**16**	**8,2**	**0,6**	1,05	0,45	0,75	0,672	–1333
004400	16	8,2	0,7	1,15	0,45	0,64	0,786	–1555
004500	16	8,2	0,8	1,2	0,40	0,50	0,888	–1580
004600 A	**16**	**8,2**	**0,9**	1,25	0,35	0,39	1,002	–1555
004700	18	6,2	0,4	1	0,60	1,50	0,677	–816
004800	18	6,2	0,5	1,1	0,60	1,20	0,850	–1021
004900	18	6,2	0,6	1,2	0,60	1,00	1,024	–1225
005000	18	6,2	0,7	1,25	0,55	0,79	1,197	–1310
005100	18	6,2	0,8	1,3	0,50	0,63	1,353	–1361
005200	18	8,2	0,5	1,1	0,60	1,20	0,762	–1101
005300	18	8,2	0,7	1,25	0,55	0,79	1,073	–1412
005400	18	8,2	0,8	1,3	0,50	0,63	1,213	–1468
005500	18	8,2	1	1,4	0,40	0,40	1,524	–1468
005550 C	**18**	**9,2**	**0,45**	1,05	0,60	1,33	0,651	–1052
005600 B	**18**	**9,2**	**0,7**	1,2	0,50	0,71	0,999	–1363
005700 A	**18**	**9,2**	**1**	1,4	0,40	0,40	1,418	–1558
005800	20	8,2	0,6	1,3	0,70	1,17	1,191	–1202
005900	20	8,2	0,7	1,35	0,65	0,93	1,393	–1302
006000	20	8,2	0,8	1,4	0,60	0,75	1,574	–1373

Federweg s, Federkraft F und Spannung σ

bei s = 0,25 h_0			s = 0,50 h_0			s ≈ 0,75 h_0			s = 1,00 h_0		
s	F	σ	s	F	σ	s	F	σ	s	F_c	σ
[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]
0,038	45	343	0,075	84	750	0,110	117	1187	0,150	153	1753
0,050	12	233	0,100	20	433	0,150	26	600	0,200	30	733
0,063	46	401	0,125	79	750	0,190	105	1057	0,250	126	1290
0,050	69	365	0,100	130	792	0,150	186	1281	0,200	238	1832
0,063	21	409	0,125	33	753	0,190	39	1044	0,250	42	1251
0,063	52	501	0,125	89	938	0,190	119	1325	0,250	142	1621
0,050	78	343	0,100	147	749	0,150	210	1218	0,200	269	1750
0,088	51	378	0,175	82	697	0,260	98	951	0,350	108	1158
0,075	75	285	0,150	133	663	0,230	182	1168	0,300	220	1698
0,063	104	410	0,125	195	884	0,190	282	1447	0,250	357	2028
0,075	79	405	0,150	140	760	0,230	192	1084	0,300	232	1322
0,063	110	359	0,125	206	778	0,190	297	1280	0,250	377	1803
0,075	30	380	0,150	48	702	0,230	58	980	0,300	63	1169
0,075	88	485	0,150	155	912	0,230	213	1303	0,300	257	1591
0,063	122	343	0,125	228	749	0,190	329	1238	0,250	418	1749
0,100	85	385	0,200	141	714	0,300	178	988	0,400	206	1205
0,088	116	293	0,175	208	671	0,260	282	1122	0,350	352	1687
0,100	224	421	0,200	405	954	0,300	557	1600	0,400	694	2358
0,100	150	493	0,200	263	923	0,300	350	1291	0,400	424	1596
0,088	196	372	0,175	361	828	0,260	502	1350	0,350	641	1990
0,088	134	475	0,175	239	894	0,260	324	1249	0,350	404	1569
0,088	214	531	0,175	394	1007	0,260	547	1417	0,350	699	1795
0,088	111	245	0,175	200	568	0,260	270	955	0,350	337	1444
0,113	84	506	0,225	130	932	0,340	152	1284	0,450	160	1542
0,088	120	420	0,175	215	791	0,260	291	1105	0,350	363	1388
0,075	239	403	0,150	457	864	0,230	673	1419	0,300	855	1957
0,113	68	418	0,225	106	770	0,340	123	1061	0,450	131	1274
0,100	120	419	0,200	210	787	0,300	279	1101	0,400	338	1363
0,075	284	390	0,150	547	826	0,230	813	1341	0,300	1040	1836
0,138	101	401	0,275	154	735	0,410	175	998	0,550	181	1202
0,125	133	383	0,250	221	711	0,380	280	992	0,500	321	1199
0,113	171	269	0,225	302	630	0,340	409	1093	0,450	499	1625
0,100	214	358	0,200	395	789	0,300	555	1291	0,400	704	1865
0,125	138	424	0,250	229	787	0,380	291	1100	0,500	334	1331
0,113	178	400	0,225	314	752	0,340	426	1060	0,450	519	1307
0,100	222	328	0,200	411	727	0,300	578	1195	0,400	733	1734
0,100	256	479	0,200	474	909	0,300	666	1291	0,400	844	1624
0,100	367	523	0,200	689	997	0,300	982	1423	0,400	1261	1800
0,125	84	399	0,250	131	735	0,380	155	1018	0,500	165	1220
0,113	172	420	0,225	304	790	0,340	412	1115	0,450	503	1377
0,113	254	461	0,225	461	871	0,340	641	1238	0,450	798	1539
0,100	308	343	0,200	579	749	0,300	825	1218	0,400	1059	1749
0,088	363	386	0,175	697	820	0,260	1004	1287	0,350	1319	1831
0,150	85	319	0,300	126	583	0,450	139	791	0,600	137	944
0,150	130	350	0,300	206	646	0,450	245	885	0,600	267	1070
0,150	191	382	0,300	317	708	0,450	400	980	0,600	462	1195
0,138	236	253	0,275	414	600	0,410	550	1034	0,550	672	1580
0,125	286	333	0,250	523	745	0,380	733	1256	0,500	912	1803
0,150	140	417	0,300	222	769	0,450	265	1056	0,600	288	1279
0,138	255	434	0,275	446	815	0,410	594	1135	0,550	725	1412
0,125	309	292	0,250	564	660	0,380	791	1124	0,500	984	1624
0,100	425	388	0,200	814	824	0,300	1181	1309	0,400	1537	1842
0,150	121	440	0,300	186	809	0,450	214	1106	0,600	223	1333
0,125	233	421	0,250	417	792	0,380	572	1126	0,500	699	1387
0,100	451	382	0,200	865	814	0,300	1254	1295	0,400	1631	1826
0,175	214	432	0,350	342	797	0,530	413	1103	0,700	453	1327
0,163	262	416	0,325	442	775	0,490	570	1080	0,650	668	1320
0,150	315	398	0,300	557	748	0,450	751	1048	0,600	921	1300

Ø 20–40 mm

Artikel-nummer		Bestellmaße						Gewicht je 1000 St.	Spannung σ_{OM} bei $s = h_0$
		D_e [mm]	D_i [mm]	t [mm]	l_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0/t	[kg]	[N/mm²]
006100		20	8,2	0,9	1,45	0,55	0,61	1,776	–1416
006200		20	8,2	1	1,55	0,55	0,55	1,978	–1574
006300	C	**20**	**10,2**	**0,5**	1,15	0,65	1,30	0,876	–1024
006400	B	**20**	**10,2**	**0,8**	1,35	0,55	0,69	1,394	–1386
006500		20	10,2	0,9	1,45	0,55	0,61	1,573	–1560
006600		20	10,2	1	1,55	0,55	0,55	1,752	–1733
006700	A	**20**	**10,2**	**1,1**	1,55	0,45	0,41	1,913	–1560
006800		20	10,2	1,25	1,75	0,50	0,40	2,181	–1969
006900		20	10,2	1,5	1,8	0,30	0,20	2,610	–1418
007000	C	**22,5**	**11,2**	**0,6**	1,4	0,80	1,33	1,361	–1178
007100	B	**22,5**	**11,2**	**0,8**	1,45	0,65	0,81	1,799	–1276
007200	A	**22,5**	**11,2**	**1,25**	1,75	0,50	0,40	2,814	–1534
007400		23	8,2	0,7	1,5	0,80	1,14	1,939	–1173
007500		23	8,2	0,8	1,55	0,75	0,94	2,192	–1257
007600		23	8,2	0,9	1,6	0,70	0,78	2,472	–1320
007700		23	8,2	1	1,7	0,70	0,70	2,753	–1466
007800		23	10,2	0,9	1,65	0,75	0,83	2,270	–1500
007900		23	10,2	1	1,7	0,70	0,70	2,527	–1556
008000		23	10,2	1,25	1,9	0,65	0,52	3,172	–1806
008100		23	12,2	1	1,6	0,60	0,60	2,255	–1467
008200		23	12,2	1,25	1,85	0,60	0,48	2,807	–1834
008350		23	12,2	1,5	2	0,50	0,33	3,359	–1834
008600		25	10,2	1	1,75	0,75	0,75	3,105	–1371
008700	C	**25**	**12,2**	**0,7**	1,6	0,90	1,29	1,994	–1238
008800	B	**25**	**12,2**	**0,9**	1,6	0,70	0,78	2,543	–1238
008900		25	12,2	1	1,8	0,80	0,80	2,832	–1573
009000		25	12,2	1,25	1,95	0,70	0,56	3,526	–1720
009100	A	**25**	**12,2**	**1,5**	2,05	0,55	0,37	4,219	–1622
009200		28	10,2	0,8	1,75	0,95	1,19	3,233	–1078
009300		28	10,2	1	1,9	0,90	0,90	4,062	–1277
009400		28	10,2	1,25	2,05	0,80	0,64	5,057	–1419
009500		28	10,2	1,5	2,2	0,70	0,47	6,051	–1490
009600		28	12,2	1	1,95	0,95	0,95	3,789	–1415
009700		28	12,2	1,25	2,1	0,85	0,68	4,717	–1583
009800		28	12,2	1,5	2,25	0,75	0,50	5,645	–1676
009900	C	**28**	**14,2**	**0,8**	1,8	1,00	1,25	2,760	–1282
010000	B	**28**	**14,2**	**1**	1,8	0,80	0,80	3,468	–1282
010100		28	14,2	1,25	2,1	0,85	0,68	4,317	–1702
010200	A	**28**	**14,2**	**1,5**	2,15	0,65	0,43	5,166	–1562
010300		31,5	12,2	1	2,1	1,10	1,10	5,035	–1250
010400		31,5	12,2	1,25	2,2	0,95	0,76	6,268	–1349
010500		31,5	12,2	1,5	2,35	0,85	0,57	7,501	–1448
010650	C	31,5	16,3	0,8	1,85	1,05	1,31	3,442	–1077
010700	B	31,5	16,3	1,25	2,15	0,90	0,72	5,384	–1442
010800		31,5	16,3	1,5	2,4	0,90	0,60	6,443	–1730
010900	A	31,5	16,3	1,75	2,45	0,70	0,40	7,546	–1570
011000		31,5	16,3	2	2,75	0,75	0,38	8,605	–1923
011100		34	12,3	1	2,25	1,25	1,25	6,006	–1201
011200		34	12,3	1,25	2,35	1,10	0,88	7,477	–1322
011300		34	12,3	1,5	2,5	1,00	0,67	8,948	–1442
011400		34	14,3	1,25	2,4	1,15	0,92	7,074	–1435
011500		34	14,3	1,5	2,55	1,05	0,70	8,465	–1572
011600		34	16,3	1,5	2,55	1,05	0,70	7,911	–1658
011700		34	16,3	2	2,85	0,85	0,43	10,57	–1790
011850	C	35,5	18,3	0,9	2,05	1,15	1,28	4,952	–1042
011900	B	35,5	18,3	1,25	2,25	1,00	0,80	6,865	–1258
012000	A	**35,5**	**18,3**	**2**	2,8	0,80	0,40	10,97	–1611
012100		40	14,3	1,25	2,65	1,40	1,12	10,40	–1213

Federweg s, Federkraft F und Spannung σ

bei s = 0,25 h_0			s = 0,50 h_0			s ≈ 0,75 h_0			s = 1,00 h_0		
s	F	σ	s	F	σ	s	F	σ	s	F_c	σ
[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]
0,138	374	311	0,275	685	696	0,410	949	1147	0,550	1201	1690
0,138	494	374	0,275	917	823	0,410	1288	1336	0,550	1648	1944
0,163	141	422	0,325	219	776	0,490	254	1067	0,650	268	1283
0,138	304	421	0,275	547	793	0,410	745	1112	0,550	929	1394
0,138	412	452	0,275	754	856	0,410	1045	1206	0,550	1323	1520
0,138	544	484	0,275	1010	920	0,410	1418	1300	0,550	1815	1646
0,113	548	379	0,225	1050	809	0,340	1531	1301	0,450	1976	1821
0,125	890	484	0,250	1708	1030	0,380	2507	1665	0,500	3222	2310
0,075	857	427	0,150	1695	877	0,230	2576	1381	0,300	3340	1843
0,200	240	488	0,400	370	897	0,600	425	1227	0,800	444	1478
0,163	306	412	0,325	533	771	0,490	710	1083	0,650	855	1335
0,125	693	383	0,250	1330	815	0,380	1952	1316	0,500	2509	1825
0,200	279	397	0,400	448	733	0,600	544	1007	0,800	602	1221
0,188	332	384	0,375	560	714	0,560	717	988	0,750	842	1214
0,175	391	251	0,350	687	595	0,530	925	1046	0,700	1119	1563
0,175	507	315	0,350	909	723	0,530	1249	1241	0,700	1536	1820
0,188	463	469	0,375	802	877	0,560	1055	1221	0,750	1273	1512
0,175	538	451	0,350	964	849	0,530	1325	1204	0,700	1629	1487
0,163	870	422	0,325	1627	923	0,490	2320	1511	0,650	2955	2159
0,150	475	429	0,300	872	813	0,450	1217	1152	0,600	1536	1446
0,150	863	399	0,300	1630	868	0,450	2331	1404	0,600	3000	2010
0,125	1159	473	0,250	2250	994	0,380	3338	1586	0,500	4320	2178
0,188	492	397	0,375	870	745	0,560	1168	1041	0,750	1436	1295
0,225	331	499	0,450	515	919	0,680	601	1265	0,900	635	1519
0,175	367	389	0,350	644	730	0,530	868	1031	0,700	1050	1268
0,200	585	500	0,400	1021	938	0,600	1359	1312	0,800	1647	1624
0,175	848	357	0,350	1573	792	0,530	2232	1320	0,700	2814	1895
0,138	1040	425	0,275	2007	898	0,410	2910	1410	0,550	3821	1988
0,238	348	375	0,475	553	692	0,710	661	947	0,950	723	1149
0,225	512	385	0,450	872	718	0,680	1135	1004	0,900	1337	1226
0,200	737	327	0,400	1339	735	0,600	1853	1225	0,800	2322	1797
0,175	1003	424	0,350	1899	911	0,530	2745	1478	0,700	3511	2074
0,238	590	467	0,475	992	870	0,710	1266	1204	0,950	1482	1480
0,213	844	451	0,425	1519	849	0,640	2089	1200	0,850	2590	1491
0,188	1149	406	0,375	2159	883	0,560	3065	1423	0,750	3949	2049
0,250	435	515	0,500	681	950	0,750	801	1304	1,000	859	1577
0,200	476	414	0,400	832	776	0,600	1107	1086	0,800	1342	1344
0,213	907	513	0,425	1634	968	0,640	2246	1369	0,850	2785	1703
0,163	1033	371	0,325	1970	795	0,490	2854	1281	0,650	3680	1806
0,275	587	426	0,550	951	788	0,830	1170	1091	1,100	1309	1320
0,238	761	385	0,475	1343	723	0,710	1800	1009	0,950	2207	1254
0,213	1033	351	0,425	1912	774	0,640	2697	1276	0,850	3413	1838
0,263	384	448	0,525	594	825	0,790	687	1132	1,050	722	1363
0,225	791	449	0,450	1409	844	0,680	1923	1194	0,900	2359	1478
0,225	1260	501	0,450	2314	950	0,680	3249	1354	0,900	4077	1689
0,175	1391	382	0,350	2669	814	0,530	3905	1310	0,700	5036	1826
0,188	2199	481	0,375	4239	1020	0,560	6148	1607	0,750	8054	2267
0,313	637	429	0,625	998	789	0,940	1175	1083	1,250	1258	1304
0,275	815	394	0,550	1395	734	0,830	1825	1026	1,100	2162	1255
0,250	1097	321	0,500	1982	730	0,750	2725	1225	1,000	3397	1807
0,288	913	461	0,575	1546	858	0,860	1990	1190	1,150	2347	1464
0,263	1224	447	0,525	2192	841	0,790	2997	1186	1,050	3704	1472
0,263	1291	495	0,525	2313	933	0,790	3163	1316	1,050	3908	1635
0,213	2097	445	0,425	4003	952	0,640	5803	1527	0,850	7498	2150
0,288	458	427	0,575	712	786	0,860	831	1076	1,150	884	1302
0,250	731	409	0,500	1277	766	0,750	1699	1073	1,000	2059	1329
0,200	1864	393	0,400	3576	837	0,600	5187	1332	0,800	6747	1878
0,350	904	406	0,700	1459	750	1,050	1780	1033	1,400	1984	1253

Ø 40–80 mm

Artikel-nummer		Bestellmaße						Gewicht je 1000 St.	Spannung σ_{OM} bei s = h_0
		D_e [mm]	D_i [mm]	t [mm]	l_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0/t	[kg]	[N/mm²]
012200		40	14,3	1,5	2,75	1,25	0,83	12,45	–1299
012300		40	14,3	2	3,05	1,05	0,53	16,63	–1455
012400		40	16,3	1,5	2,8	1,30	0,87	11,89	–1392
012500		40	16,3	2	3,1	1,10	0,55	15,89	–1571
012600		40	18,3	2	3,15	1,15	0,58	15,04	–1712
012700	C	**40**	**20,4**	**1**	2,3	1,30	1,30	7,067	–1024
012800	B	**40**	**20,4**	**1,5**	2,65	1,15	0,77	10,53	–1359
012900		40	20,4	2	3,1	1,10	0,55	14,06	–1733
013000	A	**40**	**20,4**	**2,25**	3,15	0,90	0,40	15,72	–1595
013100		40	20,4	2,5	3,45	0,95	0,38	17,52	–1871
013250	C	**45**	**22,4**	**1,25**	2,85	1,60	1,28	11,34	–1227
013300	B	**45**	**22,4**	**1,75**	3,05	1,30	0,74	15,89	–1396
013400	A	**45**	**22,4**	**2,5**	3,5	1,00	0,40	22,77	–1534
013500		50	18,4	1,25	2,85	1,60	1,28	16,13	–892
013600		50	18,4	1,5	3,3	1,80	1,20	19,31	–1204
013700		50	18,4	2	3,5	1,50	0,75	25,79	–1338
013800		50	18,4	2,5	4,1	1,60	0,64	32,14	–1784
013900		50	18,4	3	4,4	1,40	0,47	38,35	–1873
014000		50	20,4	2	3,5	1,50	0,75	24,85	–1371
014100		50	20,4	2,5	3,85	1,35	0,54	30,97	–1543
014200		50	22,4	2	3,6	1,60	0,80	23,82	–1511
014300		50	22,4	2,5	3,9	1,40	0,56	29,68	–1653
014400	C	**50**	**25,4**	**1,25**	2,85	1,60	1,28	13,82	–1006
014500		50	25,4	1,5	3,1	1,60	1,07	16,54	–1207
014600	B	**50**	**25,4**	**2**	3,4	1,40	0,70	22,09	–1408
014700		50	25,4	2,5	3,9	1,40	0,56	27,52	–1760
014800	A	**50**	**25,4**	**3**	4,1	1,10	0,37	32,85	–1659
014950	C	**56**	**28,5**	**1,5**	3,45	1,95	1,30	20,85	–1174
015000	B	**56**	**28,5**	**2**	3,6	1,60	0,80	27,81	–1284
015100	A	**56**	**28,5**	**3**	4,3	1,30	0,43	41,57	–1565
015200		60	20,5	2	4,1	2,10	1,05	38,16	–1284
015300		60	20,5	2,5	4,3	1,80	0,72	47,69	–1376
015400		60	20,5	3	4,7	1,70	0,57	57,04	–1560
015500		60	25,5	2,5	4,4	1,90	0,76	44,20	–1527
015600		60	25,5	3	4,65	1,65	0,55	52,86	–1592
015700		60	30,5	2,5	4,3	1,80	0,72	39,94	–1572
015800		60	30,5	3	4,7	1,70	0,57	47,77	–1782
015900		60	30,5	3,5	5	1,50	0,43	55,10	–1834
016050	C	**63**	**31**	**1,8**	4,15	2,35	1,31	32,53	–1315
016100	B	**63**	**31**	**2,5**	4,25	1,75	0,70	44,85	–1360
016200		63	31	3	4,8	1,80	0,60	53,86	–1679
016300	A	**63**	**31**	**3,5**	4,9	1,40	0,40	62,13	–1524
016400		70	25,5	2	4,5	2,50	1,25	50,78	–1135
016500		70	30,5	2,5	4,9	2,40	0,96	59,53	–1430
016600		70	30,5	3	5,1	2,10	0,70	71,19	–1502
016700		70	35,5	3	5,1	2,10	0,70	65,21	–1615
016800		70	35,5	4	5,8	1,80	0,45	86,13	–1845
016900		70	40,5	4	5,6	1,60	0,40	77,04	–1813
017000		70	40,5	5	6,2	1,20	0,24	95,15	–1700
017100	C	**71**	**36**	**2**	4,6	2,60	1,30	44,66	–1295
017200	B	**71**	**36**	**2,5**	4,5	2,00	0,80	56,11	–1246
017300	A	**71**	**36**	**4**	5,6	1,60	0,40	88,63	–1594
017400		80	31	2,5	5,3	2,80	1,12	82,01	–1233
017500		80	31	3	5,5	2,50	0,83	98,01	–1321
017600		80	31	4	6,1	2,10	0,53	130,00	–1480
017700		80	36	3	5,7	2,70	0,90	91,92	–1497
017800		80	36	4	6,2	2,20	0,55	21,9	–1626
017850	C	**80**	**41**	**2,25**	5,2	2,95	1,31	63,54	–1311

Federweg s, Federkraft F und Spannung σ

bei s = 0,25 h_0			s = 0,50 h_0			s ≈ 0,75 h_0			s = 1,00 h_0		
s	F	σ	s	F	σ	s	F	σ	s	F_c	σ
[mm]	[N]	[N/mm$_2$]	[mm]	[N]	[N/mm$_2$]	[mm]	[N]	[N/mm$_2$]	[mm]	[N]	[N/mm$_2$]
0,313	1114	376	0,625	1929	702	0,940	2550	981	1,250	3061	1207
0,263	1800	393	0,525	3363	855	0,790	4781	1392	1,050	6096	1988
0,325	1224	430	0,650	2102	802	0,980	2758	1122	1,300	3281	1376
0,275	1972	375	0,550	3663	825	0,830	5195	1359	1,100	6580	1948
0,288	2182	365	0,575	4030	810	0,860	5642	1333	1,150	7171	1946
0,325	565	422	0,650	876	776	0,980	1018	1067	1,300	1072	1283
0,288	1109	431	0,575	1953	810	0,860	2616	1134	1,150	3201	1410
0,275	2175	484	0,550	4041	920	0,830	5730	1314	1,100	7258	1646
0,225	2336	392	0,450	4481	835	0,680	6544	1339	0,900	8456	1871
0,238	3351	470	0,475	6453	997	0,710	9359	1573	0,950	12243	2219
0,400	1041	497	0,800	1620	914	1,200	1891	1253	1,600	2007	1514
0,325	1524	433	0,650	2701	814	0,980	3659	1148	1,300	4475	1421
0,250	2773	383	0,500	5320	815	0,750	7716	1296	1,000	10037	1825
0,400	757	325	0,800	1178	597	1,200	1375	817	1,600	1459	984
0,450	1379	423	0,900	2184	779	1,350	2606	1069	1,800	2837	1293
0,375	1918	259	0,750	3392	609	1,130	4586	1054	1,500	5603	1577
0,400	3703	407	0,800	6733	917	1,200	9315	1529	1,600	11673	2244
0,350	5043	530	0,700	9546	1138	1,050	13688	1824	1,400	17650	2590
0,375	1966	397	0,750	3478	745	1,130	4702	1048	1,500	5745	1295
0,338	3008	373	0,675	5601	817	1,010	7902	1330	1,350	10098	1922
0,400	2247	466	0,800	3924	872	1,200	5222	1220	1,600	6329	1509
0,350	3261	364	0,700	6044	806	1,050	8510	1324	1,400	10817	1920
0,400	854	410	0,800	1328	755	1,200	1550	1035	1,600	1646	1251
0,400	1242	447	0,800	2028	828	1,200	2512	1145	1,600	2844	1397
0,350	1949	430	0,700	3491	810	1,050	4762	1140	1,400	5898	1421
0,350	3473	494	0,700	6437	938	1,050	9063	1332	1,400	11519	1677
0,275	4255	424	0,550	8214	897	0,830	12044	1418	1,100	15640	1987
0,488	1458	483	0,975	2259	889	1,460	2621	1217	1,950	2766	1470
0,400	1910	415	0,800	3335	778	1,200	4438	1090	1,600	5379	1349
0,325	4142	371	0,650	7895	795	0,980	11441	1281	1,300	14752	1806
0,525	2318	409	1,050	3802	758	1,580	4737	1049	2,100	5380	1273
0,450	3018	297	0,900	5379	685	1,350	7302	1165	1,800	9006	1736
0,425	4449	414	0,850	8234	909	1,280	11615	1486	1,700	14698	2145
0,475	3447	451	0,950	6081	847	1,430	8195	1190	1,900	9997	1471
0,413	4495	369	0,825	8352	812	1,240	11803	1334	1,650	15002	1922
0,450	3447	486	0,900	6145	914	1,350	8342	1285	1,800	10289	1600
0,425	5083	502	0,850	9407	953	1,280	13269	1358	1,700	16792	1703
0,375	6591	437	0,750	12574	937	1,130	18225	1507	1,500	23528	2123
0,588	2364	536	1,175	3658	986	1,760	4237	1351	2,350	4463	1629
0,438	2942	410	0,875	5270	773	1,310	7179	1086	1,750	8904	1355
0,450	4891	477	0,900	8981	904	1,350	12536	1280	1,800	15825	1606
0,350	5399	383	0,700	10359	815	1,050	15025	1296	1,400	19545	1826
0,625	2408	406	1,250	3771	748	1,880	4441	1024	2,500	4755	1235
0,600	3755	475	1,200	6297	883	1,800	8031	1225	2,400	9360	1501
0,525	4676	433	1,050	8376	814	1,580	11453	1148	2,100	14152	1426
0,525	5028	493	1,050	9007	928	1,580	12316	1310	2,100	15218	1628
0,450	8757	430	0,900	16634	925	1,350	23923	1486	1,800	30919	2114
0,400	8391	411	0,800	16099	877	1,200	23351	1399	1,600	30376	1974
0,300	11544	458	0,600	22728	946	0,900	33672	1465	1,200	44495	2016
0,650	2861	532	1,300	4432	980	1,950	5144	1342	2,600	5426	1620
0,500	2894	402	1,000	5054	754	1,500	6725	1055	2,000	8152	1306
0,400	7379	393	0,800	14157	837	1,200	20535	1332	1,600	26712	1877
0,700	3678	425	1,400	5933	785	2,100	7239	1081	2,800	8070	1312
0,625	4531	393	1,250	7847	735	1,880	10369	1028	2,500	12451	1265
0,525	7319	378	1,050	13677	823	1,580	19447	1343	2,100	24791	1920
0,675	5401	487	1,350	9196	909	2,030	11936	1268	2,700	14106	1556
0,550	8163	362	1,100	15168	799	1,650	21400	1310	2,200	27245	1895
0,738	3698	544	1,475	5715	1000	2,210	6611	1369	2,950	6950	1652

Ø 80–200 mm

Artikel-nummer		Bestellmaße								Gewicht je 1000 St.	Spannung σ_{OM} bei s = h_0
		D_e [mm]	D_i [mm]	t [mm]	t' [mm]	l_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0/t	h'_0/t'	[kg]	[N/mm²]
017900	B	**80**	**41**	**3**		5,3	2,30	0,77		84,92	–1363
018000		80	41	4		6,2	2,20	0,55		112,6	–1738
018100	A	**80**	**41**	**5**		6,7	1,70	0,34		139,5	–1679
018200	C	**90**	**46**	**2,5**		5,7	3,20	1,28		89,74	–1246
018300	B	**90**	**46**	**3,5**		6	2,50	0,71		25,3	–1363
018400	A	**90**	**46**	**5**		7	2,00	0,40		177,6	–1558
018500		100	41	4		7,2	3,20	0,80		200,0	–1465
018600		100	41	5		7,75	2,75	0,55		248,9	–1574
018750	C	**100**	**51**	**2,7**		6,2	3,50	1,30		120,1	–1191
018800	B	**100**	**51**	**3,5**		6,3	2,80	0,80		155,4	–1235
018900		100	51	4		7	3,00	0,75		177,6	–1512
019000		100	51	5		7,8	2,80	0,56		221,1	–1764
019150	A	**100**	**51**	**6**		8,2	2,20	0,37		262,8	–1663
019250	C	**112**	**57**	**3**		6,9	3,90	1,30		168,0	–1174
019300	B	**112**	**57**	**4**		7,2	3,20	0,80		222,7	–1284
019450	A	**112**	**57**	**6**		8,5	2,50	0,42		332,1	–1505
019500		125	41	4		8,2	4,20	1,05		338,1	–1177
019600		125	51	4		8,5	4,50	1,13		315,6	–1317
019700		125	51	5		8,9	3,90	0,78		391,5	–1426
019850		125	51	6		9,4	3,40	0,57		465,8	–1492
019900		125	61	5		9	4,00	0,80		357,6	–1573
020050		125	61	6		9,6	3,60	0,60		425,4	–1698
020100		125	61	8	7,5	10,9	2,90		0,45	547,3	–1850
020200	C	**125**	**64**	**3,5**		8	4,50	1,29		242,3	–1273
020300	B	**125**	**64**	**5**		8,5	3,50	0,70		346,2	–1415
020400	A	**125**	**64**	**8**	7,5	10,6	2,60		0,41	529,9	–1708
020550		125	71	6		9,3	3,30	0,55		377,9	–1730
020600		125	71	8	7,4	10,4	2,40		0,41	479,6	–1709
020700		125	71	10	9,2	11,8	1,80		0,28	596,3	–1615
020850	C	**140**	**72**	**3,8**		8,7	4,90	1,29		329,7	–1203
020900	B	**140**	**72**	**5**		9	4,00	0,80		433,2	–1293
021000	A	**140**	**72**	**8**	7,5	11,2	3,20		0,49	663,0	–1675
021100		150	61	5		10,3	5,30	1,06		565,0	–1345
021250		150	61	6		10,8	4,80	0,80		676,8	–1462
021350		150	71	6		10,8	4,80	0,80		628,9	–1548
021400		150	71	8	7,5	12	4,00		0,60	803,6	–1733
021500		150	81	8	7,5	11,7	3,70		0,56	732,9	–1739
021600		150	81	10	9,3	13	3,00		0,40	908,8	–1779
021650	C	**160**	**82**	**4,3**		9,9	5,60	1,30		492,2	–1189
021750	B	**160**	**82**	**6**		10,5	4,50	0,75		679,8	–1333
021800	A	**160**	**82**	**10**	9,4	13,5	3,50		0,44	1089	–1753
021850	C	**180**	**92**	**4,8**		11	6,20	1,29		705,3	–1159
021950	B	**180**	**92**	**6**		11,1	5,10	0,85		862,5	–1192
022000	A	**180**	**92**	**10**	9,4	14	4,00		0,49	1381	–1576
022100		200	82	8	7,6	14,2	6,20		0,87	1554	–1415
022200		200	82	10	9,6	15,5	5,50		0,61	1962	–1581
022300		200	82	12	11,5	16,6	4,60		0,44	2351	–1595
022400		200	92	10	9,5	15,6	5,60		0,64	1840	–1679
022500		200	92	12	11,4	16,8	4,80		0,47	2208	–1737
022600		200	92	14	13,1	18,1	4,10		0,38	2537	–1743
022650	C	**200**	**102**	**5,5**		12,5	7,00	1,27		999,3	–1213
022700	B	**200**	**102**	**8**	7,5	13,6	5,60		0,81	1363	–1409
022800		200	102	10	9,4	15,6	5,60		0,66	1708	–1772
022900	A	**200**	**102**	**12**	11,25	16,2	4,20		0,44	2044	–1611
023000		200	102	14	13,1	18,2	4,20		0,39	2380	–1884
023100		200	112	12	11,1	16,2	4,20		0,46	1870	–1726
023200		200	112	14	12,9	17,5	3,50		0,36	2173	–1689
023300		200	112	16	14,8	18,8	2,80		0,27	2493	–1550

Federweg s, Federkraft F und Spannung σ

bei s = 0,25 h_0			s = 0,50 h_0			s ≈ 0,75 h_0			s = 1,00 h_0		
s	F	σ	s	F	σ	s	F	σ	s	F_c	σ
[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]
0,575	4450	434	1,150	7838	814	1,730	10539	1145	2,300	12844	1417
0,550	8726	486	1,100	16213	924	1,650	22874	1314	2,200	29122	1655
0,425	11821	439	0,850	22928	924	1,280	33682	1460	1,700	43952	2028
0,800	4232	509	1,600	6585	938	2,400	7684	1286	3,200	8157	1553
0,625	5836	421	1,250	10416	792	1,880	14189	1116	2,500	17487	1387
0,500	11267	382	1,000	21617	814	1,500	31354	1295	2,000	40786	1826
0,800	8714	437	1,600	15219	818	2,400	20251	1144	3,200	24547	1414
0,688	12345	374	1,375	22937	823	2,060	32328	1344	2,750	41201	1944
0,875	4779	490	1,750	7410	902	2,630	8613	1237	3,500	9091	1491
0,700	5624	399	1,400	9823	749	2,100	13070	1049	2,800	15843	1298
0,750	8673	476	1,500	15341	894	2,250	20674	1255	3,000	25338	1559
0,700	13924	496	1,400	25810	942	2,100	36339	1337	2,800	46189	1683
0,550	17061	424	1,100	32937	897	1,650	48022	1418	2,200	62711	1987
0,975	5834	483	1,950	9038	889	2,930	10493	1220	3,900	11064	1470
0,800	7639	415	1,600	13341	778	2,400	17752	1090	3,200	21518	1349
0,625	15800	363	1,250	30215	777	1,880	43812	1243	2,500	56737	1752
1,050	8501	370	2,100	13943	685	3,150	17346	945	4,200	19729	1150
1,125	10096	463	2,250	16265	856	3,380	19829	1179	4,500	22060	1431
0,975	13063	420	1,950	22931	787	2,930	30705	1103	3,900	37342	1363
0,850	17027	349	1,700	31514	770	2,550	44307	1264	3,400	56254	1832
1,000	14615	500	2,000	25526	938	3,000	33965	1312	4,000	41170	1624
0,900	19789	481	1,800	36336	911	2,700	50722	1290	3,600	64028	1619
0,725	34434	415	1,450	65305	893	2,180	93765	1436	2,900	120218	2034
1,125	8514	522	2,250	13231	961	3,380	15422	1319	4,500	16335	1591
0,875	12238	433	1,750	21924	816	2,630	29950	1151	3,500	37041	1432
0,650	31118	391	1,300	59520	833	1,950	85926	1326	2,600	111056	1870
0,825	19538	504	1,650	36302	959	2,480	51304	1366	3,300	65207	1718
0,600	30867	470	1,200	59149	908	1,800	85494	1314	2,400	110547	1688
0,450	42963	401	0,900	84219	829	1,350	124124	1284	1,800	163035	1766
1,225	9514	495	2,450	14773	911	3,680	17201	1250	4,900	18199	1508
1,000	12014	419	2,000	20982	787	3,000	27920	1101	4,000	33843	1363
0,800	31903	467	1,600	59967	895	2,400	85251	1284	3,200	108813	1634
1,325	15292	458	2,650	25021	848	3,980	31059	1172	5,300	35207	1426
1,200	19560	435	2,400	34161	814	3,600	45456	1138	4,800	55098	1406
1,200	20721	487	2,400	36189	913	3,600	48155	1277	4,800	58370	1580
1,000	35296	501	2,000	64684	954	3,000	89851	1357	4,000	112487	1711
0,925	34518	516	1,850	63876	985	2,780	89663	1409	3,700	112942	1781
0,750	50088	399	1,500	96120	846	2,250	139128	1342	3,000	180141	1887
1,400	12162	491	2,800	18832	904	4,200	21843	1238	5,600	23022	1494
1,125	17203	420	2,250	30431	790	3,380	41051	1110	4,500	50260	1377
0,875	50547	390	1,750	96216	836	2,630	138564	1341	3,500	178214	1896
1,550	14646	476	3,100	22731	877	4,650	26442	1201	6,200	27966	1450
1,275	16558	396	2,550	28552	742	3,830	37533	1036	5,100	44930	1278
1,000	46850	437	2,000	88141	837	3,000	125417	1201	4,000	160223	1528
1,550	35029	450	3,100	60013	842	4,650	78034	1177	6,200	92176	1455
1,375	51105	329	2,750	93357	739	4,130	129569	1233	5,500	162061	1804
1,150	66924	416	2,300	127191	890	3,450	182737	1421	4,600	235503	2011
1,400	55136	490	2,800	100014	928	4,200	137688	1315	5,600	171214	1651
1,200	73913	400	2,400	139548	864	3,600	199269	1393	4,800	255443	1985
1,025	95633	445	2,050	184092	938	3,080	267623	1484	4,100	346888	2072
1,750	19817	494	3,500	30882	910	5,250	36111	1247	7,000	38423	1507
1,400	33367	475	2,800	57955	892	4,200	76378	1254	5,600	91252	1559
1,400	58757	546	2,800	106099	1036	4,200	145357	1468	5,600	179858	1844
1,050	66983	357	2,100	127401	766	3,150	183020	1227	4,200	235610	1739
1,050	103781	445	2,100	199476	943	3,150	289181	1492	4,200	374993	2094
1,050	72257	490	2,100	136873	943	3,150	195830	1358	4,200	251108	1736
0,875	91033	387	1,750	176156	813	2,630	257208	1281	3,500	334227	1782
0,700	105268	395	1,400	206697	815	2,100	305100	1260	2,800	401294	1730

Ø 225–250 mm

Artikel-nummer		Bestellmaße								Gewicht je 1000 St.	Spannung σ_{OM} bei s = h_0
		D_e [mm]	D_i [mm]	t [mm]	t' [mm]	l_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0/t	h'_0/t'	[kg]	[N/mm²]
023350	**C**	**225**	**112**	**6,5**	6,2	13,6	7,10		1,19	1450	–1119
023400	**B**	**225**	**112**	**8**	7,5	14,5	6,50		0,93	1754	–1267
023500	**A**	**225**	**112**	**12**	11,25	17	5,00		0,51	2631	–1489
023600		250	102	10	9,6	18	8,00		0,88	3075	–1459
023700		250	102	12	11,5	19	7,00		0,65	3683	–1542
023750	**C**	**250**	**127**	**7**	6,7	14,8	7,80		1,21	1909	–1086
023800	**B**	**250**	**127**	**10**	9,4	17	7,00		0,81	2678	–1406
023900		250	127	12	11,25	19,3	7,30		0,72	3205	–1766
024000	**A**	**250**	**127**	**14**	13,1	19,6	5,60		0,50	3732	–1596
024100		250	127	16	15	21,8	5,80		0,45	4273	–1893

Federweg s, Federkraft F und Spannung σ

bei s = 0,25 h_0			s = 0,50 h_0			s ≈ 0,75 h_0			s = 1,00 h_0		
s	F	σ	s	F	σ	s	F	σ	s	F_c	σ
[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]
1,775	23582	446	3,550	37417	825	5,330	44594	1138	7,100	48147	1383
1,625	32870	450	3,250	55412	842	4,880	70788	1177	6,500	82002	1451
1,250	64497	415	2,500	120738	794	3,750	171016	1137	5,000	217625	1444
2,000	56867	462	4,000	97282	865	6,000	126387	1207	8,000	149323	1490
1,750	73563	303	3,500	133130	691	5,250	182962	1163	7,000	227317	1720
1,950	26895	438	3,900	42527	810	5,850	50466	1116	7,800	54284	1356
1,750	51871	471	3,500	90206	886	5,250	119053	1244	7,000	142462	1547
1,825	87633	563	3,650	156021	1063	5,480	210942	1503	7,300	257630	1879
1,400	93239	444	2,800	175145	851	4,200	248828	1221	5,600	317399	1554
1,450	140941	413	2,900	267295	890	4,350	383017	1429	5,800	492058	2031

9.3 Maßtabellen für korrosionsbeständige SCHNORR Tellerfedern Ø 6–20 mm

Artikel-nummer	Bestellmaße						Gewicht je 1000 St.	Spannung σ_{OM} bei s = h_0
	D_e [mm]	D_i [mm]	t [mm]	l_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0/t	[kg]	[N/mm²]
024 650	6	3,2	0,3	0,45	0,15	0,50	0,047	-1497
025 250	8	3,2	0,2	0,4	0,2	1,00	0,066	-655
025 400	8	3,2	0,3	0,55	0,25	0,83	0,098	-1228
025 700	8	3,2	0,4	0,55	0,15	0,38	0,131	-983
026 300	8	3,2	0,5	0,7	0,2	0,40	0,166	-1638
026 700	8	4,2	0,2	0,45	0,25	1,25	0,057	-925
027 100	8	4,2	0,3	0,5	0,2	0,67	0,085	-1110
027 400	8	4,2	0,4	0,6	0,2	0,50	0,113	-1480
028 910	10	3,2	0,3	0,65	0,35	1,17	0,165	-1058
029 101	10	3,2	0,4	0,7	0,3	0,75	0,220	-1209
029 301	10	3,2	0,5	0,7	0,2	0,40	0,274	-1007
029 602	10	4,2	0,4	0,7	0,3	0,75	0,202	-1276
029 701	10	4,2	0,5	0,7	0,2	0,40	0,252	-1064
030 290	10	5,2	0,25	0,55	0,3	1,20	0,112	-883
030 800	10	5,2	0,4	0,65	0,25	0,63	0,179	-1177
031 000	10	5,2	0,5	0,7	0,2	0,40	0,223	-1177
032 040	12	4,2	0,4	0,8	0,4	1,00	0,309	-1132
032 500	12	4,2	0,5	0,8	0,3	0,60	0,386	-1061
032 704	12	4,2	0,6	0,85	0,25	0,42	0,463	-1061
033 400	12	5,2	0,5	0,8	0,3	0,60	0,357	-1120
033 500	12	5,2	0,6	0,85	0,25	0,42	0,429	-1120
034 200	12	6,2	0,5	0,85	0,35	0,70	0,323	-1424
034 550	12	6,2	0,6	0,85	0,25	0,42	0,387	-1221
035 040	12,5	5,2	0,5	0,85	0,35	0,70	0,395	-1188
035 103	12,5	6,2	0,35	0,8	0,45	1,29	0,253	-1152
035 400	12,5	6,2	0,5	0,85	0,35	0,70	0,361	-1281
035 601	12,5	6,2	0,7	0,95	0,25	0,36	0,504	-1281
038 353	14	7,2	0,35	0,8	0,45	1,29	0,310	-939
038 600	14	7,2	0,5	0,9	0,4	0,80	0,442	-1192
039 040	14	7,2	0,8	1,05	0,25	0,31	0,706	-1192
039 500	15	5,2	0,4	0,95	0,55	1,38	0,486	-995
039 800	15	5,2	0,5	1	0,5	1,00	0,607	-1131
039 971	15	5,2	0,6	1,05	0,45	0,75	0,728	-1221
040 130	15	5,2	0,7	1,1	0,40	0,57	0,849	-1266
040 950	15	6,2	0,5	1	0,50	1,00	0,572	-1176
041 301	15	6,2	0,6	1	0,40	0,67	0,687	-1129
041 700	15	6,2	0,7	1,05	0,35	0,50	0,801	-1152
042 400	15	8,2	0,7	1	0,30	0,43	0,677	-1138
042 601	15	8,2	0,8	1,1	0,30	0,38	0,773	-1301
043 750	16	8,2	0,4	0,9	0,50	1,25	0,464	-911
044 000	16	8,2	0,6	1,05	0,45	0,75	0,695	-1230
044 101	16	8,2	0,7	1,05	0,35	0,50	0,811	-1116
044 201	16	8,2	0,8	1,1	0,30	0,38	0,926	-1093
044 400	16	8,2	0,9	1,2	0,30	0,33	1,042	-1230
045 800	18	6,2	0,4	1	0,60	1,50	0,702	-753
046 003	18	6,2	0,5	1,1	0,60	1,20	0,878	-941
046 252	18	6,2	0,6	1,2	0,60	1,00	1,053	-1129
046 400	18	6,2	0,7	1,25	0,55	0,79	1,228	-1208
046 505	18	6,2	0,8	1,3	0,50	0,63	1,403	-1255
046 924	18	8,2	0,5	1,1	0,60	1,20	0,789	-1015
047 070	18	8,2	0,7	1,2	0,50	0,71	1,104	-1184
047 300	18	8,2	0,8	1,25	0,45	0,56	1,262	-1218
047 691	18	8,2	1	1,35	0,35	0,35	1,576	-1184
047 910	18	9,2	0,45	1,05	0,60	1,33	0,662	-970
048 050	18	9,2	0,7	1,2	0,50	0,71	1,029	-1257
048 098	18	9,2	1	1,35	0,35	0,35	1,469	-1257
048 051	20	8,2	0,5	1,15	0,65	1,30	1,029	-858
051 100	20	8,2	0,6	1,3	0,70	1,17	1,226	-1108

Werkstoff: 1.4310 (X10 CrNi 18-8)

Federweg s, Federkraft F und Spannung σ

bei s = 0,25 h_0			s = 0,50 h_0			s ≈ 0,75 h_0			s = 1,00 h_0		
s	F	σ	s	F	σ	s	F	σ	s	F_c	σ
[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]
0,038	41	412	0,075	77	786	0,113	110	1125	0,150	141	1617
0,050	11	215	0,100	19	400	0,150	24	553	0,200	27	676
0,063	42	370	0,125	73	691	0,188	96	965	0,250	116	1299
0,038	45	290	0,075	87	612	0,113	126	966	0,150	165	1353
0,050	118	471	0,100	227	999	0,150	330	1584	0,200	429	2226
0,063	20	377	0,125	31	695	0,188	36	954	0,250	39	1154
0,050	34	337	0,100	61	636	0,150	84	897	0,200	105	1120
0,050	72	405	0,100	136	772	0,150	193	1124	0,200	248	1615
0,088	47	349	0,175	75	643	0,263	91	883	0,350	100	1068
0,075	69	321	0,150	123	611	0,225	165	1046	0,300	203	1566
0,050	73	336	0,100	140	710	0,150	203	1122	0,200	264	1573
0,075	73	373	0,150	129	701	0,225	174	983	0,300	214	1379
0,050	77	296	0,100	148	629	0,150	214	998	0,200	278	1403
0,075	28	350	0,150	44	647	0,225	53	890	0,300	58	1079
0,063	62	347	0,125	113	656	0,188	157	928	0,250	197	1198
0,050	85	300	0,100	163	608	0,150	237	968	0,200	308	1365
0,100	79	355	0,200	130	659	0,300	165	911	0,400	190	1174
0,075	86	265	0,150	158	589	0,225	220	971	0,300	278	1411
0,063	111	328	0,125	213	696	0,188	308	1105	0,250	400	1554
0,075	91	303	0,150	166	574	0,225	232	889	0,300	293	1298
0,063	118	300	0,125	225	640	0,188	325	1018	0,250	422	1437
0,088	123	438	0,175	221	825	0,263	301	1161	0,350	373	1447
0,063	128	314	0,125	245	624	0,188	355	996	0,250	460	1408
0,088	103	336	0,175	184	633	0,263	251	892	0,350	311	1332
0,113	77	467	0,225	120	860	0,338	140	1178	0,450	148	1423
0,088	111	387	0,175	198	730	0,263	271	1027	0,350	335	1282
0,063	178	336	0,125	344	708	0,188	503	1117	0,250	657	1563
0,113	63	386	0,225	98	710	0,338	114	973	0,450	120	1175
0,100	111	387	0,200	194	725	0,300	258	1016	0,400	312	1258
0,063	213	320	0,125	414	670	0,188	608	1049	0,250	799	1458
0,138	93	370	0,275	142	678	0,413	162	924	0,550	167	1109
0,125	123	353	0,250	203	655	0,375	257	906	0,500	296	1180
0,113	158	333	0,225	279	625	0,338	376	998	0,450	460	1499
0,100	197	330	0,200	365	727	0,300	512	1191	0,400	650	1721
0,125	127	391	0,250	212	726	0,375	267	1005	0,500	308	1228
0,100	137	313	0,200	248	589	0,300	341	876	0,400	426	1297
0,088	172	290	0,175	323	629	0,263	461	1018	0,350	591	1456
0,075	164	302	0,150	312	578	0,225	451	890	0,300	584	1262
0,075	238	332	0,150	459	667	0,225	668	1057	0,300	872	1485
0,125	77	368	0,250	121	678	0,375	142	930	0,500	153	1125
0,113	159	388	0,225	281	728	0,338	378	1023	0,450	464	1270
0,088	167	302	0,175	313	576	0,263	446	860	0,350	573	1235
0,075	200	275	0,150	386	583	0,225	561	923	0,300	733	1296
0,075	280	324	0,150	543	680	0,225	796	1069	0,300	1043	1490
0,150	78	294	0,300	116	538	0,450	128	730	0,600	126	871
0,150	120	323	0,300	190	595	0,450	226	817	0,600	246	987
0,150	176	352	0,300	293	653	0,450	369	903	0,600	426	1184
0,138	218	336	0,275	382	629	0,413	510	962	0,550	620	1457
0,125	264	317	0,250	482	687	0,375	669	1139	0,500	841	1663
0,150	129	384	0,300	205	709	0,450	244	974	0,600	266	1179
0,125	203	350	0,250	362	658	0,375	492	925	0,500	608	1241
0,113	246	328	0,225	457	623	0,338	643	964	0,450	816	1398
0,088	335	330	0,175	649	694	0,263	948	1093	0,350	1240	1526
0,150	111	406	0,300	171	746	0,450	197	1020	0,600	206	1230
0,125	215	388	0,250	384	730	0,375	522	1028	0,500	645	1279
0,088	356	326	0,175	689	687	0,263	1006	1083	0,350	1317	1513
0,163	118	327	0,325	183	601	0,488	213	822	0,650	225	991
0,175	198	398	0,350	316	735	0,525	380	1010	0,700	418	1224

Ø 20–35,5 mm Werkstoff: 1.4310 (X10 CrNi 18-8)

Artikel-nummer	Bestellmaße						Gewicht je 1000 St.	Spannung σ_{OM} bei s = h_0
	D_e [mm]	D_i [mm]	t [mm]	l_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0/t	[kg]	[N/mm²]
052 270	20	8,2	0,7	1,35	0,65	0,93	1,430	-1201
051 450	20	8,2	0,8	1,4	0,60	0,75	1,634	-1267
051 701	20	8,2	0,9	1,45	0,55	0,61	1,838	-1306
051 761	20	8,2	1	1,45	0,45	0,45	2,042	-1188
052 803	20	10,2	0,5	1,15	0,65	1,30	0,910	-944
052 804	20	10,2	0,6	1,2	0,60	1,00	1,098	-1046
053 500	20	10,2	0,8	1,35	0,55	0,69	1,454	-1279
053 701	20	10,2	0,9	1,4	0,50	0,56	1,635	-1308
053 901	20	10,2	1	1,4	0,40	0,40	1,817	-1162
054 380	20	10,2	1,1	1,5	0,40	0,36	1,998	-1279
055 280	20	10,2	1,25	1,55	0,30	0,24	2,269	-1090
055 650	20	10,2	1,5	1,75	0,25	0,17	2,721	-1090
057 710	22,5	11,2	0,6	1,40	0,80	1,33	1,406	-1086
057 903	22,5	11,2	0,8	1,45	0,65	0,81	1,873	-1177
058 050	22,5	11,2	1,25	1,65	0,40	0,32	2,924	-1132
058 950	23	8,2	0,7	1,50	0,80	1,14	1,987	-1082
059 210	23	8,2	0,8	1,55	0,75	0,94	2,271	-1159
059 400	23	8,2	0,9	1,60	0,70	0,78	2,554	-1217
059 504	23	8,2	1	1,60	0,60	0,60	2,838	-1159
060 460	23	10,2	0,9	1,55	0,65	0,72	2,352	-1199
060 600	23	10,2	1	1,60	0,60	0,60	2,613	-1230
060 901	23	10,2	1,25	1,70	0,45	0,36	3,264	-1153
001 922	23	12,2	1	1,60	0,60	0,60	2,337	-1353
061 600	23	12,2	1,25	1,65	0,40	0,32	2,919	-1127
061 951	23	12,2	1,5	1,85	0,35	0,23	3,501	-1184
063 872	25	10,20	1	1,70	0,70	0,70	3,205	-1181
064 400	25	12,20	0,7	1,60	0,90	1,29	2,052	-1142
064 900	25	12,20	0,9	1,60	0,70	0,78	2,637	-1142
065 104	25	12,20	1	1,65	0,65	0,65	2,929	-1178
065 129	25	12,20	1,25	1,75	0,50	0,40	3,660	-1133
065 400	25	12,20	1,5	1,95	0,45	0,30	4,389	-1224
071 600	28	10,20	0,8	1,75	0,95	1,19	3,351	-995
071 752	28	10,20	1	1,90	0,90	0,90	4,188	-1178
072 001	28	10,20	1,25	1,95	0,70	0,56	5,232	-1145
072 105	28	10,20	1,5	2,10	0,60	0,40	6,277	-1178
072 750	28	12,20	1	1,95	0,95	0,95	3,911	-1305
072 860	28	12,20	1,25	1,95	0,70	0,56	4,887	-1202
073 300	28	12,20	1,5	2,05	0,55	0,37	5,862	-1133
075 260	28	14,20	0,8	1,80	1,00	1,25	2,870	-1182
075 700	28	14,20	1	1,80	0,80	0,80	3,586	-1182
075 925	28	14,20	1,25	1,90	0,65	0,52	4,480	-1200
076 160	28	14,20	1,5	2,05	0,55	0,37	5,373	-1219
082 253	31,5	12,20	1	2,10	1,10	1,10	5,191	-1153
081 505	31,5	12,20	1,25	2,15	0,90	0,72	6,486	-1179
082 303	31,5	12,20	1,5	2,25	0,75	0,50	7,781	-1179
082 801	31,5	16,3	0,8	1,85	1,05	1,31	3,577	-993
083 370	31,5	16,3	1,25	2	0,75	0,60	5,584	-1108
083 800	31,5	16,3	1,5	2,15	0,65	0,43	6,698	-1153
084 493	31,5	16,3	1,75	2,3	0,55	0,31	7,811	-1138
084 800	31,5	16,3	2	2,5	0,50	0,25	8,923	-1182
087 900	34	12,3	1	2,25	1,25	1,25	6,187	-1108
088 046	34	12,3	1,25	2,35	1,10	0,88	7,732	-1219
088 300	34	12,3	1,5	2,4	0,90	0,60	9,275	-1197
089 321	34	14,3	1,25	2,3	1,05	0,84	7,321	-1208
089 400	34	14,3	1,5	2,35	0,85	0,57	8,783	-1174
090 500	34	16,3	1,5	2,3	0,80	0,53	8,216	-1165
091 100	34	16,3	2	2,6	0,60	0,30	10,946	-1165
004 543	35,5	18,3	0,9	2,05	1,15	1,28	5,132	-961

Federweg s, Federkraft F und Spannung σ

bei s = 0,25 h_0			s = 0,50 h_0			s ≈ 0,75 h_0			s = 1,00 h_0		
s	F	σ	s	F	σ	s	F	σ	s	F_c	σ
[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]
0,163	241	384	0,325	408	715	0,488	524	993	0,650	616	1218
0,150	291	367	0,300	514	689	0,450	693	967	0,600	849	1390
0,138	345	349	0,275	632	659	0,413	880	1066	0,550	1108	1559
0,113	352	318	0,225	669	682	0,338	962	1093	0,450	1244	1549
0,163	130	389	0,325	202	716	0,488	234	981	0,650	247	1184
0,150	163	375	0,300	271	698	0,450	342	968	0,600	394	1184
0,138	281	388	0,275	504	732	0,413	690	1031	0,550	857	1286
0,125	333	366	0,250	619	696	0,375	872	989	0,500	1109	1405
0,100	336	294	0,200	645	608	0,300	936	968	0,400	1217	1364
0,100	440	327	0,200	850	691	0,300	1240	1092	0,400	1620	1530
0,075	463	316	0,150	911	653	0,225	1349	1011	0,300	1783	1389
0,063	654	338	0,125	1297	691	0,188	1934	1058	0,250	2568	1440
0,200	222	450	0,400	341	827	0,600	392	1132	0,800	410	1364
0,163	283	380	0,325	492	712	0,488	653	995	0,650	789	1231
0,100	494	308	0,200	961	645	0,300	1411	1010	0,400	1851	1405
0,200	258	366	0,400	414	676	0,600	501	929	0,800	555	1126
0,188	306	354	0,375	517	659	0,563	663	914	0,750	777	1238
0,175	361	341	0,350	633	639	0,525	848	952	0,700	1033	1442
0,150	375	292	0,300	689	635	0,450	962	1047	0,600	1214	1523
0,163	341	352	0,325	608	662	0,488	825	931	0,650	1017	1272
0,150	398	336	0,300	731	636	0,450	1020	961	0,600	1288	1405
0,113	512	324	0,225	989	682	0,338	1444	1075	0,450	1887	1502
0,150	438	396	0,300	804	750	0,450	1122	1063	0,600	1417	1382
0,100	492	295	0,200	958	618	0,300	1406	969	0,400	1845	1349
0,088	722	338	0,175	1423	697	0,263	2110	1078	0,350	2789	1480
0,175	408	332	0,350	732	625	0,525	998	899	0,700	1236	1341
0,225	305	460	0,450	475	847	0,675	553	1161	0,900	586	1401
0,175	338	359	0,350	594	674	0,525	795	944	0,700	969	1170
0,163	394	344	0,325	715	650	0,488	987	917	0,650	1234	1230
0,125	512	286	0,250	983	609	0,375	1425	969	0,500	1854	1365
0,113	763	344	0,225	1490	717	0,338	2193	1120	0,450	2884	1553
0,238	321	346	0,475	510	638	0,713	610	876	0,950	667	1060
0,225	472	356	0,450	804	662	0,675	1042	921	0,900	1234	1271
0,175	565	292	0,350	1047	643	0,525	1474	1051	0,700	1874	1517
0,150	767	360	0,300	1471	763	0,450	2134	1208	0,600	2775	1696
0,238	544	431	0,475	915	802	0,713	1170	1114	0,950	1367	1365
0,175	593	318	0,350	1099	603	0,525	1548	981	0,700	1967	1421
0,138	727	319	0,275	1403	674	0,413	2045	1063	0,550	2671	1487
0,250	401	475	0,500	628	876	0,750	739	1203	1,000	792	1454
0,200	439	382	0,400	767	715	0,600	1021	1001	0,800	1238	1240
0,163	578	328	0,325	1082	625	0,488	1535	917	0,650	1964	1322
0,138	781	312	0,275	1508	659	0,413	2199	1042	0,550	2872	1461
0,275	541	393	0,550	877	727	0,825	1076	1002	1,100	1207	1218
0,225	646	329	0,450	1152	618	0,675	1564	914	0,900	1929	1368
0,188	808	310	0,375	1519	672	0,563	2164	1085	0,750	2777	1551
0,263	354	413	0,525	548	761	0,788	634	1042	1,050	666	1257
0,188	560	321	0,375	1029	608	0,563	1437	862	0,750	1814	1149
0,163	763	300	0,325	1454	580	0,488	2097	928	0,650	2716	1317
0,138	971	304	0,275	1892	636	0,413	2779	997	0,550	3649	1385
0,125	1289	337	0,250	2534	697	0,375	3750	1080	0,500	4952	1487
0,313	588	396	0,625	920	728	0,938	1083	997	1,250	1160	1203
0,275	752	363	0,550	1287	677	0,825	1677	942	1,100	1994	1339
0,225	872	303	0,450	1600	649	0,675	2234	1071	0,900	2820	1557
0,263	723	372	0,525	1250	695	0,788	1646	970	1,050	1977	1230
0,213	837	307	0,425	1549	593	0,638	2178	975	0,850	2765	1413
0,200	815	314	0,400	1519	598	0,600	2151	913	0,800	2746	1318
0,150	1293	331	0,300	2523	691	0,450	3713	1078	0,600	4882	1495
0,288	422	394	0,575	657	725	0,863	767	994	1,150	815	1201

Ø 35,5–90 mm Werkstoff: 1.4310 (X10 CrNi 18-8)

Artikel-nummer	Bestellmaße						Gewicht je 1000 St.	Spannung σ_{OM} bei s = h_0
	D_e [mm]	D_i [mm]	t [mm]	l_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0/t	[kg]	[N/mm²]
094 000	35,5	18,3	1,25	2,25	1,00	0,72	7,124	-1161
093 683	35,5	18,3	2	2,65	0,65	0,33	11,385	-1207
099 423	40	14,3	1,25	2,65	1,40	1,12	10,752	-1118
099 461	40	14,3	1,5	2,75	1,25	0,83	12,899	-1198
099 833	40	14,3	2	2,9	0,90	0,45	17,189	-1150
100 503	40	16,3	1,5	2,7	1,20	0,80	12,332	-1185
100 801	40	16,3	2	2,9	0,90	0,45	16,433	-1185
101 755	40	18,3	2	2,85	0,85	0,43	15,584	-1167
102 531	40	20,4	1	2,3	1,30	1,30	7,300	-944
103 000	40	20,4	1,5	2,6	1,10	0,73	10,942	-1199
103 500	40	20,4	2	2,8	0,80	0,40	14,580	-1162
103 953	40	20,4	2,25	2,95	0,70	0,31	16,397	-1144
104 465	40	20,4	2,5	3,15	0,65	0,26	18,212	-1180
110 412	45	22,4	1,25	2,9	1,65	1,32	11,746	-1167
110 501	45	22,4	1,75	2,95	1,20	0,69	16,434	-1188
110 901	45	22,4	2,5	3,35	0,85	0,34	23,457	-1202
115 970	50	18,4	1,25	2,85	1,60	1,28	16,679	-822
116 300	50	18,4	1,5	3,3	1,80	1,20	20,011	-1110
116 653	50	18,4	2	3,45	1,45	0,73	26,669	-1193
116 901	50	18,4	2,5	3,65	1,15	0,46	33,323	-1182
117 400	50	20,4	2	3,4	1,40	0,70	25,710	-1181
117 703	50	20,4	2,5	3,6	1,10	0,44	32,123	-1160
118 401	50	22,4	2	3,3	1,30	0,65	24,652	-1132
000 227	50	22,4	2,5	3,6	1,10	0,44	30,800	-1198
119 950	50	25,4	1,25	2,85	1,60	1,28	14,311	-928
120 103	50	25,4	1,5	3,1	1,60	1,07	17,168	-1113
120 400	50	25,4	2	3,3	1,30	0,65	22,878	-1206
120 801	50	25,4	2,5	3,5	1,00	0,40	28,582	-1160
128 599	56	28,5	1,5	3,45	1,95	1,30	21,495	-1083
128 600	56	28,5	2	3,6	1,60	0,80	28,646	-1185
131 001	60	20,5	2	4,1	2,10	1,05	39,235	-1185
003 158	60	20,5	2,5	4,05	1,55	0,62	49,027	-1093
131 801	60	25,5	2,5	4,1	1,60	0,64	45,471	-1186
113 193	60	30,5	2,5	4	1,50	0,60	41,157	-1208
138 221	63	31	1,8	4,1	2,30	1,28	33,419	-1187
138 503	63	31	2,5	4,15	1,65	0,66	46,389	-1183
144 401	70	25,5	2	4,5	2,50	1,25	52,479	-1047
146 250	70	30,5	2,5	4,7	2,20	0,88	61,266	-1209
153 014	71	36	2	4,6	2,60	1,30	46,249	-1195
153 110	71	36	2,5	4,5	2,00	0,80	57,789	-1149
159 600	80	31	2,5	5,3	2,80	1,12	84,001	-1137
161 220	80	41	2,25	5,2	2,95	1,31	65,586	-1209
169 200	90	46	2,5	5,7	3,20	1,28	92,370	-1150

Federweg s, Federkraft F und Spannung σ

bei s = 0,25 h_0			s = 0,50 h_0			s ≈ 0,75 h_0			s = 1,00 h_0		
s	F	σ	s	F	σ	s	F	σ	s	F_c	σ
[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]
0,250	674	377	0,500	1177	707	0,750	1567	990	1,000	1899	1225
0,163	1352	320	0,325	2628	670	0,488	3855	1052	0,650	5056	1464
0,350	834	375	0,700	1346	692	1,050	1642	953	1,400	1830	1156
0,313	1028	347	0,625	1779	648	0,938	2348	903	1,250	2824	1368
0,225	1365	338	0,450	2592	723	0,675	3729	1155	0,900	4819	1634
0,300	992	353	0,600	1732	661	0,900	2304	924	1,200	2793	1265
0,225	1406	319	0,450	2671	684	0,675	3842	1095	0,900	4966	1552
0,213	1367	299	0,425	2610	639	0,638	3770	1020	0,850	4888	1442
0,325	521	389	0,650	808	716	0,975	938	981	1,300	989	1184
0,275	955	374	0,550	1697	703	0,825	2296	987	1,100	2824	1228
0,200	1345	294	0,400	2580	608	0,600	3743	968	0,800	4869	1364
0,175	1613	309	0,350	3143	647	0,525	4618	1013	0,700	6066	1407
0,163	2017	336	0,325	3961	696	0,488	5856	1081	0,650	7726	1490
0,413	1023	481	0,825	1578	884	1,238	1822	1210	1,650	1909	1458
0,300	1247	357	0,600	2241	673	0,900	3068	948	1,200	3810	1197
0,213	2116	320	0,425	4105	673	0,638	6008	1059	0,850	7869	1477
0,400	698	299	0,800	1086	550	1,200	1268	753	1,600	1346	907
0,450	1272	390	0,900	2015	719	1,350	2404	986	1,800	2616	1192
0,363	1680	328	0,725	2990	616	1,088	4054	954	1,450	4996	1428
0,288	2203	337	0,575	4176	723	0,863	5996	1157	1,150	7738	1641
0,350	1634	332	0,700	2927	625	1,050	3993	899	1,400	4945	1341
0,275	2138	315	0,550	4070	674	0,825	5864	1078	1,100	7589	1525
0,325	1515	320	0,650	2747	604	0,975	3792	852	1,300	4743	1248
0,275	2209	306	0,550	4204	656	0,825	6057	1049	1,100	7839	1487
0,400	787	378	0,800	1225	697	1,200	1430	955	1,600	1518	1153
0,400	1145	412	0,800	1871	764	1,200	2317	1056	1,600	2623	1288
0,325	1613	358	0,650	2926	675	0,975	4039	954	1,300	5051	1227
0,250	2096	293	0,500	4022	608	0,750	5834	968	1,000	7589	1364
0,488	1345	446	0,975	2084	820	1,463	2419	1124	1,950	2551	1356
0,400	1761	383	0,800	3076	718	1,200	4093	1005	1,600	4962	1244
0,525	2138	378	1,050	3507	699	1,575	4363	965	2,100	4962	1206
0,388	2239	274	0,775	4092	605	1,163	5687	1001	1,550	7153	1460
0,400	2463	327	0,800	4479	617	1,200	6196	923	1,600	7765	1360
0,375	2444	348	0,750	4488	659	1,125	6265	933	1,500	7908	1267
0,575	2086	478	1,150	3247	880	1,725	3792	1207	2,300	4028	1457
0,413	2489	349	0,825	4504	658	1,238	6202	928	1,650	7743	1220
0,625	2221	375	1,250	3478	690	1,875	4092	945	2,500	4386	1139
0,550	2984	385	1,100	5106	719	1,650	6653	1001	2,200	7913	1232
0,650	2639	491	1,300	4088	904	1,950	4744	1238	2,600	5004	1494
0,500	2669	371	1,000	4662	695	1,500	6203	973	2,000	7519	1205
0,700	3393	392	1,400	5472	724	2,100	6677	997	2,800	7443	1210
0,738	3410	501	1,475	5271	922	2,213	6099	1263	2,950	6410	1524
0,800	3903	470	1,600	6073	865	2,400	7087	1186	3,200	7524	1433

9.4 Maßtabellen für warmfeste SCHNORR Tellerfedern

Artikel-nummer	Bestellmaße						Gewicht je 1000 St.	Spannung σ_{OM} bei s = h_0
	D_e [mm]	D_i [mm]	t [mm]	l_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0/t	[kg]	[N/mm²]
024 670	6	3,2	0,3	0,4	0,10	0,33	0,046	-1098
025 600	8	3,2	0,3	0,55	0,25	0,83	0,096	-1351
025 800	8	3,2	0,4	0,55	0,15	0,38	0,128	-1081
027 000	8	4,2	0,3	0,5	0,20	0,67	0,083	-1221
027 300	8	4,2	0,4	0,55	0,15	0,38	0,110	-1221
028 900	10	3,2	0,3	0,65	0,35	1,17	0,161	-1164
029 100	10	3,2	0,4	0,7	0,30	0,75	0,214	-1330
029 300	10	3,2	0,5	0,7	0,20	0,40	0,268	-1108
029 600	10	4,2	0,4	0,65	0,25	0,63	0,196	-1170
029 700	10	4,2	0,5	0,7	0,20	0,40	0,245	-1170
030 700	10	5,2	0,4	0,65	0,25	0,63	0,174	-1295
030 900	10	5,2	0,5	0,7	0,20	0,40	0,217	-1295
032 200	12	4,2	0,4	0,8	0,40	1,00	0,301	-1245
032 400	12	4,2	0,5	0,8	0,30	0,60	0,376	-1168
032 702	12	4,2	0,6	0,85	0,25	0,42	0,452	-1168
033 300	12	5,2	0,5	0,8	0,30	0,60	0,348	-1232
033 450	12	5,2	0,6	0,85	0,25	0,42	0,418	-1232
034 100	12	6,2	0,5	0,8	0,30	0,60	0,315	-1343
034 500	12	6,2	0,6	0,85	0,25	0,42	0,378	-1343
035 041	12,5	5,2	0,5	0,85	0,35	0,70	0,385	-1306
035 300	12,5	6,2	0,5	0,8	0,30	0,60	0,351	-1207
035 600	12,5	6,2	0,7	0,95	0,25	0,36	0,492	-1409
038 500	14	7,2	0,5	0,9	0,40	0,80	0,431	-1312
039 000	14	7,2	0,8	1,05	0,25	0,31	0,688	-1312
039 475	15	5,2	0,4	0,95	0,55	1,38	0,473	-1094
039 700	15	5,2	0,5	1	0,50	1,00	0,592	-1244
039 970	15	5,2	0,6	1,05	0,45	0,75	0,710	-1343
040 100	15	5,2	0,7	1,05	0,35	0,50	0,828	-1219
040 949	15	6,2	0,5	1	0,50	1,00	0,558	-1293
041 300	15	6,2	0,6	1	0,40	0,67	0,669	-1242
041 600	15	6,2	0,7	1,05	0,35	0,50	0,781	-1268
042 300	15	8,2	0,7	1	0,30	0,43	0,660	-1252
042 600	15	8,2	0,8	1,05	0,25	0,31	0,754	-1193
043 749	16	8,2	0,4	0,95	0,55	1,38	0,452	-1102
043 900	16	8,2	0,6	1,05	0,45	0,75	0,678	-1353
044 102	16	8,2	0,7	1,05	0,35	0,50	0,790	-1227
044 202	16	8,2	0,8	1,1	0,30	0,38	0,903	-1202
044 300	16	8,2	0,9	1,2	0,30	0,33	1,015	-1353
045 700	18	6,2	0,4	1	0,60	1,50	0,685	-828
046 000	18	6,2	0,5	1,1	0,60	1,20	0,856	-1035
046 250	18	6,2	0,6	1,2	0,60	1,00	1,026	-1242
046 300	18	6,2	0,7	1,25	0,55	0,79	1,197	-1329
046 500	18	6,2	0,8	1,25	0,45	0,56	1,368	-1242
046 925	18	8,2	0,5	1,1	0,60	1,20	0,769	-1117
047 100	18	8,2	0,7	1,2	0,50	0,71	1,076	-1303
047 400	18	8,2	0,8	1,25	0,45	0,56	1,230	-1340
047 690	18	8,2	1	1,35	0,35	0,35	1,536	-1303
048 000	18	9,2	0,7	1,15	0,45	0,64	1,003	-1245
048 100	18	9,2	1	1,3	0,30	0,30	1,432	-1185
050 980	20	8,2	0,6	1,3	0,70	1,17	1,195	-1219
051 250	20	8,2	0,7	1,35	0,65	0,93	1,394	-1321
051 400	20	8,2	0,8	1,35	0,55	0,69	1,593	-1277
051 700	20	8,2	0,9	1,4	0,50	0,56	1,791	-1306
051 760	20	8,2	1	1,45	0,45	0,45	1,990	-1306
052 741	20	10,2	0,5	1,1	0,60	1,20	0,887	-959
053 400	20	10,2	0,8	1,3	0,50	0,63	1,417	-1279
053 700	20	10,2	0,9	1,35	0,45	0,50	1,594	-1295
053 900	20	10,2	1	1,4	0,40	0,40	1,771	-1279

Ø 6–20 mm Werkstoff: 1.4122 (X39 Cr Mo 17-1)

Federweg s, Federkraft F und Spannung σ

bei s = 0,25 h_0			s = 0,50 h_0			s ≈ 0,75 h_0			s = 1,00 h_0		
s	F	σ	s	F	σ	s	F	σ	s	F_c	σ
[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]
0,025	28	282	0,050	54	593	0,080	84	932	0,100	103	1300
0,063	46	407	0,125	80	761	0,190	107	1061	0,250	127	1429
0,038	49	319	0,075	95	673	0,110	136	1063	0,150	181	1488
0,050	37	370	0,100	67	699	0,150	92	987	0,200	115	1233
0,038	56	307	0,075	108	642	0,110	154	1017	0,150	205	1428
0,088	52	384	0,175	83	707	0,260	99	971	0,350	110	1175
0,075	76	353	0,150	135	672	0,230	185	1150	0,300	223	1723
0,050	80	369	0,100	154	781	0,150	223	1235	0,200	290	1730
0,063	62	318	0,125	112	601	0,190	158	929	0,250	196	1364
0,050	85	326	0,100	162	692	0,150	235	1097	0,200	306	1543
0,063	68	382	0,125	124	722	0,190	174	1021	0,250	217	1318
0,050	94	330	0,100	180	669	0,150	261	1065	0,200	339	1501
0,100	86	390	0,200	143	724	0,300	181	1002	0,400	209	1291
0,075	94	292	0,150	173	648	0,230	246	1068	0,300	306	1552
0,063	123	360	0,125	234	765	0,190	343	1215	0,250	440	1709
0,075	100	333	0,150	183	631	0,230	260	978	0,300	322	1428
0,063	129	330	0,125	247	704	0,190	362	1120	0,250	464	1580
0,075	109	389	0,150	200	737	0,230	283	1044	0,300	352	1394
0,063	141	345	0,125	270	686	0,190	395	1096	0,250	506	1549
0,088	113	370	0,175	202	696	0,260	274	981	0,350	342	1465
0,075	98	344	0,150	179	652	0,230	255	923	0,300	316	1286
0,063	196	369	0,125	379	779	0,190	560	1229	0,250	723	1719
0,100	122	426	0,200	213	798	0,300	283	1117	0,400	343	1383
0,063	234	352	0,125	456	737	0,190	678	1154	0,250	879	1604
0,138	103	407	0,275	157	746	0,410	178	1017	0,550	183	1219
0,125	135	389	0,250	224	721	0,380	284	997	0,500	326	1298
0,113	173	367	0,225	307	688	0,340	415	1098	0,450	506	1649
0,088	182	346	0,175	342	748	0,260	483	1206	0,350	625	1720
0,125	140	430	0,250	233	798	0,380	296	1105	0,500	339	1351
0,100	151	344	0,200	273	648	0,300	375	963	0,400	468	1426
0,088	189	319	0,175	356	692	0,260	503	1119	0,350	650	1601
0,075	180	332	0,150	343	636	0,230	506	979	0,300	643	1388
0,063	213	309	0,125	414	646	0,190	616	1012	0,250	799	1407
0,138	103	469	0,275	158	862	0,410	179	1178	0,550	185	1417
0,113	175	426	0,225	309	801	0,340	418	1125	0,450	510	1397
0,088	183	333	0,175	344	634	0,260	487	946	0,350	630	1358
0,075	220	303	0,150	424	641	0,230	630	1016	0,300	806	1426
0,075	308	356	0,150	598	748	0,230	894	1176	0,300	1147	1639
0,150	86	324	0,300	128	591	0,450	141	803	0,600	139	958
0,150	132	356	0,300	209	655	0,450	249	898	0,600	271	1086
0,150	194	387	0,300	322	719	0,450	406	994	0,600	468	1303
0,138	240	369	0,275	420	691	0,410	558	1058	0,550	682	1603
0,113	251	329	0,225	466	723	0,340	659	1181	0,450	833	1703
0,150	142	423	0,300	225	780	0,450	269	1071	0,600	292	1297
0,125	223	385	0,250	398	724	0,380	547	1018	0,500	668	1365
0,113	271	361	0,225	502	685	0,340	711	1060	0,450	898	1538
0,088	368	363	0,175	713	764	0,260	1034	1202	0,350	1364	1679
0,113	203	368	0,225	369	696	0,340	513	984	0,450	639	1267
0,075	329	324	0,150	642	676	0,230	964	1056	0,300	1241	1464
0,175	218	438	0,350	347	808	0,530	420	1111	0,700	460	1347
0,163	265	422	0,325	448	786	0,490	579	1092	0,650	678	1339
0,138	280	357	0,275	504	673	0,410	686	979	0,550	856	1457
0,125	333	337	0,250	618	679	0,380	881	1113	0,500	1108	1609
0,113	387	350	0,225	736	751	0,340	1065	1202	0,450	1368	1704
0,150	122	378	0,300	193	698	0,450	231	960	0,600	251	1163
0,125	269	374	0,250	491	708	0,380	689	1001	0,500	857	1318
0,113	320	350	0,225	601	667	0,340	861	1001	0,450	1098	1437
0,100	370	323	0,200	710	669	0,300	1029	1064	0,400	1339	1500

Ø 20–40 mm Werkstoff: 1.4122 (X39 Cr Mo 17-1)

Artikel-nummer	Bestellmaße						Gewicht je 1000 St.	Spannung σ_{OM} bei s = h_0
	D_e [mm]	D_i [mm]	t [mm]	l_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0/t	[kg]	[N/mm²]
054 375	20	10,2	1,1	1,45	0,35	0,32	1,947	-1231
055 300	20	10,2	1,25	1,55	0,30	0,24	2,212	-1199
055 640	20	10,2	1,5	1,75	0,25	0,17	2,652	-1199
057 709	22,5	11,2	0,6	1,4	0,80	1,33	1,370	-1195
057 900	22,5	11,2	0,8	1,45	0,65	0,81	1,826	-1294
058 000	22,5	11,2	1,25	1,65	0,40	0,32	2,850	-1245
059 100	23	8,2	0,7	1,5	0,80	1,14	1,937	-1190
059 200	23	8,2	0,8	1,55	0,75	0,94	2,213	-1275
059 360	23	8,2	0,9	1,6	0,70	0,78	2,490	-1339
059 503	23	8,2	1	1,6	0,60	0,60	2,766	-1275
060 430	23	10,2	0,9	1,55	0,65	0,72	2,292	-1319
060 500	23	10,2	1	1,6	0,60	0,60	2,547	-1353
060 900	23	10,2	1,25	1,7	0,45	0,36	3,181	-1268
061 570	23	12,2	1	1,5	0,50	0,50	2,277	-1240
061 800	23	12,2	1,25	1,65	0,40	0,32	2,845	-1240
061 950	23	12,2	1,5	1,85	0,35	0,23	3,412	-1302
063 871	25	10,2	1	1,7	0,70	0,70	3,124	-1299
064 399	25	12,2	0,7	1,6	0,90	1,29	2,000	-1256
064 800	25	12,2	0,9	1,6	0,70	0,78	2,570	-1256
065 100	25	12,2	1	1,65	0,65	0,65	2,855	-1296
065 134	25	12,2	1,25	1,75	0,50	0,40	3,567	-1246
065 300	25	12,2	1,5	1,95	0,45	0,30	4,278	-1346
071 500	28	10,2	0,8	1,75	0,95	1,19	3,266	-1094
071 750	28	10,2	1	1,9	0,90	0,90	4,081	-1296
072 000	28	10,2	1,25	1,95	0,70	0,56	5,100	-1260
072 102	28	10,2	1,5	2,1	0,60	0,40	6,118	-1296
072 700	28	12,2	1	1,85	0,85	0,85	3,812	-1285
072 850	28	12,2	1,25	1,95	0,70	0,56	4,763	-1322
073 200	28	12,2	1,5	2,05	0,55	0,37	5,714	-1247
075 250	28	14,2	0,8	1,8	1,00	1,25	2,797	-1300
075 600	28	14,2	1	1,8	0,80	0,80	3,495	-1300
075 920	28	14,2	1,25	1,9	0,65	0,52	4,367	-1320
076 100	28	14,2	1,5	2,05	0,55	0,37	5,237	-1341
082 252	31,5	12,2	1	2,1	1,10	1,10	5,059	-1268
081 502	31,5	12,2	1,25	2,15	0,90	0,72	6,322	-1297
081 516	31,5	12,2	1,5	2,25	0,75	0,50	7,584	-1297
082 800	31,5	16,3	0,8	1,85	1,05	1,31	3,486	-1092
083 400	31,5	16,3	1,25	2,05	0,80	0,64	5,443	-1300
083 700	31,5	16,3	1,5	2,15	0,65	0,43	6,529	-1268
084 200	31,5	16,3	1,75	2,3	0,55	0,31	7,614	-1252
084 850	31,5	16,3	2	2,5	0,50	0,25	8,697	-1300
087 800	34	12,3	1	2,25	1,25	1,25	6,031	-1219
088 045	34	12,3	1,25	2,35	1,10	0,88	7,536	-1341
088 200	34	12,3	1,5	2,4	0,90	0,60	9,040	-1316
089 320	34	14,3	1,25	2,3	1,05	0,84	7,136	-1329
089 370	34	14,3	1,5	2,35	0,85	0,57	8,560	-1291
090 400	34	16,3	1,5	2,3	0,80	0,53	8,008	-1282
091 000	34	16,3	2	2,6	0,60	0,30	10,669	-1282
093 705	35,5	18,3	0,9	2,05	1,15	1,28	5,002	-1057
094 100	35,5	18,3	1,25	2,25	1,00	0,80	6,944	-1277
094 400	35,5	18,3	2	2,65	0,65	0,33	11,097	-1328
099 440	40	14,3	1,25	2,65	1,40	1,12	10,480	-1230
099 460	40	14,3	1,5	2,75	1,25	0,83	12,572	-1318
099 829	40	14,3	2	2,9	0,90	0,45	16,754	-1265
100 500	40	16,3	1,5	2,7	1,20	0,80	12,019	-1304
100 800	40	16,3	2	2,9	0,90	0,45	16,017	-1304
101 750	40	18,3	2	2,85	0,85	0,43	15,190	-1284
102 530	40	20,4	1	2,3	1,30	1,30	7,115	-1039

Federweg s, Federkraft F und Spannung σ

bei s = 0,25 h_0			s = 0,50 h_0			s ≈ 0,75 h_0			s = 1,00 h_0		
s	F	σ	s	F	σ	s	F	σ	s	F_c	σ
[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]
0,088	416	330	0,175	809	692	0,260	1177	1084	0,350	1559	1508
0,075	509	348	0,150	1002	718	0,230	1516	1112	0,300	1961	1528
0,063	719	372	0,125	1427	760	0,190	2155	1164	0,250	2824	1584
0,200	244	495	0,400	375	910	0,600	432	1245	0,800	450	1500
0,163	311	418	0,325	541	783	0,490	720	1095	0,650	868	1354
0,100	543	339	0,200	1057	709	0,300	1552	1111	0,400	2037	1545
0,200	284	403	0,400	455	743	0,600	552	1022	0,800	611	1239
0,188	337	390	0,375	568	725	0,560	727	1005	0,750	855	1362
0,175	397	375	0,350	697	703	0,530	938	1047	0,700	1136	1586
0,150	413	321	0,300	758	699	0,450	1058	1152	0,600	1335	1675
0,163	375	387	0,325	669	729	0,490	911	1024	0,650	1119	1399
0,150	438	369	0,300	804	699	0,450	1122	1057	0,600	1417	1546
0,113	563	356	0,225	1088	750	0,340	1599	1182	0,450	2075	1652
0,125	378	341	0,250	710	650	0,380	1024	935	0,500	1299	1344
0,100	541	324	0,200	1054	680	0,300	1546	1066	0,400	2029	1484
0,088	794	371	0,175	1565	767	0,260	2299	1186	0,350	3068	1628
0,175	449	365	0,350	805	687	0,530	1106	988	0,700	1360	1475
0,225	336	506	0,450	522	932	0,680	610	1277	0,900	645	1541
0,175	372	395	0,350	654	741	0,530	881	1038	0,700	1066	1287
0,163	433	378	0,325	786	715	0,490	1090	1009	0,650	1358	1353
0,125	563	315	0,250	1081	670	0,380	1587	1066	0,500	2040	1501
0,113	840	378	0,225	1639	789	0,340	2429	1232	0,450	3172	1708
0,238	353	381	0,475	561	702	0,710	670	963	0,950	733	1165
0,225	520	391	0,450	885	729	0,680	1152	1013	0,900	1357	1398
0,175	621	322	0,350	1152	707	0,530	1635	1156	0,700	2061	1668
0,150	843	396	0,300	1618	839	0,450	2347	1329	0,600	3053	1865
0,213	496	403	0,425	855	752	0,640	1126	1050	0,850	1345	1294
0,175	652	350	0,350	1209	664	0,530	1716	1079	0,700	2164	1563
0,138	799	351	0,275	1543	741	0,410	2237	1169	0,550	2938	1636
0,250	441	523	0,500	691	964	0,750	813	1323	1,000	871	1600
0,200	483	420	0,400	844	787	0,600	1123	1102	0,800	1362	1364
0,163	636	361	0,325	1190	687	0,490	1696	1009	0,650	2161	1454
0,138	859	343	0,275	1659	725	0,410	2406	1147	0,550	3159	1607
0,275	595	432	0,550	965	800	0,830	1187	1102	1,100	1328	1339
0,225	711	362	0,450	1267	680	0,680	1729	1006	0,900	2122	1505
0,188	889	341	0,375	1671	739	0,560	2372	1194	0,750	3055	1706
0,263	390	455	0,525	603	837	0,790	697	1146	1,050	732	1382
0,200	675	386	0,400	1227	730	0,600	1698	1031	0,800	2128	1316
0,163	839	330	0,325	1599	637	0,490	2317	1021	0,650	2988	1448
0,138	1069	334	0,275	2081	700	0,410	3040	1096	0,550	4014	1524
0,125	1418	370	0,250	2788	767	0,380	4178	1188	0,500	5447	1636
0,313	646	435	0,625	1012	801	0,940	1192	1097	1,250	1276	1323
0,275	827	399	0,550	1416	745	0,830	1851	1036	1,100	2194	1473
0,225	959	333	0,450	1760	714	0,680	2472	1178	0,900	3102	1713
0,263	795	409	0,525	1375	764	0,790	1814	1067	1,050	2174	1353
0,213	921	338	0,425	1704	653	0,640	2404	1072	0,850	3042	1555
0,200	896	346	0,400	1671	657	0,600	2366	1004	0,800	3021	1450
0,150	1422	364	0,300	2776	760	0,450	4084	1186	0,600	5370	1644
0,288	464	433	0,575	723	797	0,860	843	1093	1,150	897	1321
0,250	742	415	0,500	1295	778	0,750	1723	1089	1,000	2089	1348
0,163	1487	352	0,325	2891	737	0,490	4261	1157	0,650	5562	1611
0,350	918	412	0,700	1480	761	1,050	1806	1048	1,400	2013	1271
0,313	1130	381	0,625	1957	712	0,940	2587	993	1,250	3106	1505
0,225	1501	372	0,450	2852	795	0,680	4128	1270	0,900	5301	1797
0,300	1091	388	0,600	1905	727	0,900	2535	1016	1,200	3073	1392
0,225	1547	351	0,450	2939	752	0,680	4254	1204	0,900	5462	1707
0,213	1504	329	0,425	2871	703	0,640	4161	1122	0,850	5377	1586
0,325	574	428	0,650	889	788	0,980	1033	1079	1,300	1088	1302

Ø 40–90 mm Werkstoff: 1.4122 (X39 Cr Mo 17-1)

Artikel-nummer	Bestellmaße						Gewicht je 1000 St.	Spannung σ_{OM} bei s = h_0
	D_e [mm]	D_i [mm]	t [mm]	l_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0/t	[kg]	[N/mm²]
102 900	40	20,4	1,5	2,6	1,10	0,73	10,665	-1319
103 227	40	20,4	2	2,8	0,80	0,40	14,211	-1279
104 200	40	20,4	2,25	2,95	0,70	0,31	15,981	-1259
104 700	40	20,4	2,5	3,15	0,65	0,26	17,751	-1299
110 411	45	22,4	1,25	2,85	1,60	1,28	11,448	-1245
110 500	45	22,4	1,75	2,95	1,20	0,69	16,018	-1307
110 900	45	22,4	2,5	3,35	0,85	0,34	22,863	-1322
115 977	50	18,4	1,25	2,85	1,60	1,28	16,257	-905
116 200	50	18,4	1,5	3,3	1,80	1,20	19,504	-1221
116 650	50	18,4	2	3,45	1,45	0,73	25,994	-1312
116 902	50	18,4	2,5	3,65	1,15	0,46	32,479	-1301
117 200	50	18,4	3	3,95	0,95	0,32	38,958	-1289
117 395	50	20,4	2	3,4	1,40	0,70	25,059	-1299
117 600	50	20,4	2,5	3,6	1,10	0,44	31,310	-1276
118 400	50	22,4	2	3,3	1,30	0,65	24,028	-1246
118 500	50	22,4	2,5	3,6	1,10	0,44	30,020	-1317
119 860	50	25,4	1,25	2,85	1,60	1,28	13,948	-1020
120 102	50	25,4	1,5	3,1	1,60	1,07	16,733	-1224
120 300	50	25,4	2	3,3	1,30	0,65	22,299	-1326
120 800	50	25,4	2,5	3,5	1,00	0,40	27,859	-1275
121 000	50	25,4	3	3,85	0,85	0,28	33,412	-1301
128 420	56	28,5	1,5	3,45	1,95	1,30	20,951	-1191
128 500	56	28,5	2	3,6	1,60	0,80	27,921	-1303
129 050	56	28,5	3	4,05	1,05	0,35	41,840	-1283
131 000	60	20,5	2	4,1	2,10	1,05	38,242	-1303
131 298	60	20,5	2,5	4,2	1,70	0,68	47,786	-1319
131 410	60	20,5	3	4,4	1,40	0,47	57,324	-1303
131 800	60	25,5	2,5	4,1	1,60	0,64	44,320	-1305
132 100	60	25,5	3	4,3	1,30	0,43	53,163	-1272
133 192	60	30,5	2,5	4	1,50	0,60	40,115	-1329
133 500	60	30,5	3	4,2	1,20	0,40	48,117	-1276
133 750	60	30,5	3,5	4,55	1,05	0,30	56,110	-1303
138 220	63	31	1,8	4,1	2,30	1,28	32,573	-1306
138 500	63	31	2,5	4,15	1,65	0,66	45,214	-1301
138 720	63	31	3	4,4	1,40	0,47	54,234	-1325
139 000	63	31	3,5	4,7	1,20	0,34	63,247	-1325
144 400	70	25,5	2	4,5	2,50	1,25	51,150	-1152
146 300	70	30,5	2,5	4,7	2,20	0,88	59,715	-1330
146 598	70	30,5	3	4,8	1,80	0,60	71,633	-1306
147 700	70	35,5	3	4,7	1,70	0,57	65,661	-1326
147 980	70	35,5	4	5,2	1,20	0,30	87,480	-1248
150 800	70	40,5	4	5,1	1,10	0,28	78,305	-1265
151 100	70	40,5	5	5,9	0,90	0,18	97,792	-1293
153 010	71	36	2	4,6	2,60	1,30	45,078	-1314
153 100	71	36	2,5	4,5	2,00	0,80	56,326	-1264
153 240	71	36	4	5,3	1,30	0,33	90,018	-1314
159 400	80	31	2,5	5,3	2,80	1,12	81,874	-1251
159 606	80	31	3	5,4	2,40	0,80	98,222	-1287
160 100	80	31	4	5,8	1,80	0,45	130,891	-1287
160 640	80	36	3	5,3	2,30	0,77	92,159	-1294
160 685	80	36	4	5,7	1,70	0,43	122,804	-1275
161 212	80	41	2,25	5	2,75	1,22	63,925	-1240
161 500	80	41	3	5,2	2,20	0,73	85,190	-1323
161 700	80	41	4	5,6	1,60	0,40	113,508	-1282
162 000	80	41	5	6,3	1,30	0,26	141,787	-1303
169 300	90	46	2,5	5,7	3,20	1,28	90,032	-1264
169 500	90	46	3,5	5,8	2,30	0,66	125,968	-1272
169 645	90	46	5	6,6	1,60	0,32	179,789	-1264

Federweg s, Federkraft F und Spannung σ

bei s = 0,25 h_0			s = 0,50 h_0			s ≈ 0,75 h_0			s = 1,00 h_0		
s	F	σ	s	F	σ	s	F	σ	s	F_c	σ
[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]
0,275	1051	411	0,550	1867	773	0,830	2537	1086	1,100	3107	1351
0,200	1479	323	0,400	2838	669	0,600	4117	1064	0,800	5356	1500
0,175	1774	340	0,350	3457	712	0,530	5126	1114	0,700	6672	1548
0,163	2219	370	0,325	4357	766	0,490	6473	1189	0,650	8499	1639
0,400	1057	504	0,800	1644	928	1,200	1918	1272	1,600	2037	1536
0,300	1371	393	0,600	2465	740	0,900	3374	1043	1,200	4191	1317
0,213	2328	352	0,425	4515	741	0,640	6633	1165	0,850	8656	1625
0,400	768	329	0,800	1195	606	1,200	1395	828	1,600	1480	998
0,450	1399	429	0,900	2216	791	1,350	2644	1085	1,800	2878	1311
0,363	1848	360	0,725	3289	677	1,090	4467	1050	1,450	5495	1571
0,288	2424	371	0,575	4594	795	0,860	6578	1273	1,150	8512	1805
0,238	3238	425	0,475	6304	888	0,710	9225	1386	0,950	12151	1922
0,350	1797	365	0,700	3220	687	1,050	4392	988	1,400	5440	1475
0,275	2352	347	0,550	4477	742	0,830	6485	1185	1,100	8348	1677
0,325	1666	352	0,650	3022	664	0,980	4188	938	1,300	5217	1372
0,275	2429	337	0,550	4624	721	0,830	6699	1154	1,100	8622	1636
0,400	866	416	0,800	1348	766	1,200	1573	1051	1,600	1670	1269
0,400	1260	453	0,800	2058	840	1,200	2548	1162	1,600	2885	1417
0,325	1774	393	0,650	3218	743	0,980	4460	1049	1,300	5556	1349
0,250	2306	322	0,500	4424	669	0,750	6418	1064	1,000	8348	1500
0,213	3227	363	0,425	6315	755	0,640	9346	1176	0,850	12261	1626
0,488	1480	490	0,975	2292	902	1,460	2659	1236	1,950	2806	1492
0,400	1938	421	0,800	3384	790	1,200	4503	1105	1,600	5458	1369
0,263	3265	333	0,525	6322	703	0,790	9267	1107	1,050	12088	1547
0,525	2352	415	1,050	3857	769	1,580	4806	1061	2,100	5458	1326
0,425	2812	343	0,850	5063	686	1,280	6961	1153	1,700	8630	1703
0,350	3509	388	0,700	6642	832	1,050	9524	1332	1,400	12281	1888
0,400	2709	359	0,800	4927	679	1,200	6816	1016	1,600	8541	1496
0,325	3367	339	0,650	6418	725	0,980	9301	1158	1,300	11992	1637
0,375	2689	382	0,750	4937	725	1,130	6916	1026	1,500	8699	1394
0,300	3322	322	0,600	6374	669	0,900	9245	1064	1,200	12026	1500
0,263	4424	357	0,525	8637	745	0,790	12747	1164	1,050	16710	1614
0,575	2295	526	1,150	3572	969	1,730	4175	1328	2,300	4431	1603
0,413	2738	383	0,825	4954	724	1,240	6833	1021	1,650	8517	1342
0,350	3568	345	0,700	6754	666	1,050	9684	1074	1,400	12488	1531
0,300	4577	354	0,600	8873	745	0,900	12982	1173	1,200	16997	1637
0,625	2443	412	1,250	3826	759	1,880	4505	1039	2,500	4824	1253
0,550	3282	424	1,100	5616	791	1,650	7318	1101	2,200	8705	1355
0,450	3804	354	0,900	6984	670	1,350	9749	1033	1,800	12307	1509
0,425	3783	373	0,850	7002	709	1,280	9876	1006	1,700	12499	1421
0,300	5537	343	0,600	10809	715	0,900	15905	1117	1,200	20913	1549
0,275	5560	329	0,550	10894	684	0,830	16172	1065	1,100	21187	1473
0,225	8644	369	0,450	17134	755	0,680	25707	1159	0,900	33858	1581
0,650	2903	540	1,300	4497	994	1,950	5219	1362	2,600	5505	1644
0,500	2936	408	1,000	5128	765	1,500	6823	1070	2,000	8271	1325
0,325	5886	352	0,650	11446	737	0,980	16868	1157	1,300	22020	1610
0,700	3732	431	1,400	6020	796	2,100	7344	1097	2,800	8188	1331
0,600	4305	376	1,200	7519	704	1,800	10005	984	2,400	12127	1421
0,450	6106	358	0,900	11598	767	1,350	16681	1227	1,800	21559	1738
0,575	4224	392	1,150	7439	735	1,730	10004	1031	2,300	12192	1321
0,425	5973	330	0,850	11403	706	1,280	16530	1126	1,700	21360	1591
0,688	3254	495	1,375	5128	912	2,060	6078	1254	2,750	6573	1518
0,550	4216	413	1,100	7489	777	1,650	10134	1092	2,200	12465	1357
0,400	5936	325	0,800	11389	669	1,200	16519	1064	1,600	21488	1500
0,325	8903	370	0,650	17482	766	0,980	25972	1189	1,300	34099	1639
0,800	4294	517	1,600	6680	952	2,400	7796	1305	3,200	8276	1576
0,575	5237	380	1,150	9483	717	1,730	13097	1012	2,300	16322	1284
0,400	8832	338	0,800	17188	709	1,200	25225	1111	1,600	33104	1546

Ø 100–200 mm Werkstoff: 1.4122 (X39 Cr Mo 17-1)

Artikel-nummer	Bestellmaße						Gewicht je 1000 St.	Spannung σ_{OM} bei $s = h_0$
	D_e [mm]	D_i [mm]	t [mm]	l_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0/t	[kg]	[N/mm²]
174 700	100	41	4	6,8	2,80	0,70	200,275	-1301
174 750	100	41	5	7,2	2,20	0,44	250,230	-1277
175 590	100	51	2,7	6,3	3,60	1,33	120,314	-1243
176 000	100	51	3,5	6,3	2,80	0,80	155,895	-1253
176 275	100	51	4	6,5	2,50	0,63	178,116	-1279
176 500	100	51	5	7	2,00	0,40	222,523	-1279
176 900	100	51	6	7,7	1,70	0,28	266,881	-1304
183 308	112	57	3	6,7	3,70	1,23	167,989	-1130
183 400	112	57	4	7,2	3,20	0,80	223,876	-1303
183 750	112	57	6	8,1	2,10	0,35	335,486	-1283
005 215	125	41	4	8,2	4,20	1,05	335,918	-1195
189 050	125	51	4	8,4	4,40	1,10	313,759	-1306
189 190	125	51	5	8,5	3,50	0,70	392,056	-1299
189 302	125	51	6	9,4	3,40	0,57	470,297	-1514
190 252	125	61	5	8,3	3,30	0,66	358,240	-1316
190 508	125	61	6	8,7	2,70	0,45	429,708	-1292
190 700	125	64	3,5	8	4,50	1,29	243,002	-1292
190 998	125	64	5	8,2	3,20	0,64	346,916	-1312
003 097	125	71	6	8,4	2,40	0,40	381,861	-1276
199 158	140	72	3,8	8,7	4,90	1,29	330,005	-1221
199 400	140	72	5	9	4,00	0,80	434,011	-1312
202 698	150	61	5	10,1	5,10	1,02	565,721	-1313
005 216	150	61	6	10,25	4,25	0,71	678,661	-1313
203 073	150	71	6	10	4,00	0,67	630,814	-1309
001 038	160	82	4,3	9,9	5,60	1,30	489,219	-1206
207 898	160	82	6	10,3	4,30	0,72	682,231	-1292
000 127	180	92	4,8	10,8	6,00	1,25	692,651	-1138
213 742	180	92	6	11,1	5,10	0,85	865,497	-1209
000 489	200	102	5,5	12,5	7,00	1,27	981,059	-1231

Federweg s, Federkraft F und Spannung σ

bei s = 0,25 h_0			s = 0,50 h_0			s ≈ 0,75 h_0			s = 1,00 h_0		
s	F	σ	s	F	σ	s	F	σ	s	F_c	σ
[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]
0,700	7200	366	1,400	12898	689	2,100	17595	987	2,800	21791	1472
0,550	9422	346	1,100	17934	741	1,650	25839	1183	2,200	33441	1675
0,900	5139	519	1,800	7906	955	2,700	9092	1306	3,600	9487	1574
0,700	5706	405	1,400	9966	760	2,100	13261	1064	2,800	16074	1317
0,625	6729	374	1,250	12280	708	1,880	17084	1001	2,500	21422	1318
0,500	9247	323	1,000	17740	669	1,500	25732	1064	2,000	33473	1500
0,425	12939	363	0,850	25322	755	1,280	37476	1176	1,700	49165	1627
0,925	5320	452	1,850	8362	833	2,780	9891	1144	3,700	10649	1385
0,800	7750	421	1,600	13535	790	2,400	18011	1105	3,200	21831	1369
0,525	13060	333	1,050	25287	703	1,580	37068	1107	2,100	48353	1547
1,050	8625	376	2,100	14146	695	3,150	17598	959	4,200	20016	1253
1,100	9815	454	2,200	15907	839	3,300	19516	1157	4,400	21884	1407
0,875	11233	365	1,750	20124	687	2,630	27491	988	3,500	34000	1475
0,850	17275	392	1,700	31973	781	2,550	44952	1283	3,400	57073	1858
0,825	11078	387	1,650	20045	730	2,480	27647	1030	3,300	34460	1365
0,675	13799	332	1,350	26210	664	2,030	37779	1066	2,700	48720	1515
1,125	8638	530	2,250	13423	975	3,380	15646	1337	4,500	16573	1614
0,800	10899	388	1,600	19819	733	2,400	27419	1036	3,200	34360	1337
0,600	13292	337	1,200	25500	647	1,800	36988	995	2,400	48114	1405
1,225	9653	502	2,450	14988	925	3,680	17452	1267	4,900	18464	1530
1,000	12189	426	2,000	21288	798	3,000	28327	1117	4,000	34335	1383
1,275	14460	438	2,550	23891	813	3,830	29989	1125	5,100	34372	1373
1,063	16448	370	2,125	29404	697	3,190	40055	994	4,250	49496	1487
1,000	15936	381	2,000	28787	720	3,000	39583	1015	4,000	49350	1378
1,400	12339	498	2,800	19107	917	4,200	22161	1256	5,600	23358	1516
1,075	16287	400	2,150	29055	753	3,230	39522	1059	4,300	48726	1318
1,500	13903	459	3,000	21773	846	4,500	25621	1161	6,000	27458	1405
1,275	16799	402	2,550	28967	752	3,830	38079	1050	5,100	45584	1297
1,750	20106	501	3,500	31331	923	5,250	36637	1265	7,000	38983	1529

Ø 20–71 mm Werkstoff: 1.4923 (X22 Cr Mo V 12-1)

Artikel-nummer	Bestellmaße						Gewicht je 1000 St.	Spannung σ_{OM} bei s = h_0
	D_e [mm]	D_i [mm]	t [mm]	l_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0/t	[kg]	[N/mm²]
055 660	20	10,2	1,5	1,75	0,25	0,17	2,652	-1199
061 952	23	12,2	1,5	1,85	0,35	0,23	3,412	-1302
065 500	25	12,2	1,5	1,95	0,45	0,30	4,278	-1346
072 104	28	10,2	1,5	2,05	0,55	0,37	6,118	-1188
073 250	28	12,2	1,5	2,05	0,55	0,37	5,714	-1247
076 300	28	14,2	1,5	2,05	0,55	0,37	5,237	-1341
083 900	31,5	16,3	1,5	2,15	0,65	0,43	6,529	-1268
084 400	31,5	16,3	1,75	2,3	0,55	0,31	7,614	-1252
084 801	31,5	16,3	2	2,5	0,50	0,25	8,697	-1300
088 400	34	12,3	1,5	2,4	0,90	0,60	9,040	-1316
089 500	34	14,3	1,5	2,35	0,85	0,57	8,560	-1291
090 600	34	16,3	1,5	2,3	0,80	0,53	8,008	-1282
091 200	34	16,3	2	2,6	0,60	0,30	10,669	-1282
094 600	35,5	18,3	2	2,65	0,65	0,33	11,097	-1328
099 464	40	14,3	1,5	2,75	1,25	0,83	12,572	-1318
099 860	40	14,3	2	2,9	0,90	0,45	16,754	-1265
100 700	40	16,3	1,5	2,7	1,20	0,80	12,019	-1304
100 734	40	16,3	2	2,9	0,90	0,45	16,017	-1304
101 800	40	18,3	2	2,85	0,85	0,43	15,190	-1284
103 100	40	20,4	1,5	2,6	1,10	0,73	10,665	-1319
103 600	40	20,4	2	2,8	0,80	0,40	14,211	-1279
104 300	40	20,4	2,25	2,95	0,70	0,31	15,981	-1259
104 800	40	20,4	2,5	3,15	0,65	0,26	17,751	-1299
110 600	45	22,4	1,75	2,95	1,20	0,69	16,018	-1307
111 000	45	22,4	2,5	3,35	0,85	0,34	22,863	-1322
116 400	50	18,4	1,5	3,3	1,80	1,20	19,504	-1221
116 654	50	18,4	2	3,3	1,30	0,65	25,994	-1176
116 903	50	18,4	2,5	3,65	1,15	0,46	32,479	-1301
117 204	50	18,4	3	3,95	0,95	0,32	38,958	-1289
117 450	50	20,4	2	3,4	1,40	0,70	25,059	-1299
117 700	50	20,4	2,5	3,6	1,10	0,44	31,310	-1276
118 405	50	22,4	2	3,3	1,30	0,65	24,028	-1246
118 600	50	22,4	2,5	3,6	1,10	0,44	30,020	-1317
120 104	50	25,4	1,5	3,1	1,60	1,07	16,733	-1224
120 500	50	25,4	2	3,3	1,30	0,65	22,299	-1326
120 900	50	25,4	2,5	3,5	1,00	0,40	27,859	-1275
121 100	50	25,4	3	3,85	0,85	0,28	33,412	-1301
128 598	56	28,5	1,5	3,45	1,95	1,30	20,951	-1191
128 700	56	28,5	2	3,6	1,60	0,80	27,921	-1303
129 100	56	28,5	3	4,05	1,05	0,35	41,840	-1283
131 100	60	20,5	2	4,1	2,10	1,05	38,242	-1303
131 300	60	20,5	2,5	4,2	1,70	0,68	47,786	-1319
131 412	60	20,5	3	4,4	1,40	0,47	57,324	-1303
131 900	60	25,5	2,5	4,1	1,60	0,64	44,320	-1305
132 200	60	25,5	3	4,3	1,30	0,43	53,163	-1272
133 194	60	30,5	2,5	4	1,50	0,60	40,115	-1329
133 600	60	30,5	3	4,2	1,20	0,40	48,117	-1276
133 830	60	30,5	3,5	4,55	1,05	0,30	56,110	-1303
003 085	63	31	1,8	4,1	2,30	1,28	32,573	-1306
138 600	63	31	2,5	4,15	1,65	0,66	45,214	-1301
138 850	63	31	3,5	4,7	1,20	0,34	63,247	-1325
146 400	70	30,5	2,5	4,7	2,20	0,88	59,715	-1330
146 600	70	30,5	3	4,8	1,80	0,60	71,633	-1306
147 800	70	35,5	3	4,7	1,70	0,57	65,661	-1326
148 050	70	35,5	4	5,2	1,20	0,30	87,480	-1248
150 600	70	40,5	4	5,1	1,10	0,28	78,305	-1265
151 200	70	40,5	5	5,9	0,90	0,18	97,792	-1293
153 012	71	36	2	4,6	2,60	1,30	45,078	-1314

Federweg s, Federkraft F und Spannung σ

bei s = 0,25 h_0			s = 0,50 h_0			s ≈ 0,75 h_0			s = 1,00 h_0		
s	F	σ	s	F	σ	s	F	σ	s	F_c	σ
[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]
0,063	719	372	0,125	1427	760	0,190	2155	1164	0,250	2824	1584
0,088	794	371	0,175	1565	767	0,260	2299	1186	0,350	3068	1628
0,113	840	378	0,225	1639	789	0,340	2429	1232	0,450	3172	1708
0,138	761	376	0,275	1470	791	0,410	2131	1245	0,550	2799	1739
0,138	799	351	0,275	1543	741	0,410	2237	1169	0,550	2938	1636
0,138	859	343	0,275	1659	725	0,410	2406	1147	0,550	3159	1607
0,163	839	330	0,325	1599	637	0,490	2317	1021	0,650	2988	1448
0,138	1069	334	0,275	2081	700	0,410	3040	1096	0,550	4014	1524
0,125	1418	370	0,250	2788	767	0,380	4178	1188	0,500	5447	1636
0,225	959	333	0,450	1760	714	0,680	2472	1178	0,900	3102	1713
0,213	921	338	0,425	1704	653	0,640	2404	1072	0,850	3042	1555
0,200	896	346	0,400	1671	657	0,600	2366	1004	0,800	3021	1450
0,150	1422	364	0,300	2776	760	0,450	4084	1186	0,600	5370	1644
0,163	1487	352	0,325	2891	737	0,490	4261	1157	0,650	5562	1611
0,313	1130	381	0,625	1957	712	0,940	2587	993	1,250	3106	1505
0,225	1501	372	0,450	2852	795	0,680	4128	1270	0,900	5301	1797
0,300	1091	388	0,600	1905	727	0,900	2535	1016	1,200	3073	1392
0,225	1547	351	0,450	2939	752	0,680	4254	1204	0,900	5462	1707
0,213	1504	329	0,425	2871	703	0,640	4161	1122	0,850	5377	1586
0,275	1051	411	0,550	1867	773	0,830	2537	1086	1,100	3107	1351
0,200	1479	323	0,400	2838	669	0,600	4117	1064	0,800	5356	1500
0,175	1774	340	0,350	3457	712	0,530	5126	1114	0,700	6672	1548
0,163	2219	370	0,325	4357	766	0,490	6473	1189	0,650	8499	1639
0,300	1371	393	0,600	2465	740	0,900	3374	1043	1,200	4191	1317
0,213	2328	352	0,425	4515	741	0,640	6633	1165	0,850	8656	1625
0,450	1399	429	0,900	2216	791	1,350	2644	1085	1,800	2878	1311
0,325	1573	309	0,650	2854	599	0,980	3955	1001	1,300	4927	1472
0,288	2424	371	0,575	4594	795	0,860	6578	1273	1,150	8512	1805
0,238	3238	425	0,475	6304	888	0,710	9225	1386	0,950	12151	1922
0,350	1797	365	0,700	3220	687	1,050	4392	988	1,400	5440	1475
0,275	2352	347	0,550	4477	742	0,830	6485	1185	1,100	8348	1677
0,325	1666	352	0,650	3022	664	0,980	4188	938	1,300	5217	1372
0,275	2429	337	0,550	4624	721	0,830	6699	1154	1,100	8622	1636
0,400	1260	453	0,800	2058	840	1,200	2548	1162	1,600	2885	1417
0,325	1774	393	0,650	3218	743	0,980	4460	1049	1,300	5556	1349
0,250	2306	322	0,500	4424	669	0,750	6418	1064	1,000	8348	1500
0,213	3227	363	0,425	6315	755	0,640	9346	1176	0,850	12261	1626
0,488	1480	490	0,975	2292	902	1,460	2659	1236	1,950	2806	1492
0,400	1938	421	0,800	3384	790	1,200	4503	1105	1,600	5458	1369
0,263	3265	333	0,525	6322	703	0,790	9267	1107	1,050	12088	1547
0,525	2352	415	1,050	3857	769	1,580	4806	1061	2,100	5458	1326
0,425	2812	343	0,850	5063	686	1,280	6961	1153	1,700	8630	1703
0,350	3509	388	0,700	6642	832	1,050	9524	1332	1,400	12281	1888
0,400	2709	359	0,800	4927	679	1,200	6816	1016	1,600	8541	1496
0,325	3367	339	0,650	6418	725	0,980	9301	1158	1,300	11992	1637
0,375	2689	382	0,750	4937	725	1,130	6916	1026	1,500	8699	1394
0,300	3322	322	0,600	6374	669	0,900	9245	1064	1,200	12026	1500
0,263	4424	357	0,525	8637	745	0,790	12747	1164	1,050	16710	1614
0,575	2295	526	1,150	3572	969	1,730	4175	1328	2,300	4431	1603
0,413	2738	383	0,825	4954	724	1,240	6833	1021	1,650	8517	1342
0,300	4577	354	0,600	8873	745	0,900	12982	1173	1,200	16997	1637
0,550	3282	424	1,100	5616	791	1,650	7318	1101	2,200	8705	1355
0,450	3804	354	0,900	6984	670	1,350	9749	1033	1,800	12307	1509
0,425	3783	373	0,850	7002	709	1,280	9876	1006	1,700	12499	1421
0,300	5537	343	0,600	10809	715	0,900	15905	1117	1,200	20913	1549
0,275	5560	329	0,550	10894	684	0,830	16172	1065	1,100	21187	1473
0,225	8644	369	0,450	17134	755	0,680	25707	1159	0,900	33858	1581
0,650	2903	540	1,300	4497	994	1,950	5219	1362	2,600	5505	1644

Ø 71–250 mm Werkstoff: 1.4923 (X22 Cr Mo V 12-1)

Artikel-nummer	Bestellmaße							Gewicht je 1000 St.	Spannung σ_{OM} bei s = h_0
	D_e [mm]	D_i [mm]	t [mm]	t' [mm]	l_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0/t	[kg]	[N/mm²]
153 200	71	36	2,5		4,5	2,00	0,80	56,326	-1264
153 400	71	36	4		5,3	1,30	0,33	90,018	-1314
159 500	80	31	2,5		5,3	2,80	1,12	81,874	-1251
159 660	80	31	3		5,4	2,40	0,80	98,222	-1287
160 650	80	36	3		5,3	2,30	0,77	92,159	-1294
160 660	80	36	4		5,7	1,70	0,43	122,804	-1275
161 230	80	41	2,25		5	2,75	1,22	63,925	-1240
161 475	80	41	3		5,2	2,20	0,73	85,190	-1323
161 800	80	41	4		5,6	1,60	0,40	113,508	-1282
162 100	80	41	5		6,3	1,30	0,26	141,787	-1303
169 400	90	46	2,5		5,7	3,20	1,28	90,032	-1264
169 600	90	46	3,5		5,8	2,30	0,66	125,968	-1272
169 800	90	46	5		6,6	1,60	0,32	179,789	-1264
174 704	100	41	4		6,8	2,80	0,70	200,275	-1301
174 752	100	41	5		7,2	2,20	0,44	250,230	-1277
175 591	100	51	2,7		6,3	3,60	1,33	120,314	-1243
176 002	100	51	3,5		6,3	2,80	0,80	155,895	-1253
176 300	100	51	4		6,5	2,50	0,63	178,116	-1279
176 600	100	51	5		7	2,00	0,40	222,523	-1279
177 000	100	51	6		7,7	1,70	0,28	266,881	-1304
183 310	112	57	3		6,7	3,70	1,23	167,989	-1130
183 320	112	57	4		7,2	3,20	0,80	223,876	-1303
183 800	112	57	6		8,1	2,10	0,35	335,486	-1283
188 970	125	41	4		8,2	4,20	1,05	335,918	-1195
189 052	125	51	4		8,4	4,40	1,10	313,759	-1306
189 200	125	51	5		8,5	3,50	0,70	392,056	-1299
190 253	125	61	5		8,3	3,30	0,66	358,240	-1316
190 510	125	61	6		8,7	2,70	0,45	429,708	-1292
001 490	125	61	8	7,5	10	2,00	0,33	536,796	-1301
190 701	125	64	3,5		8	4,50	1,29	243,002	-1292
001 526	125	64	5		8,3	3,30	0,66	346,916	-1353
004 718	125	64	8	7,5	10	2,00	0,33	519,800	-1338
192 600	125	71	6		8,4	2,40	0,40	381,861	-1276
192 904	125	71	8	7,4	9,8	1,80	0,32	470,633	-1306
193 194	125	71	10	9,2	11,5	1,50	0,25	584,586	-1368
199 160	140	72	3,8		8,7	4,90	1,29	330,005	-1221
199 444	140	72	5		9	4,00	0,80	434,011	-1312
202 700	150	61	5		10,1	5,10	1,02	565,721	-1313
203 075	150	71	6		10	4,00	0,67	630,814	-1309
002 858	150	81	8	7,5	10,7	2,70	0,43	719,402	-1295
001 242	160	82	6		10,3	4,30	0,72	682,231	-1292
208 310	160	82	10	9,4	12,6	2,60	0,34	1067,576	1326
213 744	180	92	6		11,1	5,10	0,85	865,497	-1209
213 937	180	92	10	9,4	13,3	3,30	0,41	1354,537	-1324
000 212	200	82	8	7,6	13,6	5,60	0,79	1523,868	-1300
003 095	200	92	10	9,5	14,3	4,30	0,51	1804,099	-1314
218 909	200	92	12	11,4	15,6	3,60	0,37	2163,894	-1327
000 436	200	102	5,5		12,38	6,88	1,25	981,059	-1210
219 400	200	102	8		13,1	5,10	0,64	1426,016	-1304
004 014	200	102	12	11,3	15,4	3,40	0,36	2012,423	-1326
002 226	200	102	14	13,1	16,9	2,90	0,29	2331,832	-1326
003 739	200	112	14	12,9	15,6	1,60	0,21	2129,412	-790
223 110	225	112	8	7,5	14,5	6,50	0,93	1721,243	-1285
001 030	250	127	7	6,7	14,8	7,80	1,21	1873,549	-1101
226 660	250	127	10		16,4	6,40	0,64	2794,326	-1306
003 913	250	127	12	11,25	17,3	5,30	0,54	3142,758	-1311
004 175	250	127	14	13,1	18,55	4,55	0,42	3658,086	-1321
002 618	250	127	16		20	4,00	0,25	4465,057	-1306

Federweg s, Federkraft F und Spannung σ

bei s = 0,25 h_0			s = 0,50 h_0			s ≈ 0,75 h_0			s = 1,00 h_0		
s	F	σ	s	F	σ	s	F	σ	s	F_c	σ
[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]
0,500	2936	408	1,000	5128	765	1,500	6823	1070	2,000	8271	1325
0,325	5886	352	0,650	11446	737	0,980	16868	1157	1,300	22020	1610
0,700	3732	431	1,400	6020	796	2,100	7344	1097	2,800	8188	1331
0,600	4305	376	1,200	7519	704	1,800	10005	984	2,400	12127	1421
0,575	4224	392	1,150	7439	735	1,730	10004	1031	2,300	12192	1321
0,425	5973	330	0,850	11403	706	1,280	16530	1126	1,700	21360	1591
0,688	3254	495	1,375	5128	912	2,060	6078	1254	2,750	6573	1518
0,550	4216	413	1,100	7489	777	1,650	10134	1092	2,200	12465	1357
0,400	5936	325	0,800	11389	669	1,200	16519	1064	1,600	21488	1500
0,325	8903	370	0,650	17482	766	0,980	25972	1189	1,300	34099	1639
0,800	4294	517	1,600	6680	952	2,400	7796	1305	3,200	8276	1576
0,575	5237	380	1,150	9483	717	1,730	13097	1012	2,300	16322	1284
0,400	8832	338	0,800	17188	709	1,200	25225	1111	1,600	33104	1546
0,700	7200	366	1,400	12898	689	2,100	17595	987	2,800	21791	1472
0,550	9422	346	1,100	17934	741	1,650	25839	1183	2,200	33441	1675
0,900	5139	519	1,800	7906	955	2,700	9092	1306	3,600	9487	1574
0,700	5706	405	1,400	9966	760	2,100	13261	1064	2,800	16074	1317
0,625	6729	374	1,250	12280	708	1,880	17084	1001	2,500	21422	1318
0,500	9247	323	1,000	17740	669	1,500	25732	1064	2,000	33473	1500
0,425	12939	363	0,850	25322	755	1,280	37476	1176	1,700	49165	1627
0,925	5320	452	1,850	8362	833	2,780	9891	1144	3,700	10649	1385
0,800	7750	421	1,600	13535	790	2,400	18011	1105	3,200	21831	1369
0,525	13060	333	1,050	25287	703	1,580	37068	1107	2,100	48353	1547
1,050	8625	376	2,100	14146	695	3,150	17598	959	4,200	20016	1253
1,100	9815	454	2,200	15907	839	3,300	19516	1157	4,400	21884	1407
0,875	11233	365	1,750	20124	687	2,630	27491	988	3,500	34000	1475
0,825	11078	387	1,650	20045	730	2,480	27647	1030	3,300	34460	1365
0,675	13799	332	1,350	26210	664	2,030	37779	1066	2,700	48720	1515
0,500	22799	339	1,000	44284	708	1,500	64785	1108	2,000	84629	1538
1,125	8638	530	2,250	13423	975	3,380	15646	1337	4,500	16573	1614
0,825	11391	405	1,650	20611	765	2,480	28428	1079	3,300	35433	1362
0,500	23443	338	1,000	45535	707	1,500	66615	1106	2,000	87019	1536
0,600	13292	337	1,200	25500	647	1,800	36988	995	2,400	48114	1405
0,450	22678	338	0,900	44138	658	1,350	64660	1009	1,800	84525	1399
0,375	35942	353	0,750	70798	725	1,130	105229	1115	1,500	138102	1525
1,225	9653	502	2,450	14988	925	3,680	17452	1267	4,900	18464	1530
1,000	12189	426	2,000	21288	798	3,000	28327	1117	4,000	34335	1383
1,275	14460	438	2,550	23891	813	3,830	29989	1125	5,100	34372	1373
1,000	15936	381	2,000	28787	720	3,000	39583	1015	4,000	49350	1378
0,675	23766	352	1,350	45331	678	2,030	65426	978	2,700	84211	1361
1,075	16287	400	2,150	29055	753	3,230	39522	1059	4,300	48726	1318
0,650	36468	333	1,300	70741	697	1,950	103379	1093	2,600	134941	1520
1,275	16799	402	2,550	28967	752	3,830	38079	1050	5,100	45584	1297
0,825	37743	348	1,650	72166	671	2,480	104347	1030	3,300	134612	1453
1,400	30338	396	2,800	53021	744	4,200	70379	1044	5,600	84741	1305
1,075	39552	351	2,150	74144	672	3,230	105346	1027	4,300	134175	1473
0,900	53428	348	1,800	103089	733	2,700	150010	1154	3,600	195220	1613
1,720	19415	488	3,440	30399	899	5,160	35762	1234	6,880	38315	1492
1,275	27679	384	2,550	50362	727	3,830	69787	1027	5,100	87404	1334
0,850	53088	335	1,700	102553	685	2,550	149344	1079	3,400	194407	1507
0,725	69822	353	1,450	136621	731	2,180	201549	1134	2,900	264003	1563
0,400	40143	215	0,800	79488	439	1,200	118174	670	1,600	156338	911
1,625	33348	457	3,250	56219	854	4,880	71819	1193	6,500	83197	1472
1,950	27287	444	3,900	43146	822	5,850	51201	1132	7,800	55075	1376
1,600	43384	385	3,200	78891	728	4,800	109145	1028	6,400	136773	1337
1,325	57731	375	2,650	107399	716	3,980	151423	1023	5,300	191591	1333
1,138	73747	348	2,275	140980	670	3,410	203283	1026	4,550	262776	1447
1,000	91125	376	2,000	179173	778	3,000	265169	1206	4,000	350139	1660

9.5 Maßtabellen für SCHNORR Tellerfedern „K“ Ø 9,8–213 mm

Nicht geschlitzte Federn

Artikel-nummer	Bestellmaße						Federweg s -kraft F		Gewicht	Kugellager Type			Kugellager-Maße			
	D_e	D_i	t	l_0	h_0	h_0/t	bei s ≈ 0,75 h_0		je 1000 Stück				Außen-Ø	Innen-Ø		
	[mm]	[mm]	[mm]				s [mm]	F [N]	[kg]				[mm]	[mm]		
241200	9,8	6,2	0,2	0,4	0,20	1,00	0,15	23	0,068	623(EL3)			10	3	–	–
241400	12,8	7,2	0,25	0,5	0,25	1,00	0,19	29	0,167	624(EL4)			13	4	–	–
241600	15,8	8,2	0,25	0,55	0,30	1,20	0,23	23	0,275	625(EL5)	634(R4)		16	5	4	–
241700	18,8	9,2	0,3	0,65	0,35	1,17	0,26	31	0,487	626(EL6)	635(R5)		16	6	5	–
241800	18,8	10,2	0,35	0,7	0,35	1,00	0,26	51	0,526	607(EL7)			19	7	–	–
241900	21,8	12,3	0,35	0,75	0,40	1,14	0,30	46	0,684	608(EL8)	627(R7)		22	8	7	–
242100	23,7	14,3	0,4	0,9	0,50	1,25	0,38	81	0,862	609(EL9)			24	9	–	–
242200	25,7	14,3	0,4	0,9	0,50	1,25	0,38	63	1,105	6000	629(R9)		26	10	9	–
242300	27,7	17,3	0,4	1	0,60	1,50	0,45	80	1,132	6001			28	12	–	–
242500	29,7	17,4	0,4	1,1	0,70	1,75	0,53	83	1,406		6200		30	–	10	–
242600	31,7	20,4	0,4	1,1	0,70	1,75	0,53	81	1,422	6002	6201		32	15	12	–
242800	34,6	20,4	0,4	1,1	0,70	1,75	0,53	61	1,894			6300	35	–	–	10
242900	34,6	22,4	0,5	1,2	0,70	1,40	0,53	118	2,103	6003	6202		35	17	15	–
243000	36,6	20,4	0,5	1,3	0,80	1,60	0,60	110	2,805			6301	37	–	–	12
243100	39,6	25,5	0,5	1,3	0,80	1,60	0,60	110	2,783		6203		40	–	17	–
243200	41,6	25,5	0,5	1,4	0,90	1,80	0,68	113	3,282	6004		6302	42	20	–	15
243300	46,5	30,5	0,6	1,5	0,90	1,50	0,68	153	4,486	6005	6204	6303	47	25	20	17
243400	51,5	35,5	0,6	1,5	0,90	1,50	0,68	135	5,059		6205	6304	52	–	25	20
243500	54,5	40,5	0,6	1,5	0,90	1,50	0,68	141	4,822	6006			55	30	–	–
243600	61,5	40,5	0,7	1,8	1,10	1,57	0,83	176	9,121	6007	6206	6305	62	35	30	25
243700	67,5	50,5	0,7	1,7	1,00	1,43	0,75	161	8,505	6008			68	40	–	–
243800	71,5	45,5	0,7	2,1	1,40	2,00	1,05	185	12,99			6306	72	–	–	30
243900	71,5	50,5	0,7	2,1	1,40	2,00	1,05	218	10,90		6207		72	–	35	–
244000	74,5	55,5	0,8	1,9	1,10	1,38	0,83	211	11,99	6009			75	45	–	–
244100	79,5	50,5	0,8	2,3	1,50	1,88	1,13	228	18,40			6307	80	–	–	35
244200	79,5	55,5	0,8	2,3	1,50	1,88	1,13	263	15,78	6010	6208		80	50	40	–
244300	84,5	60,5	0,9	2,5	1,60	1,78	1,20	359	19,05		6209		85	–	45	–
244400	89,5	60,5	0,9	2,5	1,60	1,78	1,20	288	23,86			6308	90	–	–	40
244500	89,5	65,5	0,9	2,5	1,60	1,78	1,20	335	20,36	6011	6210		90	55	50	–
244600	94,5	75,5	1	2,2	1,20	1,20	0,90	325	19,57	6012			95	60	–	–
244700	99	65,5	1	2,6	1,60	1,60	1,20	292	33,64			6309	100		–	45
244800	99	70,5	1	2,6	1,60	1,60	1,20	332	29,44	6013	6211		100	65	55	–
244900	109	70,5	1,25	2,7	1,45	1,16	1,09	357	52,80			6310	110	–	–	50
245000	109	75,5	1,25	2,7	1,45	1,16	1,09	398	47,17	6014	6212		110	70	60	–
245100	114	90,5	1,25	2,45	1,20	0,96	0,90	398	36,49	6015			115	75	–	–
245200	119	75,5	1,25	2,8	1,55	1,24	1,16	320	64,71			6311	120	–	–	55
245300	119	85,5	1,25	2,8	1,55	1,24	1,16	393	52,28		6213		120	–	65	–
245400	124	90,5	1,25	3	1,75	1,40	1,31	445	54,75	6016	6214		125	80	70	–
245500	129	85,5	1,25	3,2	1,95	1,56	1,46	405	71,28			6312	130	–	–	60
245600	129	95,5	1,25	3,2	1,95	1,56	1,46	500	57,31	6017	6215		130	85	75	–
245700	139	90,5	1,25	3,25	2,00	1,60	1,50	354	85,11			6313	140	–	–	65
245800	139	101	1,25	3,25	2,00	1,60	1,50	429	69,58	6018	6216		140	90	80	–
245900	149	95,5	1,5	3,2	1,70	1,13	1,28	379	120,1			6314	150	–	–	70
246000	149	106	1,5	3,2	1,70	1,13	1,28	450	100,5	6020	6217		150	100	85	–
246100	159	101	1,5	3,5	2,00	1,33	1,50	412	138,5			6315	160	–	–	75
246200	159	111	1,5	3,5	2,00	1,33	1,50	477	118,9	6021	6218		160	105	90	–
246300	169	111	1,5	3,8	2,30	1,53	1,73	470	149,2			6316	170	–	–	80
246400	169	121	1,5	3,8	2,30	1,53	1,73	546	127,7	6022	6219		170	110	95	–
246500	179	121	2	4,2	2,20	1,10	1,65	864	213,1			6317	180	–	–	85
246600	179	126	2	4,2	2,20	1,10	1,65	928	197,8	6024	6220		180	120	100	–
246700	189	121	2	4,3	2,30	1,15	1,73	759	258,3			6318	190	–	–	90
246800	189	131	2	4,3	2,30	1,15	1,73	858	227,1		6221		190	–	105	–
246900	198	131	2	4,5	2,50	1,25	1,88	812	270,0			6319	200	–	–	95
247000	198	141	2	4,5	2,50	1,25	1,88	923	236,4	6026	6222		200	130	110	–
247100	213	151	2,25	4,5	2,25	1,00	1,69	941	310,9		6224	6320	215	–	120	100

Ø 223–358 mm

Nicht geschlitzte Federn

Artikel-nummer	Bestellmaße						Federweg s -kraft F		Gewicht	Kugellager Type			Kugellager-Maße			
	D_e [mm]	D_i [mm]	t [mm]	l_0	h_0	h_0/t	bei s ≈ 0,75 h_0 s [mm]	F [N]	je 1000 Stück [kg]				Außen-Ø [mm]	Innen-Ø [mm]		
247200	223	161	2,25	4,6	2,35	1,04	1,76	942	328,0	6030		6321	225	150	–	105
247300	228	161	2,25	4,95	2,70	1,20	2,03	1036	359,2		6226		230	–	130	–
247400	238	161	2,25	5,25	3,00	1,33	2,25	1021	423,8	6032		6322	240	160	–	110
247500	248	171	2,5	5	2,50	1,00	1,88	1005	494,5		6228		250	–	140	–
247600	258	171	2,5	5,5	3,00	1,20	2,25	1106	572,2	6034		6324	260	170	–	120
247700	268	181	2,5	5,7	3,20	1,28	2,40	1155	598,7		6230		270	–	150	–
247800	278	181	2,5	6	3,50	1,40	2,63	1155	682,7	6036		6326	280	180	–	130
247900	288	191	2,75	5,75	3,00	1,09	2,25	1145	783,7	6038	6232		290	190	160	–
248000	298	191	2,75	6,35	3,60	1,31	2,70	1307	883,0			6328	300	–	–	140
248100	308	202	3	6,1	3,10	1,03	2,33	1300	995,2	6040	6234		310	200	170	–
248200	318	212	3	6,2	3,20	1,07	2,40	1302	1034		6236	6330	320	–	180	150
248300	338	232	3	6,6	3,60	1,20	2,70	1415	1112	6044	6238	6332	340	220	190	160
248400	358	242	3	7	4,00	1,33	3,00	1424	1281	6048	6240	6334	360	240	200	170

Ø 9,8 – 94,5 mm

Geschlitzte Federn

Artikel-nummer	Bestellmaße						Federweg s -kraft F		Gewicht	Kugellager Type			Kugellager-Maße			
	D_e	D_i	t	l_0	h_0	h_0/t	bei s ≈ 0,75 h_0		je 1000 Stück				Außen-Ø	Innen-Ø		
	[mm]	[mm]	[mm]				s [mm]	F [N]	[kg]				[mm]	[mm]		
241150	9,8	6,2	0,15	0,6	0,45	1,00	0,35	13	0,050	623(EL3)			10	3	–	–
241350	12,8	7,2	0,2	0,65	0,45	0,92	0,35	18	0,130	624(EL4)			13	4	–	–
241650	15,8	8,2	0,25	0,75	0,50	0,74	0,40	20	0,280	625(EL5)	634(R4)		16	5	4	–
241675	18,8	9,2	0,25	1	0,75	0,97	0,55	20	0,440	626(EL6)	635(R5)		16	6	5	–
241750	18,8	10,2	0,25	1,05	0,80	1,15	0,60	24	0,320	607(EL7)			19	7	–	–
241850	21,8	12,3	0,25	1,25	1,00	1,47	0,75	24	0,420	608(EL8)	627(R7)		22	8	7	–
242050	23,7	14,3	0,3	1,3	1,00	1,21	0,75	25	0,660	609(EL9)			24	9	–	–
242150	25,7	14,3	0,3	1,4	1,10	1,19	0,80	28	0,700	6000	629(R9)		26	10	9	–
242250	27,7	17,3	0,35	1,45	1,10	1,03	0,80	31	0,984	6001			28	12	–	–
242450	29,7	17,3	0,35	1,55	1,20	1,30	0,90	32	1,200		6200		30	–	10	–
242550	31,7	20,4	0,35	1,55	1,20	1,30	0,90	33	1,270	6002	6201		32	15	12	–
242750	34,6	20,4	0,40	1,65	1,30	1,10	1,00	32	1,650			6300	35	–	–	10
242850	34,6	22,4	0,35	1,55	1,20	1,18	0,90	32	1,500	6003	6202		35	17	15	–
242950	36,6	20,4	0,4	1,9	1,50	1,44	1,10	35	2,280			6301	37	–	–	12
243050	39,6	25,5	0,4	1,9	1,50	1,22	1,10	37	1,920		6203		40	–	17	–
243150	41,6	25,5	0,45	2,05	1,60	1,13	1,20	39	2,500	6004		6302	42	20	–	15
243250	46,5	30,5	0,45	2,05	1,60	1,11	1,20	44	2,840	6005	6204	6303	47	25	20	17
243350	51,5	35,5	0,45	2,1	1,65	1,26	1,25	47	3,070		6205	6304	52	–	25	20
243450	54,5	40,5	0,45	2,15	1,70	1,75	1,30	53	3,200	6006			55	30	–	–
243550	61,5	40,5	0,55	2,55	2,00	1,21	1,50	54	6,050	6007	6206	6305	62	35	30	25
243650	67,5	50,5	0,5	2,6	2,10	1,36	1,60	78	5,500	6008			68	40	–	–
243750	71,5	45,5	0,6	2,9	2,30	1,47	1,70	74	9,600			6306	72	–	–	30
243850	71,5	50,5	0,6	2,9	2,30	1,83	1,70	127	8,200		6207		72	–	35	–
243950	74,5	55,5	0,6	2,9	2,30	1,31	1,70	91	7,580	6009			75	45	–	–
244125	79,5	50,5	0,7	3,1	2,40	1,36	1,80	83	16,26			6307	80	–	–	35
244150	79,5	55,5	0,7	2,9	2,20	1,51	1,65	127	14,50	6010	6208		80	50	40	–
244250	84,5	60,5	0,75	3,15	2,40	0,87	1,80	78	13,00		6209		85	–	45	–
244350	89,5	60,5	0,8	3,3	2,50	1,08	1,90	104	18,10			6308	90	–	–	40
244450	89,5	65,5	0,8	3,4	2,60	1,35	1,95	189	16,00	6011	6210		90	55	50	–
244550	94,5	75,5	0,8	3,45	2,65	1,39	2,00	206	13,30	6012			95	60	–	–

Umrechnungsfaktoren

Einheit	Faktor			
Inch	in	x	25,4	= mm
Pounds	lb	x	4,44822	= N
Millimeter	mm	x	0,039370	= in
Newton	N	x	0,224809	= lb

Maßtabellen für SCHNORR Tellerfedern „Z“ ▶

9.6 Maßtabellen für SCHNORR Tellerfedern „Z“

Artikel-nummer	Bezeichnung	Bestellmaße D_e [mm]	D_i [mm]	t [mm]	l_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0/t	Gewicht je 1000 St. [kg]	Spannung σ_{OM} bei $s = h_0$ [N/mm²]
248500	Z 1	9,53	4,96	0,4	0,7	0,30	0,75	0,154	–1687
248600	Z 2	12,7	6,55	0,5	0,9	0,40	0,80	0,348	–1574
248700	Z 3	12,7	6,55	0,6	1	0,40	0,67	0,419	–1888
248800	Z 4	17,46	9,7	0,6	1,1	0,50	0,83	0,750	–1318
248900	Z 5	17,46	9,7	0,7	1,2	0,50	0,71	0,877	–1538
249000	Z 6	19,05	8,13	0,7	1,3	0,60	0,86	1,241	–1342
249100	Z 7	19,05	8,13	0,8	1,4	0,60	0,75	1,370	–1533
249200	Z 8	19,05	9,7	0,8	1,35	0,55	0,69	1,267	–1526
249300	Z 9	19,05	9,7	0,9	1,45	0,55	0,61	1,429	–1717
249400	Z 10	25,4	11,3	0,9	1,7	0,80	0,89	2,766	–1314
249500	Z 11	25,4	11,3	1	1,8	0,80	0,80	3,081	–1460
249600	Z 12	25,4	11,3	1,25	1,9	0,65	0,52	3,867	–1483
249700	Z 12a	28	13	1	1,9	0,90	0,90	3,666	–1376
249800	Z 12b	28	13	1,25	2,1	0,85	0,68	4,564	–1624
249900	Z 12c	28	13	1,5	2,2	0,70	0,47	5,462	–1605
250000	Z 13	34,92	16,18	1,25	2,4	1,15	0,92	7,117	–1412
250100	Z 14	34,92	16,18	1,5	2,6	1,10	0,73	8,517	–1620
250200	Z 15	34,92	16,18	2	2,8	0,80	0,40	11,38	–1571
250300	Z 16	38,1	19,35	1,5	2,9	1,40	0,93	9,574	–1818
250400	Z 17	38,1	19,35	2	3,1	1,10	0,55	12,79	–1905
250500	Z 18	38,1	19,35	2,5	3,4	0,90	0,36	16,13	–1948
250600	Z 19	50,8	25,8	2	3,5	1,50	0,75	22,77	–1461
250700	Z 20	50,8	25,8	2,5	4	1,50	0,60	28,38	–1827
250800	Z 21	50,8	25,8	3	4,2	1,20	0,40	33,87	–1753
250900	Z 22	60,33	25,8	2	4	2,00	1,00	35,66	–1275
251000	Z 23	60,33	25,8	2,5	4,5	2,00	0,80	44,57	–1594
251100	Z 24	60,33	25,8	3	4,6	1,60	0,53	53,30	–1530

Federweg s, Federkraft F und Spannung σ

bei s = 0,25 h_0			s = 0,50 h_0			s ≈ 0,75 h_0			s = 1,00 h_0		
s	F	σ	s	F	σ	s	F	σ	s	F_c	σ
[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]	[mm]	[N]	[N/mm²]
0,08	97	535	0,15	171	1005	0,23	231	1412	0,30	283	1753
0,10	146	511	0,20	255	959	0,30	340	1342	0,40	412	1662
0,10	230	569	0,20	415	1074	0,30	571	1515	0,40	712	1892
0,13	181	449	0,25	313	840	0,38	413	1175	0,50	497	1453
0,13	263	490	0,25	470	923	0,38	639	1299	0,50	789	1619
0,15	255	419	0,30	439	783	0,45	576	1091	0,60	688	1345
0,15	352	451	0,30	622	847	0,45	839	1188	0,60	1028	1639
0,14	335	463	0,28	602	873	0,41	824	1230	0,55	1023	1534
0,14	453	498	0,28	830	943	0,41	1156	1334	0,55	1457	1787
0,20	423	424	0,40	722	790	0,60	939	1101	0,80	1114	1354
0,20	543	449	0,40	948	840	0,60	1261	1176	0,80	1529	1469
0,16	714	385	0,33	1336	756	0,49	1896	1043	0,65	2426	1769
0,23	552	453	0,45	939	846	0,68	1218	1177	0,90	1441	1448
0,21	866	474	0,43	1559	893	0,64	2138	1258	0,85	2658	1718
0,18	1081	409	0,35	2046	838	0,53	2933	1117	0,70	3783	1922
0,29	898	470	0,58	1522	875	0,86	1962	1217	1,15	2310	1495
0,28	1291	487	0,55	2294	916	0,83	3104	1286	1,10	3818	1659
0,20	1818	411	0,40	3489	873	0,60	5060	1054	0,80	6582	1953
0,35	1683	630	0,70	2842	1175	1,05	3651	1633	1,40	4285	2006
0,28	2391	531	0,55	4442	1009	0,83	6268	1435	1,10	7980	2059
0,23	3459	502	0,45	6686	1059	0,68	9757	1327	0,90	12752	2341
0,38	2095	459	0,75	3706	863	1,13	4994	1211	1,50	6121	1504
0,38	3695	525	0,75	6784	995	1,13	9470	1410	1,50	11955	1916
0,30	4565	442	0,60	8759	920	0,90	12705	1221	1,20	16526	2062
0,50	2211	429	1,00	3672	797	1,50	4631	1103	2,00	5341	1349
0,50	3703	483	1,00	6467	904	1,50	8605	1264	2,00	10431	1647
0,40	4278	395	0,80	7979	791	1,20	11295	1067	1,60	14419	1858

Kapitel 10

Sicherungselemente für Schraubverbindungen

10.1 Original SCHNORR Sicherungsscheiben 81

Maßtabelle Sicherungsscheiben „S“ 82

Maßtabelle Sicherungsscheiben „VS“ 83

10.2 Spannscheiben 84

Spannscheiben nach DIN 6796 84

Maßtabelle Spannscheiben DIN 6796 85

10.3 SCHNORR Hochspannungs-Sicherungsscheiben „HS“ 86

Maßtabelle Sicherungsscheiben „HS“ 86

10.1 Original SCHNORR Sicherungsscheiben

Sehr häufig werden unsere Tellerfedern als federnde Sicherungsscheiben bei Schraubverbindungen verwendet, um ein Nachlassen der Vorspannkraft und damit ein Lösen zu verhindern. Hochwertige Tellerfedern sind jedoch für derartige Anwendungen zu teuer und die Maße der genormten Tellerfedern passen nicht zu den Schraubengrößen.

Wir haben deshalb für diesen Anwendungsfall spezielle Sicherungselemente entwickelt. Dieses Sicherungselement hat die Form einer beidseitig gezahnten Tellerfeder mit trapezförmigem Querschnitt, deren Durchmesser auf die Schraubenmaße abgestimmt sind. Der Außendurchmesser der Scheibe stimmt mit dem Kopfdurchmesser von Zylinder- und Innensechskantschrauben überein. Die Sicherungsscheibe kann daher bei praktisch allen Schraubenarten eingesetzt werden, auch bei versenktem Schraubenkopf. Die einzige Ausnahme stellen Senkschrauben dar.

Die geniale Konstruktion der Original SCHNORR-Sicherungsscheibe vereinigt die Vorteile einer Sicherung durch Kraftschluss mit denen einer formschlüssigen Sicherung. Im einzelnen bietet sie dem Konstrukteur folgende Vorteile:

1. Der Formschluss durch die Verzahnung entsteht am Außendurchmesser, es wird also der größtmögliche Hebelarm wirksam.
2. Hohe Rüttelsicherheit durch Formschluss der Schrägverzahnung.
3. Durch die geschlossene Ringform wird eine hohe Vorspannkraft, d.h. ein guter Kraftschluss erreicht.
4. Der Kraftangriff erfolgt konzentrisch, es treten keine Biegemomente auf.
5. Gleitflächen verhindern Spanbildung beim Anziehen.
6. Kein Aufsprengen beim Anziehen bei korrektem Übergangsradius zwischen Schraubenschaft und Kopfauflage.
7. Geeignet zum unverlierbaren Aufbringen auf die verschiedensten Schrauben (Kombi-Schrauben, eine Sondermaßreihe „UV“ steht zur Verfügung).
8. Geringe Lagerhaltung durch universelle Verwendbarkeit.
9. SCHNORR-Sicherungsscheiben können aus verschiedenen Werkstoffen und mit verschiedenen Oberflächenbehandlungen geliefert werden.

Die Original SCHNORR-Sicherungsscheibe ist in zwei Ausführungen lieferbar: Die Sicherungsscheibe „S“ ist für normale Beanspruchung geeignet und für Schrauben von M 1,6 bis M 36 verfügbar. Die verstärkte Sicherungsscheibe „VS“ weist eine größere Dicke auf und erreicht dadurch höhere Vorspannkräfte. Außen- und Innendurchmesser sowie die Verzahnung stimmen mit der Ausführung „S“ überein. Sie wird für Schrauben von M 5 bis M 30 geliefert.

Die Original SCHNORR-Sicherungsscheibe ist im In- und Ausland patentrechtlich geschützt.

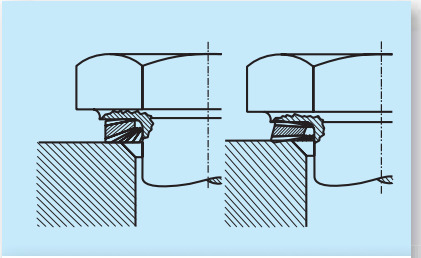


Abbildung 42
Schraube mit Sicherungsscheibe, lose und angezogen

Maßtabelle Sicherungsscheiben „S“

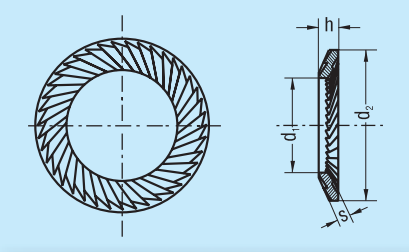


Abbildung 43
Sicherungsscheibe „S“

Bezeichnung einer Original SCHNORR-Sicherungsscheibe S der Größe 8 aus Federstahl: Sicherungsscheibe S 8 FSt.

Artikel-nummer	Größe (Nennmaß) [mm]	d_1 h14 [mm]	d_2 h14 [mm]	s [mm]	h max. [mm]	h min. [mm]	Gewicht (7,85 kg/dm³) [kg/1000 Stück]	Verpackung [Stück pro Schachtel]	für Schrauben Metrisch [mm]	für Schrauben Whitw. [inch]
402300	**1,6**	1,7	3,2	0,35	0,6	0,38	0,013	2000	1,6	
404400	**2**	2,2	4	0,35	0,6	0,39	0,021	2000	2	
406800	**2,5**	2,7	4,8	0,45	0,9	0,49	0,039	2000	2,5	
409400	**3**	3,2	5,5	0,45	0,9	0,51	0,049	2000	3	1/8"
411200	**3,5**	3,7	6	0,45	0,9	0,52	0,055	2000	3,5	
412700	**4**	4,3	7	0,5	1,0	0,59	0,085	1000	4	5/32"
414500	**5**	5,3	9	0,6	1,1	0,73	0,167	1000	5	3/16"
416300	**6**	6,4	10	0,7	1,2	0,82	0,200	1000	6	
418100	**6,35**	6,7	9,5	0,7	1,2	0,79	0,150	1000		1/4"
419200	**7**	7,4	12	0,7	1,3	0,89	0,355	1000	7	
420400	**8**	8,4	13	0,8	1,4	0,98	0,392	1000	8	5/16"
423000	**10**	10,5	16	1	1,6	1,21	0,750	1000	10	3/8"
425100	**11,1**	11,6	15,9	1	1,6	1,18	0,595	500		7/16"
426200	**12**	13	18	1,1	1,7	1,31	0,879	500	12	
427900	**12,7**	13,7	19	1,1	1,8	1,33	0,976	500		1/2"
429100	**14**	15	22	1,2	2,0	1,52	1,641	500	14	9/16"
430700	**16**	17	24	1,3	2,1	1,63	1,984	500	16	5/8"
432400	**18**	19	27	1,5	2,3	1,85	2,970	250	18	
433800	**19**	20	30	1,5	2,5	1,98	4,100	250		3/4"
435100	**20**	21	30	1,5	2,5	1,94	3,742	250	20	
436600	**22**	23	33	1,5	2,7	2,08	4,507	100	22	7/8"
437900	**24**	25,6	36	1,8	2,9	2,32	5,910	100	24	
439200	**25,4**	27	38	2	3,1	2,52	7,449	100		1"
440300	**27**	28,6	39	2	3,1	2,52	7,369	100	27	
441500	**30**	31,6	45	2	3,6	2,78	10,78	100	30	1 1/8"
442730	**36**	38	54	2,5	4,2	3,38	21,28	50	36	1 3/8"

Art.-Nr.: Gilt für die normale Ausführung aus Federstahl, gehärtet, geschwärzt
h max.: Größtmaß im Anlieferungszustand
h min.: Kleinstmaß nach Belastungsversuch
Lieferbare Werkstoffe: Federstahl nach DIN EN 10132-4; korrosionsbeständiger Stahl 1.4301; Federbronze CuSn8.
Lieferbare Oberflächen: geschwärzt (Standard), brüniert, phosphatiert, verzinkt

Maßtabelle Sicherungsscheiben „VS“

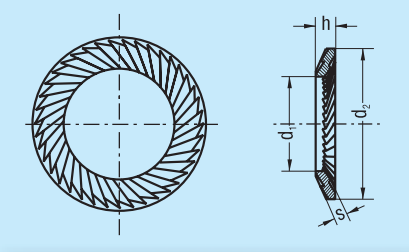


Abbildung 44
Sicherungsscheibe „VS“

Bezeichnung einer Original SCHNORR-Sicherungsscheibe VS der Größe 16 aus Federstahl, Oberfläche mechanisch verzinkt, gelb chromatiert: Sicherungsscheibe VS 16 FSt mech Zn8 cC.

Artikel-nummer	Größe (Nennmaß) [mm]	d_1 h14 [mm]	d_2 h14 [mm]	s [mm]	h max. [mm]	h min. [mm]	Gewicht (7,85 kg/dm³) [kg/1000 Stück]	Verpackung [Stück pro Schachtel]	für Schrauben Metrisch [mm]	für Schrauben Whitw. [inch]
414600	**5**	5,3	9	1	1,3	1,07	0,273	1000	5	3/16"
416400	**6**	6,4	10	1	1,4	1,08	0,300	1000	6	
420500	**8**	8,4	13	1,2	1,7	1,32	0,615	1000	8	5/16"
423100	**10**	10,5	16	1,5	2	1,64	1,167	1000	10	3/8"
426300	**12**	13	18	1,5	2,1	1,65	1,223	500	12	
429200	**14**	15	22	1,5	2,2	1,76	2,089	500	14	9/16"
430800	**16**	17	24	2	2,6	2,21	3,142	250	16	5/8"
432500	**18**	19	27	2	2,7	2,27	4,041	250	18	
435300	**20**	21	30	2	2,8	2,34	5,066	250	20	
436700	**22**	23	33	2	3,0	2,42	6,117	100	22	7/8"
438000	**24**	25,6	36	2,5	3,4	2,87	8,865	100	24	
440400	**27**	28,6	39	2,5	3,5	2,91	9,731	100	27	
441600	**30**	31,6	45	2,5	3,8	3,12	14,380	100	30	1 1/8"

Art.-Nr.: Gilt für die normale Ausführung aus Federstahl, gehärtet, geschwärzt
h max.: Größtmaß im Anlieferungszustand
h min.: Kleinstmaß nach Belastungsversuch
Lieferbare Werkstoffe: Federstahl nach DIN EN 10132-4; korrosionsbeständiger Stahl 1.4301; Federbronze CuSn8.
Lieferbare Oberflächen: geschwärzt (Standard), brüniert, phosphatiert, verzinkt

10.2 Spannscheiben

Als Spannscheiben bezeichnet man mitverspannte Federelemente in Form einer Tellerfeder, deren Sicherungswirkung ausschließlich auf Kraftschluss beruht. Sie sollen einem Lockern der Schraubverbindung, z.B. durch Setzbeträge, entgegenwirken, indem sie durch Federkraft eine hinreichend hohe Vorspannung in der Verbindung aufrechterhalten. Sie sind deshalb besonders für überwiegend axial belastete, kurze Schrauben geeignet. Gegen Losdrehvorgänge unter wechselnder Querbelastung bieten sie keine wirksame Sicherung.

SCHNORR-Spannscheiben bieten hauptsächlich folgende Vorteile:

1. Hohe axiale Spannkraft
2. Optimaler Ausgleich von Setzbeträgen
3. Verringerung der dynamischen Belastung der Schraube durch höhere Elastizität der Verbindung
4. Gleichbleibender konzentrischer Anpressdruck, keine Biegemomente
5. Hohe Sicherheit durch große Federwirkung
6. Geeignet zum unverlierbaren Aufbringen auf die verschiedensten Schrauben (Kombi-Schrauben)

Spannscheiben nach DIN 6796

Diese Spannscheiben wurden speziell für hochfeste Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 bis 10.9 nach DIN ISO 898 Teil 1 entwickelt. Ihre Federkräfte wurden an die Spannkräfte dieser Schrauben angepasst und betragen im flachgedrückten Zustand der Scheibe 70 bis 90% der entsprechenden Schraubenkräfte.

Diese hohen Kräfte erfordern naturgemäß entsprechend große Querschnitte, deshalb ist der Außendurchmesser der Spannscheiben wesentlich größer als der unserer Original SCHNORR-Sicherungsscheiben. Der Platzbedarf einer Konstruktion mit Spannscheiben ist daher nicht zu vernachlässigen.

Da beim Plattdrücken der Scheibe am Ende des Federweges ein stark progressiver Kraftanstieg entsteht, wurde in der folgenden Tabelle die Federkraft mit dem doppelten rechnerischen Wert angegeben. Durch Versuche wurde festgestellt, dass dieser Wert gut mit den gemessenen Werten übereinstimmt.

Für die Sicherung einer Schraubverbindung ist nur diejenige Kraft verfügbar, die nach einmaligem Zusammendrücken der Spannscheibe und dem damit verbundenen Setzvorgang noch vorhanden ist. Die Tabelle gibt daher die jeweilige Mindesthöhe nach dem Belastungsversuch an. Damit ist der durch Setzen hervorgerufene Höhenverlust begrenzt.

Die in der Tabelle enthaltenen Spannscheiben sind nach DIN 6796, Ausgabe Okt. 1987, „Spannscheiben für Schraubenverbindungen“, genormt. Die Prüfvorschriften sind in DIN 267 Teil 26 „Mechanische Verbindungselemente, Technische Lieferbedingungen, Federelemente aus Federstahl für Schraubenverbindungen“ festgelegt.

Maßtabelle Spannscheiben nach DIN 6796

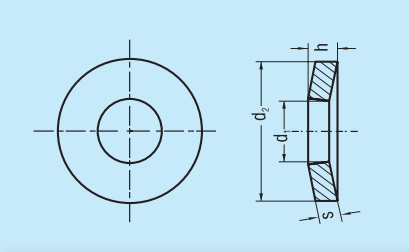


Abbildung 45
Spannscheibe

Bezeichnung einer Spannscheibe Größe 8 aus Federstahl:
Spannscheibe DIN 6796-8 FSt.

Artikel-nummer	Größe (Nennmaß) [mm]	d_1 h14 [mm]	d_2 h14 [mm]	s [mm]	h max. [mm]	h min. [mm]	Feder-kraft [mm]	Anpress-kraft [N]	Gewicht (7,85 kg/dm³) [kg/1000 Stück]	für Schrauben Metrisch [mm]	für Schrauben Whitw. [inch]
700000	2	2,2	5	0,4	0,6	0,5	628	920	0,050	2	
700100	2,5	2,7	6	0,5	0,72	0,61	946	1540	0,089	2,5	
700200	3	3,2	7	0,6	0,85	0,72	1320	2350	0,143	3	1/8"
700300	3,5	3,7	8	0,8	1,06	0,92	2410	3160	0,248	3,5	
700400	4	4,3	9	1	1,3	1,12	3770	4050	0,385	4	5/32"
700500	5	5,3	11	1,2	1,55	1,35	5480	6700	0,687	5	3/16"
700600	6	6,4	14	1,5	2	1,7	8590	9400	1,434	6	(1/4")
700700	7	7,4	17	1,75	2,3	2	11300	13700	2,527	7	
700800	8	8,4	18	2	2,6	2,24	14900	17200	2,993	8	5/16"
700900	10	10,5	23	2,5	3,2	2,8	22100	27500	6,201	10	3/8"
701000	12	13	29	3	3,95	3,43	34100	40000	12,05	12	(1/2")
701100	14	15	35	3,5	4,65	4,04	46000	55000	21,58	14	9/16"
701200	16	17	39	4	5,25	4,58	59700	75000	29,61	16	5/8"
701300	18	19	42	4,5	5,8	5,08	74400	95000	37,93	18	
701400	20	21	45	5	6,4	5,6	93200	122000	47,63	20	(3/4")
701500	22	23	49	5,5	7,05	6,15	113700	152000	62,04	22	7/8"
701600	24	25	56	6	7,75	6,77	131000	175000	90,88	24	
701700	27	28	60	6,5	8,35	7,3	154000	230000	110,5	27	(1")
701800	30	31	70	7	9,2	8	172000	280000	166,9	30	1 1/8"

Art.-Nr.: Gilt für die normale Ausführung aus Federstahl, gehärtet, blank, geölt
h max.: Größtmaß im Anlieferungszustand
h min.: Kleinstmaß nach Setzprüfung entsprechend DIN 267 Teil 26
Federkraft: Doppelte errechnete Federkraft im flachgedrückten Zustand bei einem Federweg h_{min} – s
Anpresskraft: Anpresskräfte für die Setzprüfung nach DIN 267 Teil 26
Technische Lieferbedingungen: nach DIN 267 Teil 26
Lieferbare Werkstoffe: Federstahl nach DIN EN 10132-4
Lieferbare Oberfläche: härteblank, geölt

Andere Werkstoffe und Oberflächenbehandlungen auf Anfrage.

10.3 SCHNORR Hochspannungs-Sicherungsscheiben „HS“

Bei dieser Sicherungsscheibe handelt es sich im Prinzip um eine Spannscheibe mit kleinerem Außendurchmesser als nach DIN 6796.

Ein besonderes Merkmal dieser Scheibe ist die leicht gewölbte Form. Dadurch wird eine progressive Kennlinie erreicht, die es ermöglicht, trotz kleinerer Außenmaße dieselben Federkräfte zu erreichen wie die Spannscheiben nach DIN 6796.

Diese Scheibe wird hauptsächlich dann verwendet, wenn für genormte Spannscheiben nicht genügend Einbauraum zur Verfügung steht.

Maßtabelle Sicherungsscheiben „HS“

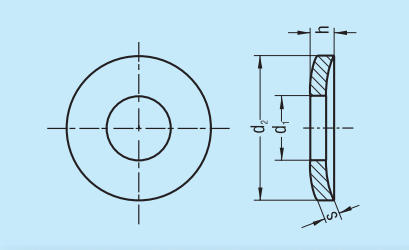


Abbildung 46
„HS“-Sicherungsscheibe

Bezeichnung einer SCHNORR Hochspannungs-Sicherungsscheibe HS der Größe 12 aus Federstahl:
Sicherungsscheibe HS 12 - FSt.

Artikel-nummer	Größe (Nennmaß) [mm]	d_1 h14 [mm]	d_2 h14 [mm]	s [mm]	h max. [mm]	h min. [mm]	Feder-kraft [mm]	Anpress-kraft [N]	Gewicht (7,85 kg/dm³) [kg/1000 Stück]	für Schrauben Metrisch [mm]	für Schrauben Whitw. [inch]
416320	6	6,4	12	1,5	1,9	1,64	8920	9400	0,943	6	(1/4")
416520	8	8,4	17	2	2,55	2,21	15100	17200	2,438	8	5/16"
423220	10	10,5	21	2,5	3,15	2,75	23200	27500	4,915	10	3/8"
426400	12	13	24	3	3,75	3,27	34800	40000	7,194	12	(1/2")
429320	14	15	28	3,5	4,35	3,8	44800	55000	11,61	14	9/16"
430900	16	17	30	4	4,95	4,31	62800	75000	14,50	16	5/8"
433750	18	19	33	4,5	5,5	4,8	72600	95000	19,36	18	
435320	20	21	36	5	5,95	5,3	92200	122000	25,33	20	(3/4")
436620	22	23	40	5,5	6,7	5,9	120000	152000	35,07	22	7/8"
439150	24	25	45	6	7,3	6,45	135000	175000	50,28	24	
440100	27	28	50	6,5	8	7	155000	230000	66,94	27	(1")
442650	30	31	58	7	8,9	7,65	180000	280000	101,00	30	1 1/8"

Art.-Nr.: Gilt für die normale Ausführung aus Federstahl, phosphatiert, geölt
h max.: Größtmaß im Anlieferungszustand
h min.: Kleinstmaß nach Setzprüfung entsprechend DIN 267 Teil 26
Federkraft: Doppelte errechnete Federkraft im flachgedrückten Zustand bei einem Federweg $h_{min} - s$
Anpresskraft: Anpresskräfte für die Setzprüfung nach DIN 267 Teil 26
Technische Lieferbedingungen: nach DIN 267 Teil 26
Lieferbare Werkstoffe: Federstahl nach DIN EN 10132-4
Lieferbare Oberfläche: Phosphatiert und geölt

Andere Werkstoffe und Oberflächenbehandlungen auf Anfrage.

Normen

DIN EN 10048	Flacherzeugnisse aus Stahl; Warmgewalztes Band, warmgewalztes Feinblech
DIN EN 10140	Kaltband
DIN 2092	Tellerfedern, Berechnung
DIN 2093	Tellerfedern, Maße, Qualitätsforderungen
DIN 7521	Schmiedestücke aus Stahl; Technische Lieferbedingungen
DIN 17221	Warmgewalzte Stähle für vergütbare Federn
DIN EN 10132-4	Kaltgewalzte Stahlbänder für Federn
DIN EN 10151	Federdraht und Federband aus nichtrostenden Stählen
DIN EN 10269	Warmfeste und hochwarmfeste Werkstoffe für Schrauben und Muttern
DIN EN 1652	Bänder und Bleche aus Kupfer und Kupfer-Knetlegierungen
DIN 50938	Brünieren von Gegenständen aus Eisenwerkstoffen
DIN EN 1654	Phosphatieren von Metallen
DIN 50960	Galvanische und chemische Überzüge
DIN EN 10258	Flachzeug aus Stahl; Kaltgewalztes Band aus nichtrostenden und aus hitzebeständigen Stählen
DIN EN 10029	Warmgewalztes Stahlblech von 3 mm Dicke an
DIN EN 10088-2	Nichtrostende Stähle

Quellenverzeichnis

[1] Dubois, Fr.: **Über die Festigkeit der Kegelschale**
Dissertation, Zürich 1917

[2] Almen, J.O.; László, A.: **The Uniform-Section Disk Spring**
Trans. ASME 58 (1936), S. 305–314

[3] Hertzer, K. H.: **Über die Dauerfestigkeit und das Setzen von Tellerfedern**
Dissertation TH Braunschweig 1959

[4] Lutz, O.: **Zur Berechnung der Tellerfeder**
Konstruktion 12 (1960) 2, S. 57–59

[5] Schremmer, G.: **Über die dynamische Festigkeit von Tellerfedern**
Dissertation TH Braunschweig 1965

[6] Bühl, P.: **Zur Spannungsberechnung von Tellerfedern**
DRAHT 22 (1971) 11, S. 760–763

[7] Schremmer, G.: **Die geschlitzte Tellerfeder**
Konstruktion 24 (1972) 6, S. 226–229

[8] Bühl, P.: **Maximale Höhen bei Tellerfedern aus Sonderwerkstoffen**
DRAHT 25 (1974) 2, S. 63–65

[9] Bühl, P.: **Mechanische Schwingungen bei Tellerfedersäulen**
DRAHT 28 (1977) 2, S. 48–53

[10] Curti, G.; Orlando, M.: **Ein neues Berechnungsverfahren für Tellerfedern**
DRAHT 30 (1979) 1, S. 17–22

[11] Bühl, P.: **Tellerfedern – gedreht oder feingeschnitten**
DRAHT 31 (1980) 5, S. 295 – 299

[12] Curti, G.; Orlando, M.; Podda, G.: **Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung von Tellerfedern**
DRAHT 31 (1980) 11, S. 789–792

[13] Niepage, P.: **Vergleich verschiedener Verfahren zur Berechnung von Tellerfedern**
DRAHT 34 (1983) 3, S. 105–108 und 5, S. 251–255

Fragebogen zur Auslegung von Tellerfedern

(Bitte kopieren und ausfüllen bzw. zutreffendes ankreuzen)

SCHNORR®
SPEZIALFABRIK FÜR TELLERFEDERN
zertifiziert ISO/TS 16949: 2002

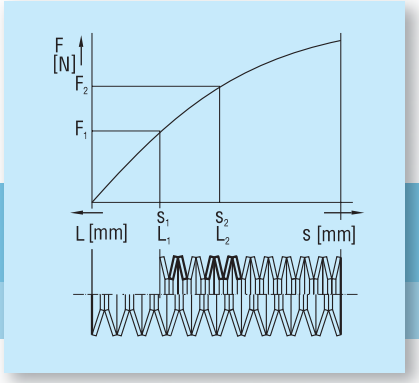
Adolf Schnorr GmbH + Co. KG
Postfach 60 01 62
D-71050 Sindelfingen
Stuttgarter Straße 37
D-71069 Sindelfingen
Telefon ++49 (0) 70 31-302-0
Fax ++49 (0) 70 31-302-138
Fax ++49 (0) 70 31-302-209
E-Mail verkauf@schnorr.de
Internet http://www.schnorr.de

1. Art der Maschine bzw. Anlage

2. Zweck der Federn

3. Einbauraum (max. Ø und Länge)

4. Kräfte und Federwege



L_1= _____ mm s_1= _____ mm F_1= _____ N

L_2= _____ mm s_2= _____ mm F_2= _____ N

L_3= _____ mm s_3= _____ mm F_3= _____ N

5. Art der Belastung ❍ statisch ❍ dynamisch

6. Belastungsverlauf ❍ stoßartig ❍ sinusförmig

7. Erwünschte Anzahl Lastwechsel

8. Betriebstemperatur (an der Feder)

9. Führung ❍ innen ❍ außen

10. Lage der Feder bzw. Säule ❍ vertikal ❍ horizontal

11. Ist ein besonderer Korrosionsschutz erforderlich?

12. Angreifendes Medium

13. Bemerkungen

Firmenname

Sachbearbeiter

Adresse

Telefon

Fax

E-Mail

Stempel & Unterschrift Datum

Bitte senden Sie Ihren Fragebogen an: **Adolf Schnorr GmbH + Co. KG**
Postfach 60 01 62 Telefax +49-(0) 70 31-302-138
D-71050 Sindelfingen oder +49-(0) 70 31-302-209