

Allgemeine Beschreibung

Trapezgewinde sind aufgrund ihrer Flankenform besonders für Bewegung geeignet. Verwendung: Umwandlung einer Drehbewegung in eine Längsbewegung. Seltener: Umwandlung einer Längsbewegung in eine Drehbewegung. Außerdem können Trapezgewinde auch als leicht lösbare Befestigung eingesetzt werden.

Gewindeform der Katalogware

Metrisches DIN-ISO Gewinde nach DIN 103, mit Flankenwinkel 15°.

Bezeichnung einer Trapezgewindespindel DIN 103

DIN-Nummer, Abkürzung für Trapezgewinde, Außendurchmesser x Steigung x Länge
Beispiel: Spindel DIN 103 Tr. 12 x 3 x 1000mm.

Herstellungsverfahren

Die Spindeln in Katalogausführung sind fast ausnahmslos gerollt. Gewinderollen ist das wirtschaftlichste Herstellungsverfahren für Serienfertigung. Gerollte Gewindespindeln weisen durch die spanlose Verformung positive Eigenschaften auf: Höhere Zugfestigkeit, höhere Verschleißfestigkeit, höhere Biegewechselfestigkeit, presspolierte Gewindeflanken, Profilgenauigkeit, unzerstörter Faserverlauf und größere Korrosionsbeständigkeit. Beim Gewinderollen entsteht am Außendurchmesser eine Rille. Diese Rille garantiert die Genauigkeit und die Zylindrizität des Gewindes. Sie hat auf die Funktion der Gewindespindel keinen Einfluss, da das Gewinde an den Flanken trägt. Das Gewinde der Muttern ist geschnitten.

Spindeln in Katalogausführung Seite 310 - 312

Eingängig rechts und links	Stahl C15		Tr. 10 x 3 bis Tr. 70 x 10	Seite 310
	Edelstahl 1.4305		Tr. 10 x 3 bis Tr. 50 x 8	Seite 311
Zweigängig rechts	Stahl C15		Tr. 12 x 6P3 bis Tr. 40 x 14P7	Seite 312
	Edelstahl 1.4305		Tr. 12 x 6P3 bis Tr. 40 x 14P7	Seite 312

Lagerlängen: 1000mm, 1500mm, 2000mm, 3000mm.
Andere Längen und Werkstoffe sowie Ausführung nach Kundenvorgabe auf Anfrage.

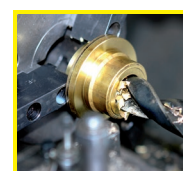
Muttern in Katalogausführung Seite 313 - 315

- **Runde Muttern und Sechskantmuttern aus Stahl C35Pb und Edelstahl 1.4305.**
Für Spannvorang, Verstellbewegung im Handbetrieb und als Befestigungsmutter. Nicht für Bewegungsantrieb geeignet.
- **Runde Muttern oder runde Flanschmuttern aus Rotguss Rg 7.**
Für Bewegungsantrieb kleiner und mittlerer Geschwindigkeit und Einschaltdauer unter 20%. Bei Schmierstoffmangel sind Notlaufeigenschaften gegeben. In Verbindung mit rostfreier Spindel ergibt sich ein Antrieb mit guter Korrosionsbeständigkeit.
- **Runde Flanschmuttern aus Grauguss GG25.**
Wie bei runder Flanschmutter aus Rotguss jedoch nur begrenzte Notlaufeigenschaften und nicht korrosionsbeständig.
- **Runde Muttern aus Kunststoff PA6.6 mit MoS2.**
Für geräuscharmen Bewegungsantrieb. Maximal zulässige Umfangsgeschwindigkeit $V_{max.} = 0,5$ m/sec. bei mäßiger Belastung. Gute Notlaufeigenschaften.

Spindel- und Mutterelemente sind nach DIN 103 gefertigt. Spielfreiheit (nachstellbar) ist nur durch geteilte oder zwei gegenüber einander anstellbare Mutterelemente möglich. Spindeln und Spindelmuttern nach Zeichnung auf Anfrage.



Lagereinheiten für Spindeln Seite 322



Fertigbearbeitung im 24-Stunden-Service möglich. Sonderanfertigungen und Zeichnungsteile auf Anfrage.

Erforderliches Antriebsdrehmoment eines Gewindetriebes

Das erforderliche Antriebsdrehmoment an der Spindel ergibt sich aus der Axiallast, der Steigung der Spindel und dem Wirkungsgrad von Gewindetrieb und Lagerung. Bei kurzen Anlaufzeiten und hohen Geschwindigkeiten ist zusätzlich das Beschleunigungsmoment, bei Gleitführungen das Losbrechmoment zu berücksichtigen.

Rechengang:

- 1) Bestimmung des Steigungswinkels α aus Tabellenbuch/DIN-Blatt oder durch Berechnung.
- 2) Bestimmung des Reibwertes μ aus Tabelle.
- 3) Errechnen des effektiven Reibungswinkels p' .
- 4) Errechnen des Wirkungsgrades η .
- 5) Errechnen des Drehmoments M_d .

Wichtig: Auf das Ergebnis sollte noch ca. 10% für Verluste durch die Lagerung aufgeschlagen werden. Zusätzliche Reibung durch eventuelle Linearführungen und eventuelle Rotationskräfte sind mit einem entsprechenden Zuschlag zu berücksichtigen. Dies kann auch bei der Berechnung der Antriebsleistung erfolgen.

Berechnung:

- 1) Steigungswinkel α errechnen aus:

$$\tan \alpha = \frac{P}{d_2 \cdot \pi}$$

- 2) Reibwert μ aus Tabelle auswählen. Siehe Tabelle Seite 295 unten.

- 3) Effektiven Reibungswinkel p' errechnen aus:

$$\tan p' \approx \mu \cdot 1,07$$

- 4) Wirkungsgrad η errechnen:

$$\eta = \frac{\tan \alpha}{\tan (\alpha + p')}$$

- 5) Drehmoment M_d in Nm errechnen:

$$M_d = \frac{F \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta}$$

Drehmoment infolge einer Axiallast

Viele Trapezgewindetriebre sind aufgrund ihres Wirkungsgrades nicht selbsthemmend, d. h. eine aufliegende Axiallast bewirkt ein Spindeldrehmoment. Der Wirkungsgrad ist in diesem Fall geringer als bei der Umwandlung der Drehbewegung in eine Längsbewegung.

Rechengang: wie bei Umwandlung von Drehbewegung in Längsbewegung, jedoch mit M_d und η' .

Wirkungsgrad η' errechnen:

$$\eta' = \frac{\tan (\alpha - p')}{\tan \alpha}$$

Drehmoment M_d in Nm errechnen:

$$M_d = \frac{F \cdot P \cdot \eta'}{2000 \cdot \pi}$$

Legende

α (alpha) ist der Steigungswinkel des Gewindes.	d_2 ist der mittlere Flankendurchmesser.
η (eta) ist der Wirkungsgrad für die Umwandlung einer Drehbewegung in eine Längsbewegung.	F ist die gesamte Axiallast in N.
η' ist der Wirkungsgrad für die Umwandlung einer Längsbewegung in eine Drehbewegung.	M_d ist das Antriebsdrehmoment am Spindelende in Nm.
μ (mü) ist der Reibwert.	M_d' ist das von der Axialkraft erzeugte Drehmoment in Nm.
π (pi) ist $\approx 3,14$.	n ist die Drehzahl in min^{-1} .
	P ist die Spindelsteigung in mm.
	p' ist der effektive Reibungswinkel.

Erforderliche Antriebsleistung eines Gewindetriebes

Die Leistung (in kW) lässt sich aus dem Antriebsdrehmoment M_d und der Spindeldrehzahl n (in min^{-1}) errechnen:

$$\text{Antriebsleistung} = \frac{M_d \times n}{9550}$$

Wichtig: Zur Berücksichtigung der Verluste durch die Lagerung und sonstiger Reibungsverluste sowie der erforderlichen Leistung für die rotatorische Beschleunigung sollte die ausgewählte Leistung des Antriebs um 60 bis 100% über dem errechneten Wert liegen.

Selbsthemmung von Trapezgewindetrieben

Die Selbsthemmung hängt ab vom Reibwert (bestimmt durch Materialpaarung Spindel/Mutter, Oberflächengüte, Schmierung) und vom Steigungswinkel. Wenn der Steigungswinkel kleiner als der Reibungswinkel ist, ist der Spindeltrieb selbsthemmend.

Unterschieden wird zwischen statischer und dynamischer Selbsthemmung. Bei statischer Selbsthemmung bleibt eine ruhende Mutter bewegungslos, solange sie nicht durch sonstige Einflüsse in Bewegung gesetzt wird.

Bei dynamischer Selbsthemmung kommt eine sich bewegende Mutter zum Stillstand, wenn sie nicht mehr angetrieben wird.

Statisch selbsthemmend sind theoretisch alle aufgeführten eingängigen Spindeltriebe, da der Steigungswinkel kleiner als der Reibungswinkel ist, mit Ausnahme der Kunststoffmutter. Dabei kann jedoch eine minimale Vibration ausreichen, um die Mutter in Bewegung zu setzen. Dynamisch selbsthemmend ist nur Größe 70 x 10, da nur hier der Steigungswinkel klein genug ist (Reibwert $0,05 = 2,86^\circ$).

Bitte Vorsicht: Die Aussagen gelten unter der Annahme, dass die Reibwerte gemäß Katalog auch tatsächlich zutreffend sind. In der Praxis sind Abweichungen durch Oberflächenzustand und Art der

Schmierung und des Schmierstoffs möglich. Zur Sicherheit ist daher eine Feststellvorrichtung (Klemmvorrichtung) vorzusehen. In Verbindung mit Kunststoffmutter sind alle aufgeführten Spindeltriebe nicht selbsthemmend.

Zweigängige Spindeltriebe sind aufgrund der großen Steigung generell nicht selbsthemmend.

Kritische Drehzahl von Trapezgewindespindeln

Bei schlanken, schnelllaufenden Spindeln besteht die Gefahr der Resonanzbiegeschwingung. Das nachfolgend beschriebene Verfahren ermöglicht die Abschätzung der Resonanzfrequenz unter der Voraussetzung hinreichend starrer Einbaus. Drehzahlen nahe der kritischen Drehzahl erhöhen zudem in erheblichem Maße die Gefahr seitlichen Ausknickens - die kritische Drehzahl geht somit in die Berechnung der kritischen Knicklänge mit ein (siehe folgendes Kapitel „Kritische Knickkraft...“).

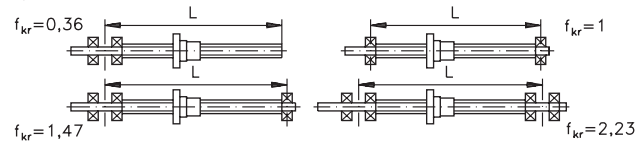
$$n_{zul.} = n_{kr} \cdot f_{kr} \cdot c_{kr}$$

$n_{zul.}$ ist die höchstzulässige Spindeldrehzahl in min^{-1} .

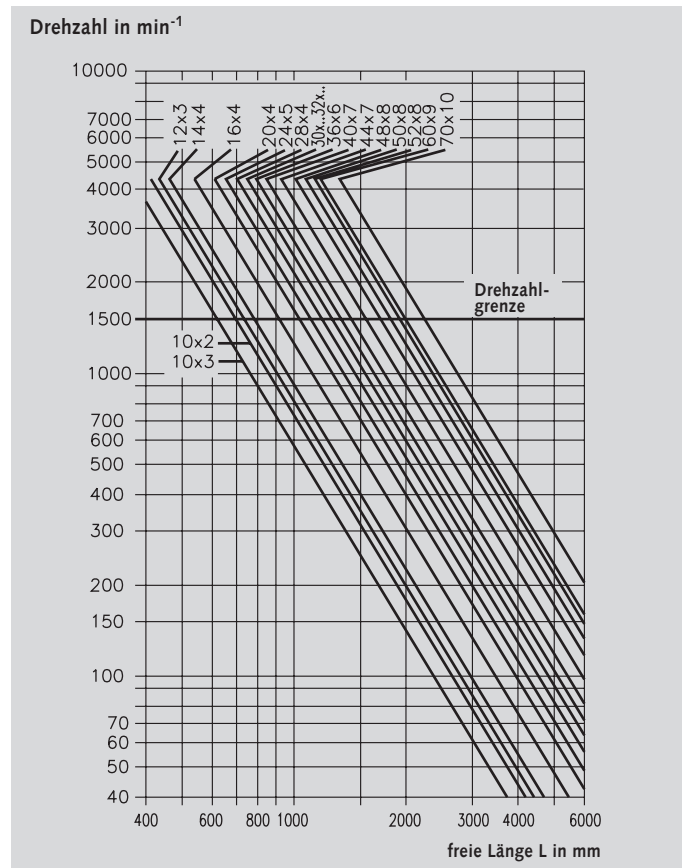
n_{kr} ist die kritische Spindeldrehzahl in min^{-1} - sie entspricht der Grundbiegeschwingung der Spindel und führt zu Resonanzerscheinungen.

f_{kr} ist ein Korrekturfaktor, der die Art der Spindellagerung berücksichtigt. Voraussetzung ist ein hinreichend starrer Einbau der Spindel und steife Lagerung.

Nachfolgende Zeichnungen zeigen 4 klassische Einbaufälle von f_{kr} für Standard-Spindellagerungen:



c_{kr} ist ein Korrekturfaktor, der den Einfluss der kritischen Knickkraft berücksichtigt. Zweckmäßigerweise wird zunächst $n_{kr} \cdot f_{kr}$ ermittelt und dann $n_{zul.}$ willkürlich gleich der tatsächlichen Drehzahl n gesetzt. Hieraus ergibt sich dann c_{kr} zu $n / (n_{kr} \cdot f_{kr})$, womit nach dem Diagramm c_k (c_{kr}) die zugehörige maximale Axial-Druckbelastung ermittelt werden kann.



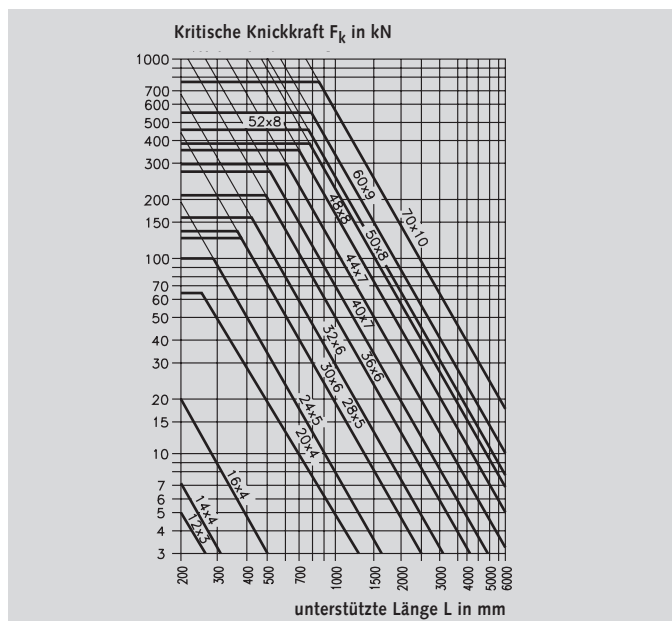
Kritische Knickkraft von Trapezgewindespindeln

Bei schlanken Spindeln unter Druckbelastung besteht die Gefahr seitlichen Ausknickens. Vor der Festlegung der zulässigen Druckkraft sind die der Anlage entsprechenden Sicherheitsfaktoren zu berücksichtigen.

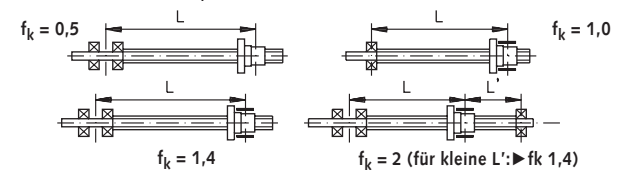
$$F_{zul.} = F_k \cdot f_k \cdot c_k$$

$F_{zul.}$ ist die höchstzulässige Axialkraft (Druckkraft) auf die Spindel in kN.

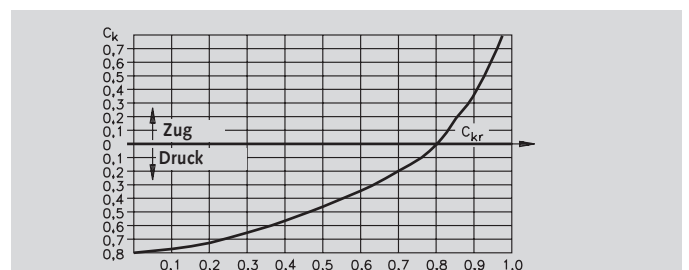
F_k ist die kritische Knickkraft in kN in Abhängigkeit der freien Länge L .



f_k ist ein Korrekturfaktor, der die Art der Spindellagerung berücksichtigt. Voraussetzung ist hinreichend starrer Einbau der Spindel und steife Lagerung. Nachfolgende Tabelle zeigt 4 klassische Einbaufälle von f_k für Standard-Spindelenden.



c_k ist ein Korrekturfaktor, der den Einfluss der kritischen Drehzahl berücksichtigt.



c_{kr} berechnet sich hierbei wie folgt:
$$c_{kr} = \frac{n}{n_{kr} \cdot f_k}$$

n ist die tatsächliche Spindeldrehzahl in min^{-1}

n_{kr} ist die kritische Spindeldrehzahl in min^{-1} nach dem Diagramm von oben.

f_k ist der Korrekturfaktor der kritischen Spindeldrehzahl, der die Art der Spindellagerung berücksichtigt. Werte von f_k siehe oben.

Berechnungsgrundlagen von Trapezgewindetrieben

Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit von Gleitpaarungen ist allgemein abhängig von deren Material, Oberflächenbeschaffenheit, Einlaufzustand, Schmierverhältnissen und Gleitgeschwindigkeit von der Temperatur und damit von der Einschaltdauer und den Möglichkeiten der Wärmeabfuhr sowie von der Art der Belastung (konstant, schwellend, wechselnd, Stöße...).

Die folgenden Diagramme ermöglichen eine Abschätzung der zulässigen Axialkraft in Abhängigkeit von der Drehzahl unserer Trapezgewindemuttern auf **gerollten** Trapezgewindespindeln bei durchschnittlichen Betriebsbedingungen.

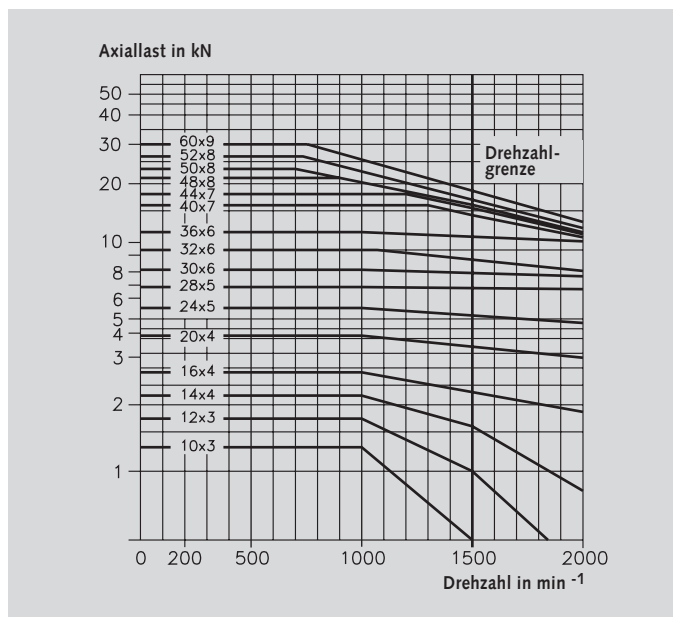
Belastungstabelle von Muttern aus Stahl C35 siehe Seite 309.

Einschaltdauer

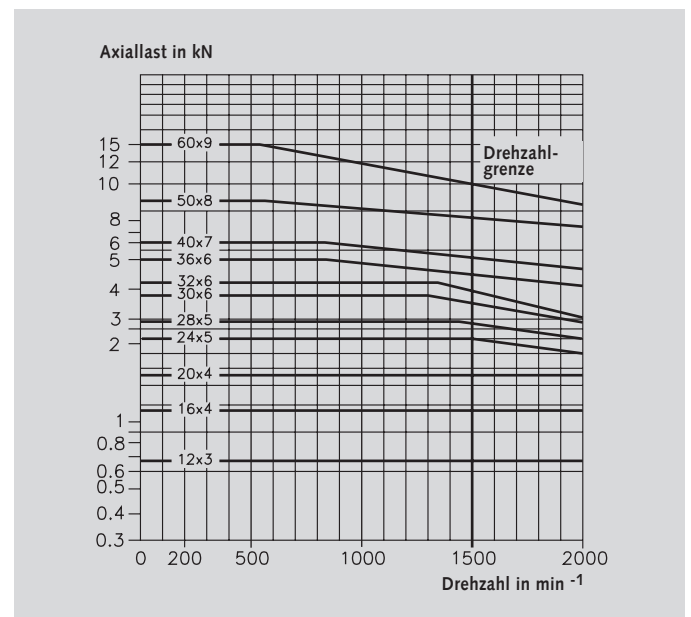
Insbesondere eingängige Trapezgewindetribe wandeln wegen ihres niedrigen Wirkungsgrades den größten Teil der eingespeisten Wellenleistung in Wärme um, die zunächst von Spindel und Mutter aufgenommen wird und dann abgeführt werden muss. Bei mäßigen Leistungen und kurzen Einschaltzeiten genügen häufig die natürliche Wärmeabstrahlung und Konvektion, im Dauerbetrieb können jedoch ganz erhebliche Kühlleistungen erforderlich werden.

Da eine thermodynamische Berechnung dieser Probleme im allgemeinen zu aufwändig bzw. unmöglich ist, sind Vergleichsrechnungen mit bereits existierenden Anwendungen der meist einzige Anhaltspunkt.

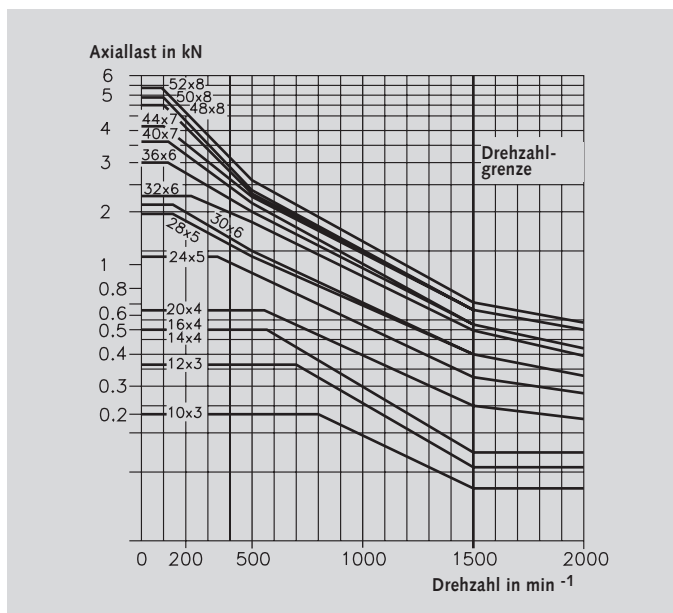
Runde Muttern aus Rotguss Rg7



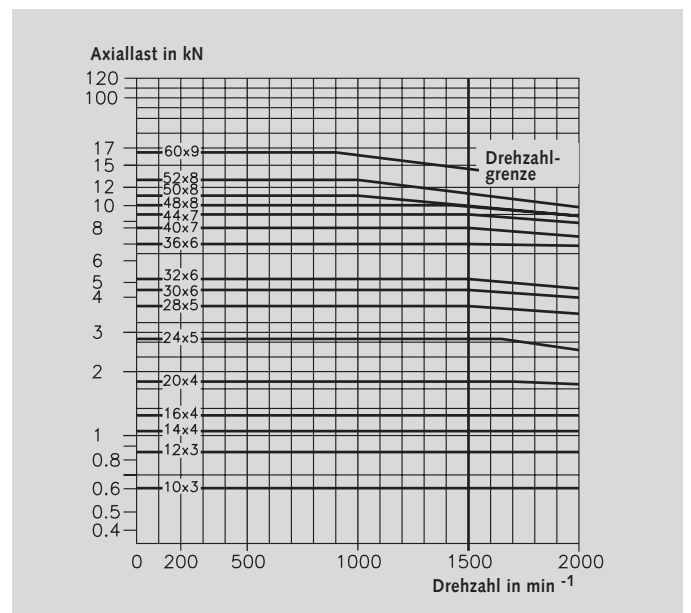
Runde Muttern aus Kunststoff



Runde Flanshmutter aus Grauguss GG25



Runde Flanshmutter aus Rotguss Rg7



Bei zweigängigen Muttern sind ca. 80% der Axialkraft in kN zulässig.

Belastungstabelle für eingängige Stahlmuttern in kN statisch (ohne Sicherheit)

Maximale statische Belastbarkeit in kN für eingängige Trapezgewindemuttern aus Stahl C35 bei einer Flächenpressung von 25 N/mm².

Die Werte beinhalten keine Sicherheit. Je nach Anwendung ist eine 1,5 bis 6-fache Sicherheit vorzusehen (die Tabellenwerte sind dann durch 1,5 bis 6 zu dividieren).

Zusätzlich ist die Spindel auf Knickung zu prüfen. Maßgebend ist dabei die freie Spindellänge und die Lagerung der Spindel, siehe Seite 307.

Bei dynamischer Belastung sollte die Flächenpressung höchstens 10 N/mm² betragen.

Bei zweigängigen Muttern sind ca. 80% der Axialkraft in kN zulässig.

Trapezgewinde Ø x Steigung	Länge bei h= 1,5 x d	Belastbarkeit bei h= 1,5 x d	Länge bei h= 2 x d	Belastbarkeit bei h= 2 x d
mm	mm	kN	mm	kN
10 x 3	15	3,6	20	4,8
12 x 3	18	5,3	24	7,0
14 x 4	21	6,9	28	9,3
16 x 4	24	9,2	32	12,3
18 x 4	27	11,8	36	15,8
20 x 4	30	14,8	40	19,8
24 x 5	36	21,2	48	28,3
28 x 5	42	29,2	56	38,9
30 x 6	45	33,4	60	44,5
32 x 6	48	35,8	64	47,8
36 x 6	54	48,9	72	65,3
40 x 7	60	60,2	80	80,3
44 x 7	66	73,1	88	97,5
48 x 8	72	87,2	96	116,3
50 x 8	75	94,9	100	126,5
52 x 8	78	102,9	104	137,3
60 x 9	90	137,3	120	183,0
70 x 10	105	211,3	-	-

PA6.6 mit MoS2, ein Spezial-Polyamid, geeignet für Muttern mit Trapezgewinde

Werkstoffeigenschaften

Dieser wartungsarme Lagerwerkstoff besitzt gegenüber anderen Kunststoffen eine wesentlich höhere Abriebfestigkeit. Die spez. Flächenpressung liegt bei 35 N/mm² bei 23°C/50% RF. PA6.6-Gewindemuttern sind gegen Schlag- und Stoßbelastungen unempfindlicher als Rg und GG-Muttern. Außerdem ist das Material geräuscharmer als Rg und GG und erhöht die Lebensdauer.

Eigenschaften	Maßeinheiten	Kunststoff PA6.6 mit MoS2
Zugfestigkeit	N/mm ²	90 (82)
Bruchdehnung	%	20 (70)
Elastizitätsmodul	N/mm ²	3600 (1500)
	Druckfestigkeit	
bei 1% Stauchung	N/mm ²	37
Kerbschlagzähigkeit	kJ/m ²	3,35 (>10)
Shore Härte D	D	80 - 90
Wärmeausdehnungs- koeffizient linear	10 ⁻⁶ /°C	63
Wärmeleitfähigkeit	W/mk	0,21
Wärmedruckfestigkeit	0,46 N/mm ² °C	204 - 254
Schmelzpunkt	°C	260
Spez. Widerstand	Ω cm	>10 ¹³ (10 ¹²)
Dielektr. Konst.	-	3,6 (5,1)
Verlustfaktor	-	0,03 (0,2)
Wasseraufnahme 24 Std.	%	0,5 - 1,3
Wasseraufnahme max.	%	6 - 8

Werte gelten für Wassergehalt unter 0,2%, Werte in () bei Normklima 23°C/50% RF. Chemisch beständig gegen alle Lösungsmittel, Schmierstoffe, Kohlenwasserstoffe, Ketone, wässr. Lösungen und Laugen pH5-pH11. Chemisch unbeständig gegen Phenole, Kresole, Ameisensäure, konz. Mineralsäuren und Alkalien, Oxydationsmittel einschließlich Halogenen.

Reibwertvergleich

Spindel / Mutter	statisch		dynamisch		Notlauf- eigenschaften
	trocken	ölgeschmiert	trocken	ölgeschmiert	
Stahl / Stahl	0,33	0,10	0,15	0,05	keine
Stahl / Grauguss	0,20	0,10	0,10	0,05	begrenzt
Stahl / Rotguss	0,20	0,10	0,10	0,05	gut
Stahl / PA6.6	0,10	0,04	0,10	0,01-0,04	sehr gut
Edelstahl/Edelstahl	0,33	0,1	0,15	0,05	keine
Stahl/Edelstahl	0,33	0,1	0,15	0,05	keine

Verschleißigenschaften

Herkömmliche Konstruktionen (Gewindespindel aus Stahl, Mutter aus GG oder Bronze) verursachen an der Gewindespindel und Mutter Verschleiß. Die Gewindemutter aus Kunststoff greift dagegen die Spindel nicht an, so dass bei einem unvorhergesehenen Verschleiß nur die Mutter erneuert werden muss. Auf das Härten der Spindel kann bei der Paarung Stahl/Kunststoff grundsätzlich verzichtet werden.

Befestigung der Kunststoffmutter

Die Kunststoffmutter kann in das Gehäuse mit 0,1 - 0,2 mm Übermaß eingepresst werden. Gegen Verdrehen und Verschieben kann sie mit den im Maschinenbau üblichen Elementen gesichert werden. Ebenso kann die Mutter durch einen an der Stirnseite angebrachten Flansch befestigt werden.

Achtung: Das Einpressübermaß überträgt sich 1 : 1 auf den Innendurchmesser und verringert dadurch entsprechend das Spiel.

Hinweis

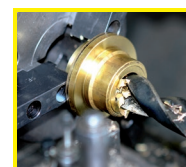
Bei relativ hohen Belastungen und extremen Einsatzfällen bitten wir um Rückfrage.

Wartung

Die Muttern brauchen nur bei der Erstmontage eingefettet zu werden, danach sind sie wartungsfrei. Um die Lebensdauer der Muttern zu verlängern, kann bei Bedarf nachgeschmiert werden. Es kann jedes, nicht molykothaltiges Fett verwendet werden.

Toleranzen

Das Flankenspiel wird bei den Muttern an der oberen Grenze der Toleranz gehalten entgegen den übrigen Trapezgewindemuttern, da sich der Kunststoff bei Erwärmung um diesen Wert ausdehnt.



**Fertigbearbeitung im
24-Stunden-Service möglich.
Sonderanfertigungen und
Zeichnungsteile auf Anfrage.**

Dimensionierung von Trapezgewindespindeln

1. Spindelgröße nach zulässiger Kraft auswählen (Fußnoten beachten).
2. Überprüfung der zulässigen Drehzahl (Diagramm Katalog 39 Seite 284).
3. Bei Druckbelastung: Überprüfung der zulässigen Knickkraft (Diagramm Katalog 39 Seite 284).
4. Bei statischer Zugbelastung: Überprüfung der zulässigen Zugkraft.

Die nachfolgenden Tabellenwerte für **F1** und **F2** gelten für Aussetzbetrieb mit max. 20 % ED pro 10 min. Bei längerem Betrieb muss die Kraft reduziert werden.

DIN	α 1) °	eta 2)	F1 _{dyn} 3) kN	T _{Nenn} 4) Nm	F2 _{dyn} 5) kN	F _{stat} 6) kN	F _{Zugstat.} 7) kN	n _{max} 8) min ⁻¹	Vs _{max} 9) m/min
Tr.12x3	5°11'	0,47	2,0	2,0	4	10	5,8	1.819	5,5
Tr.14x4	6°03'	0,51	3,0	3,8	6	15	7,3	1.592	6,4
Tr.16x4	5°11'	0,47	3,5	4,8	7	17	11	1.364	5,5
Tr.18x4	4°32'	0,44	4,0	5,8	8	20	15	1.194	4,8
Tr.20x4	4°02'	0,41	4,5	7,0	9	22	21	1.061	4,2
Tr.24x5	4°14'	0,42	6,8	3,0	14	34	29	888	4,4
Tr.30x6	4°02'	0,41	10	24	20	51	45	707	4,2
Tr.36x6	3°18'	0,36	12	33	25	62	73	579	3,5
Tr.40x7	3°29'	0,38	16	48	32	80	88	523	3,7
Tr.50x8	3°10'	0,35	23	83	46	116	146	415	3,3
Tr.60x9	2°57'	0,34	31	133	63	157	219	344	3,1
Tr.70x10	2°48'	0,33	41	199	82	204	306	294	2,9

- 1) Steigungswinkel am Flankendurchmesser.
- 2) Spindelwirkungsgrad zur Umwandlung einer Dreh- in eine Längsbewegung für Reibwert $\mu = 0,1$.
- 3) Zulässige Axialkraft auf Spindel als Bewegungsgewinde aufgrund einer zulässigen Flächenpressung von 5 N/mm² für Rg7 (gerechnet mit 8 tragenden Gängen)
- 4) Erforderliches Spindeldrehmoment bei zulässiger Axialkraft bei 5 N/mm² Flächenpressung
- 5) Zulässige Axialkraft auf Spindel als Bewegungsgewinde aufgrund einer maximal zulässigen statischen Flächenpressung von 10 N/mm² für Stahlmutter (gerechnet mit 8 tragenden Gängen).
Achtung: Stahlmutter ist nur eingeschränkt zur Bewegung verwendbar (im Handbetrieb).
- 6) Zulässige statische Axialkraft auf Spindel bei statischer Belastung aufgrund einer zulässigen Flächenpressung von 25 N/mm² (gerechnet mit 8 tragenden Gängen).
- 7) Zugkraft bei statischer Belastung, gerechnet auf den Kernquerschnitt bei $\sigma_{zul.} = 120 \text{ N/mm}^2$
- 8) Zulässige Drehzahl aufgrund der zulässigen Gleitgeschwindigkeit von 60 m/min.
- 9) Zulässige Vorschubgeschwindigkeit aus der zulässigen Drehzahl.