



Jenaer Gewindetechnik GmbH
 Göschwitzer Str. 39
 07745 Jena
 Deutschland
 Telefon ++49 (0)3641 68 98 - 0
 Telefax ++49 (0)3641 68 98 60

www.jena-tec.de

JENA
 VITEC

INHALT

AUSWAHL DES RICHTIGEN GEWINDETRIEBES	2	▶
AUSLEGUNG / EINBAU / INSTANDHALTUNG	2/3	▶
● AUSWAHL VON KUGELGEWINDETRIEBEN		
AUSWAHLRICHTLINIEN	4	▶
LAGERUNG	5	▶
KRITISCHE DREHZAHLEN	6/7	▶
AXIALLAST	8	▶
AXIALE UND TORSIONSSTEIFIGKEIT	9	▶
GESAMTSTEIFIGKEIT DES SYSTEMS / WERKSTOFFE / STATISCHE TRAGZAHLEN / ANTRIEBSMOMENT	10	▶
LEBENSDAUER / STEIGUNGSGENAUIGKEIT	11	▶
AUSLEGUNG VON GLEITGEWINDESPINDELN	12	▶
ERFORDERLICHES ANTRIEBSMOMENT / EINBAU UND WARTUNG	13	▶



AUSWAHL VON GEWINDETRIEBEN

Die Auswahl eines Kugelgewindetriebes oder einer Gleitgewindespindel richtet sich nach den folgenden Kriterien:

AXIALKRAFT: Eine Axialkraft, die auf die Spindel wirkt, setzt sich aus einer zeitlich konstanten Komponente, (z. Bsp.: wirkende Last) und einer zeitvariablen Komponente (z. Bsp.: Stoßbelastung, Beschleunigungskräfte, usw.) zusammen.

Die Axialkraft wird durch folgende Parameter begrenzt:

- Zulässige Axiallast für die Spindellagerstellen
- Geforderte Lebensdauer
- Kritische Knicklast der Spindel, die von der Drucklast abhängig ist
- Zulässige Axialkraft für die Mutter bei herkömmlichen Gewindespindeln.

Allgemeine Regel: Verstellantriebe, besonders für hohe Drehzahlen, erfordern Kugelgewindetriebe, während Gleitgewindespindeln für niedrige Drehzahlen und Spannbewegungen vorteilhaft einzusetzen sind; zusammen mit axialen Gleitlagerungen sind sie besonders für Systeme mit extrem hoher statischer Lastaufnahme geeignet, wobei jedoch nur begrenzte Stoßkräfte auftreten dürfen (z.Bsp.: Pressen, Klemmvorrichtungen, Schraubstöcke, usw.).

VERSTELLGESCHWINDIGKEIT: Sie ist das Produkt aus Spindeldrehzahl und Steigung.

Die Spindeldrehzahl wird durch folgende Kriterien begrenzt:

- Kritische Drehzahl des Kugelgewindetriebes
- Lastabhängige maximale Drehzahl bei Gleitgewindespindeln
- Effektivität und Einrichtung für die Wärmeabführung bei Bewegungszyklen unter hoher Belastung.

Allgemeine Regel: Für mittlere Verstellgeschwindigkeiten bei Bewegungszyklen unter geringer Belastung können mehrgängige Gleitgewindespindeln eingesetzt werden. Höhere Geschwindigkeiten bei Bewegungszyklen unter starker Belastung machen eingängige oder mehrgängige Kugelgewindetriebe erforderlich.

BESCHLEUNIGUNG: Sie hängt nicht nur allein von der Spindelsteigung sondern auch von dem Massenträgheitsmoment und von außen einwirkenden Belastungen des Gesamtsystems, den Leistungsdaten des Antriebsmotors und dessen Steuerungsmodul ab.

GENAUIGKEIT: Die Genauigkeit (Positionierstreuung), die mit einem Gewindetrieb erreicht werden kann, hängt vom Steigungsfehler der Spindel und weiteren Faktoren ab: Flankenspiel zwischen Spindel und Mutter; dieses Spiel kann in einem Kugelgewindetrieb, und bei Gleitgewindespindeln bis zu einem gewissen Grad, durch die Vorspannung eliminiert werden. Reibung bei den Gleitgewindespindeln, und damit *ein hoher statischer Reibungskoeffizient*, führen zu dem sogenannten "Stick-Slip-Effekt" (ruckweise Bewegung). Bei Kugelgewindetrieben ist dieser Reibungskoeffizient im betreffenden Drehzahlbereich praktisch konstant.

Allgemeine Regel: Hohe Positioniergenauigkeit erfordert in der Regel Kugelgewindetriebe.

SELBSTHEMMUNG: Gleitgewindespindeltriebe mit einem Steigungswinkel $< 2.5^\circ$ sind bereits selbsthemmend. Andere Arten von Spindeltrieben sind unter Berücksichtigung der Einsatzbedingungen auf Selbsthemmung zu untersuchen und es müssen im Einzelfall geeignete konstruktive Maßnahmen ergriffen werden (Bremsmotor bei Drehstromantrieben sowie angepasste Steuermodule bei Gleichstromantrieben).

LASTZYKLEN: Hier tritt eine Begrenzung durch den Temperaturanstieg, die wesentlich von der Art der Wärmeabführung beeinflusst wird, ein. Insbesondere groß dimensionierte Gleitgewindespindeltriebe wandeln auf Grund ihres niedrigen Wirkungsgrades circa 65% der eingeleiteten Antriebsleistung in Wärme um.

Allgemeine Regel: Für Bewegungszyklen unter mittlerer Belastung können mehrgängige Gewindespindeln eingesetzt werden, darüber hinaus sind jedoch Kugelgewindetriebe notwendig.

ALLGEMEINE BETRIEBSBEDINGUNGEN: Kugelgewindetriebe sind anfällig gegen Schmutz, Stoßbelastungen und grobe Handhabung. Gleitgewindespindeln sind demgegenüber robuster, insbesondere dann, wenn sie mit Müttern aus Metall ausgerüstet sind.

LEBENSDAUER: Die Lebensdauer von Kugelgewindetrieben kann wie die von Wälzlagern berechnet werden. Die Lebensdauer von Gleitgewindespindeln wird hauptsächlich von der Schmierung zwischen Mutter und Spindel beeinflusst, und kann somit nicht durch allgemeine Beziehungen berechnet werden.

Allgemeine Regel: Kugelgewindetriebe werden im allgemeinen vorgezogen, wenn hohe Belastungen und eine lange Lebensdauer gefordert sind; es ist jedoch durchaus möglich, eine vergleichsweise Lebensdauer mit sorgfältig dimensionierten Gleitgewindespindeln zu erzielen.

PREISE: Kugelgewindetriebe sind kostenintensiver als Gleitgewindespindeln und erfordern spezielle Maßnahmen gegen das Eindringen von Schmutz. Allerdings lassen sie sich auf Grund ihres höheren Wirkungsgrades mit kleineren, kostengünstigeren Antriebseinheiten betreiben.

AUSLEGUNG VON KUGELGEWINDETRIEBEN

VORSPANNUNG (ELIMINIERUNG DES FLANKENSPIELS): FLANKENSPIEL

Kugelgewindetriebe mit Einzelmüttern sind mit einem speziellen axialen und radialen Spiel versehen, um einen Kontaktwinkel von 45° zu erzielen. Dieses axiale Spiel zusammen mit der elastischen Verformung der Kugeln und Laufbahn bilden das bekannte "Flankenspiel". Im folgenden sollen die Faktoren betrachtet werden, die das Flankenspiel und seine Eliminierung beeinflussen:

Kugelgewindelaufbahnen:

Halbkreisformen (Abb. 1): Gewinde mit hoher Formtreue werden dann eingesetzt, wenn eine hohe Lastaufnahme gefordert ist.

Gotische Spitzbogen (Abb. 2): Diese Form hat gegenüber der Halbkreisform den Vorteil, daß der Kontaktwinkel immer erhalten bleibt, und sowohl das radiale Spiel als auch das Flankenspiel minimiert wird.

Eliminierung des Flankenspiels: Das Flankenspiel kann durch das gotische Spitzbogenprofil und sorgfältige Auswahl der Kugeln minimiert werden.

Vorspannung: Kugelgewindetriebe in CNC-Maschinen dürfen kein Flankenspiel aufweisen. Die elastische Verformung darf nur äußerst gering sein, um eine große Systemsteifigkeit sowie eine hohe Wiederholpositioniergenauigkeit zu erzielen.

Vorspannung in einer Einzelmutter: Die Vorspannung kann auf zwei Wegen erreicht werden; einerseits mit dem gotischen Gewindeprofil und der Wahl eines geeigneten Kugeldurchmessers, oder mittels Steigungsversatz eines Ganges in der Spindelmutter. Diese Methode wird oft als "innere Vorspannung" bezeichnet (siehe Abb. 3 und 4).



Vorspannung mit zwei Spindelmuttern: Die Vorspannung mit zwei Muttern wird dadurch erreicht, indem zwei Muttern gegeneinander verspannt werden, das heißt, entweder auf Druck oder auf Zug.

Vorspannung durch Druckspannung (Abb. 6): Hier werden zwei Muttern an den Flanschen mit einem eingesetzten Distanzring miteinander verschraubt. Die Stärke des Distanzringes ist ein Maß für die gewünschte Vorspannung.

Vorspannung durch Zugspannung (Abb. 5): Diese Art ist die am meisten angewendete Methode zur Erzielung der Vorspannung. Hierbei wird eine Mutter gegenüber der anderen verdreht. Die Vorspannung wird mittels einem geschliffenen und genuteten Distanzring zwischen den beiden Muttern eingestellt und fixiert.

Vorspannungsbetrachtungen: Die auf einen Kugelgewindetrieb aufgebrachte Vorspannung muß sorgfältig bestimmt werden, da hohe Vorspannungen (verleihen eine hohe Systemsteifigkeit) die Lebensdauer verkürzen und die erforderliche Antriebsleistung erhöhen. Als optimale Vorspannung wird in der Regel ein Drittel der Betriebslast angesetzt. Besondere Einsatzfälle können jedoch Abweichungen notwendig machen.

Selbsthemmung: Verursacht durch den den Kugelgewindetrieben innewohnenden hohen Wirkungsgrad kann ein Rücklauf unter bestimmten Lastbedingungen auftreten. Wenn diese Erscheinung nicht eintreten darf, müssen geeignete Maßnahmen im Antriebssystem ergriffen werden. In den Fällen jedoch, wo eine Eigendrehung durch eine Axialkraft beabsichtigt ist, muß die Gewindesteigung mindestens ein Drittel des Spindeldurchmessers betragen.

EINBAU UND WARTUNG VON KUGELGEWINDETRIEBEN

EINBAU: JENA-TEC Kugelgewindetriebe sind Präzisionsbauteile; ihr Einbau erfordert spezielle Kenntnisse und geeignete Meßmittel. Fluchtungsfehler können gewöhnlicherweise auf Grund der geringen Reibung des eingebauten Kugelgewindetriebes nicht erfüllt werden, wenn man ihn mit der Hand dreht.

SCHUTZ: Abdeckungen: JENA-TEC Kugelgewindetriebe müssen vor Verschmutzung, Spänen und korrosiver Umgebung geschützt werden. Das trifft selbst dann zu, wenn Abstreifer eingebaut sind. Zu solchen Schutzvorrichtungen zählen:
 Faltenbälge: Nur geeignet für senkrechten Einbau ohne zusätzliche Führung.
 Spiral-Teleskopabdeckungen
 Teleskoprohre oder -hülsen: Diese nehmen jedoch viel axialen Raum in Anspruch.

SCHMIERUNG:

Ölnebschmierung: Zentrale Ölschmierung ist die beste Lösung.

Ölschmierung: Das zugeführte Öl darf nicht die Menge überschreiten, die durch die Abstreifer verloren geht; andernfalls ist eine Ölumlaufschmierung zu verwenden.

Öle: Viskosität 3 bis 13°E oder 25 bis 100 cSt bei 40°C.

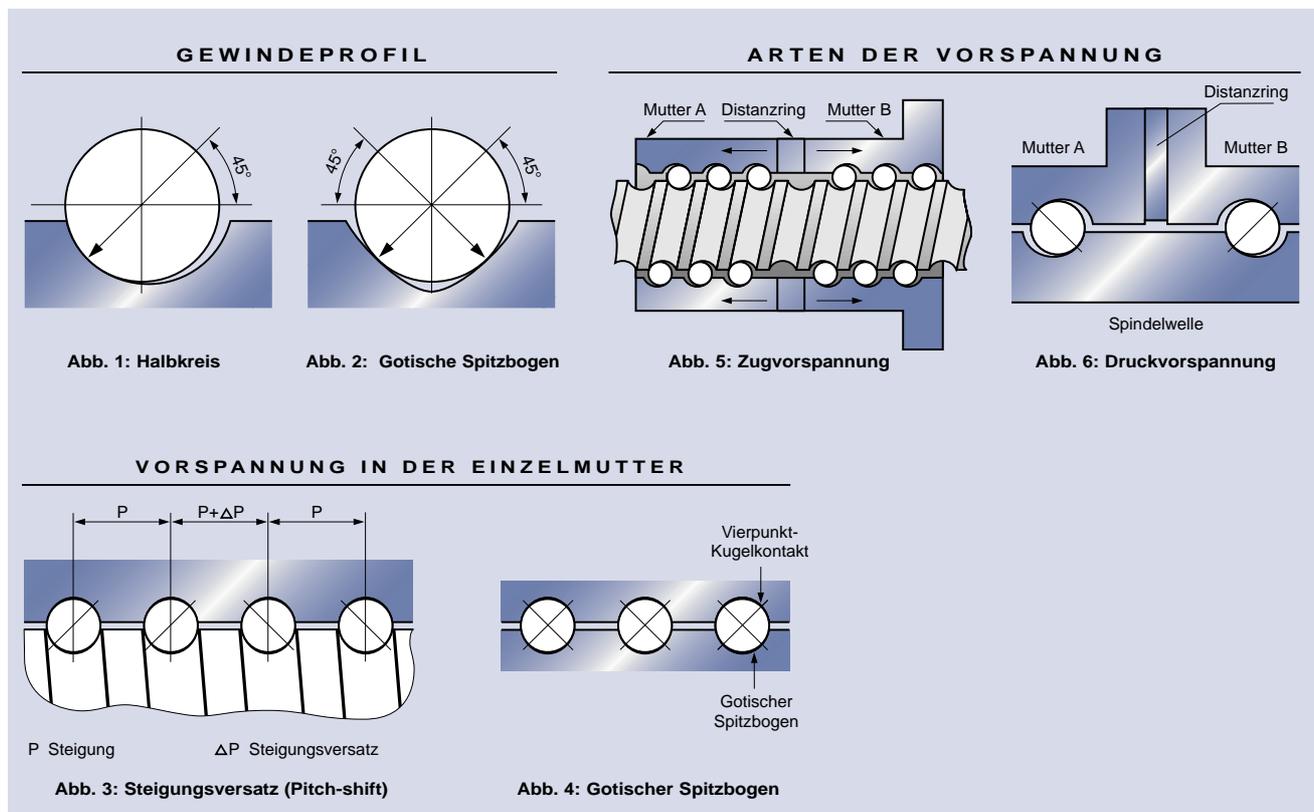
Fettschmierung: Es muß die Fettmenge ersetzt werden, die durch die Abstreifer verloren geht (unter normalen Betriebsbedingungen sind Nachschmierzyklen von 200 bis 300 Stunden ausreichend).

Hinweis: übermäßige Fettschmierung verursacht Reibung und somit eine erhöhte Temperatur. Ein leichter Fettausstritt an den Abstreifern ist ein Zeichen dafür, daß genügend Fett vorhanden ist.

BETRIEBSTEMPERATUR: Die zulässige Betriebstemperatur für die JENA-TEC Kugelgewindetriebe liegt zwischen -30 und +80°C. Eine kurzzeitige Erhöhung auf 110°C ist zulässig. Eine Voraussetzung dafür ist aber die korrekte Schmierung. **Hinweis:** Das Drehmoment kann sich bis zum Faktor 5 bei Temperaturen unter -20°C erhöhen.

BEGRENZUNG DES VERSTELLWEGES: Um Beschädigung des Kugelgewindetriebes durch Überlauf zu verhindern, wird empfohlen, Endscharter oder mechanische Anschläge im Maschinengestell anzubringen. Generell sollten keine Überlaufanschläge an der Spindel des Kugelgewindetriebes befestigt werden.

SELBSTHEMMUNG: Zur Verhinderung von Rücklauf unter Last, wenn der Kugelgewindetrieb vom Antrieb getrennt ist, müssen in das System Sicherheitseinrichtungen, z. Bsp. Bremsen oder Klemmen, eingebaut werden.



AUSWAHL VON KUGELGEWINDETRIEBEN

AUSWAHLRICHTLINIEN FÜR KUGELGEWINDETRIEBE

Die nachfolgenden Schritte (und Hinweise) sollen Sie bei der Auswahl der richtigen Kugelgewindetriebe für Ihre Anwendungen unterstützen.

1. Die Gewindespindel sollte vorrangig auf Zug belastet sein.
2. Für den Fall der Drucklast: Wähle den erforderlichen Minstdurchmesser für die Spindel zur Aufnahme der Knicklast.
3. Bestimme den Minstdurchmesser und die Mindeststeigung für die Einsatzbedingungen, um unter der kritischen Drehzahl arbeiten zu können.
4. Ermittle die gewünschte Lebensdauer unter den gegebenen Lastbedingungen. In der Mehrheit der Anwendungen ergibt sich die Lebensdauer aus:

$$0.25 \cdot 10^6 \text{ Meter Verstellweg}$$

5. Die dynamische Tragzahl beruht auf einer angenommenen Lebensdauer von 1 Million Umdrehungen unter dieser Belastung.

Die erforderliche dynamische Tragzahl =

$$\text{Tatsächliche Last} \cdot \left(\frac{\text{Erforderliche Lebensdauer}}{10^6} \right)^{1/3}$$

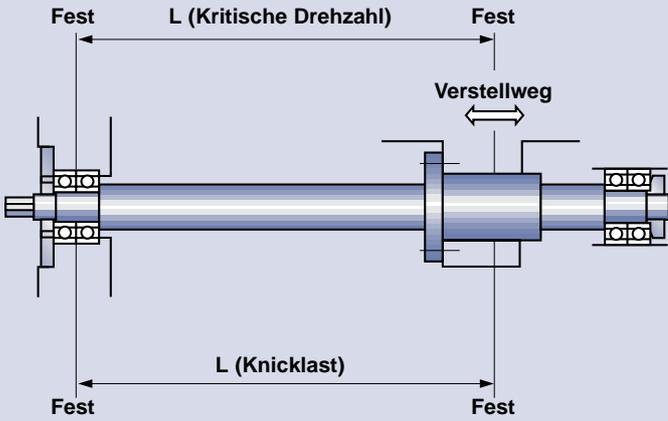
6. Mit dem größeren Durchmesser aus den Berechnungen gemäß 2 und 3 bestimme den minimalen Teilkreisdurchmesser der gesuchten Gewindespindel.
7. Prüfe den Einbau auf radiale und nicht-axiale Belastung, da diese die Lebensdauer maßgeblich beeinflusst.
8. Lege die für den Einsatzfall erforderliche Steigungsgenauigkeit fest.
9. Bestimme, ob Flankenspiel zulässig ist. Wenn die Last nur in einer Richtung wirkt oder Positioniergenauigkeit unwichtig ist, hat Flankenspiel keine Bedeutung.
10. Vorspannung der Mutter/Muttern kann erforderlich sein, um die Steifigkeit der Kugelkontaktzone zu erhöhen.
11. Kugelgewindetriebe sind aus rostfreiem Stahl lieferbar. Das kann aber zu einer beträchtlichen Einschränkung der Tragzahl führen.
12. Kugelgewindetriebe müssen vor Verschmutzung geschützt werden, eine vollständige Abdichtung ist erforderlich. Wenn dies unpraktisch ist, besteht die Möglichkeit, Abstreifer an beiden Enden anzubringen. Bedingt durch die verlängerte Mutter kann diese Massnahme jedoch den Wirkungsgrad beeinträchtigen.
13. Kugelgewindetriebe sind sehr leichtgängig und nicht selbsthemmend; deshalb ist eine Hemmvorrichtung, Bremse oder Schnecke zur Beibehaltung einer ständig wirkenden Belastung erforderlich.
14. Das Spindelgewinde muß immer ausreichend mit einem Qualitätsöl oder -fett versorgt sein.

LAGERSTELLEN

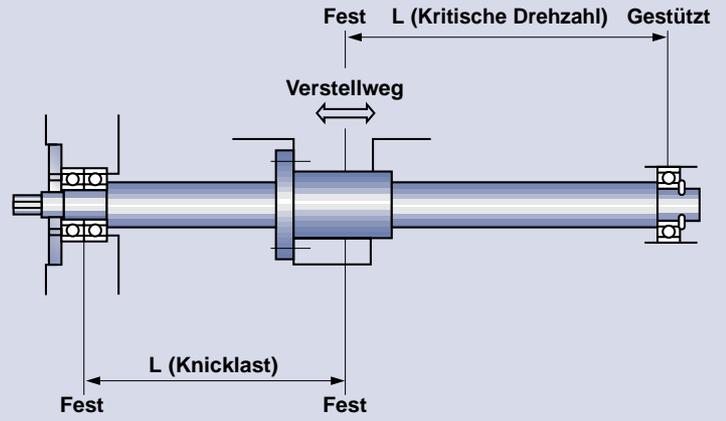
Die kritische Drehzahl und die Knicklast hängen von der Einbauart und ungestützten Länge der Spindelwelle ab. Auf der gegenüber liegenden Seite sind die am meisten angewandten Einbauarten dargestellt. Die Knicklast kann aus Abb. 9 und die kritische Drehzahl aus Abb. 8 bestimmt werden, indem die Skalen gemäß der Einbauart gelesen werden.



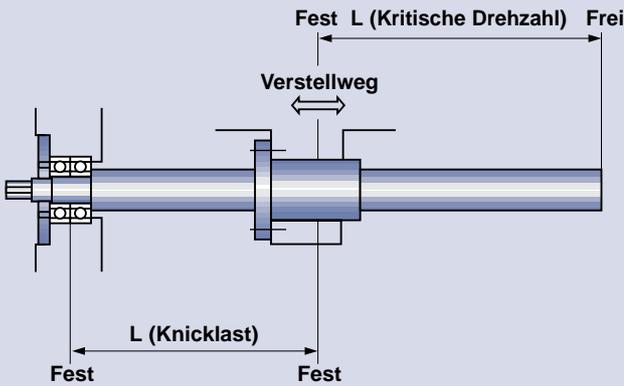
Knicklast: Fest - Fest
Kritische Drehzahl: Fest - Fest
Skala C
Skala G



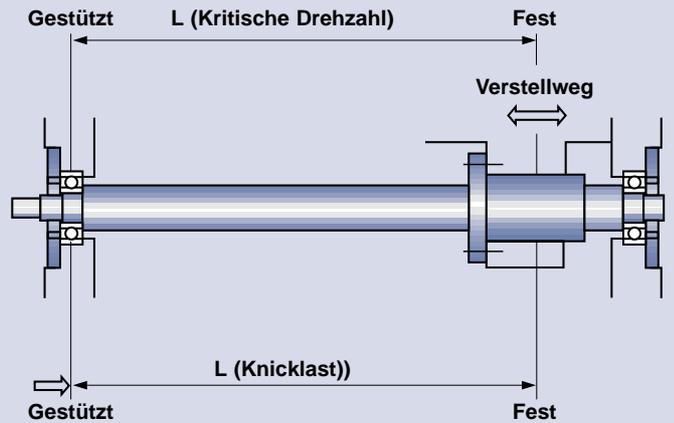
Knicklast: Fest - Fest
Kritische Drehzahl: Fest - Gestützt
Skala C
Skala F



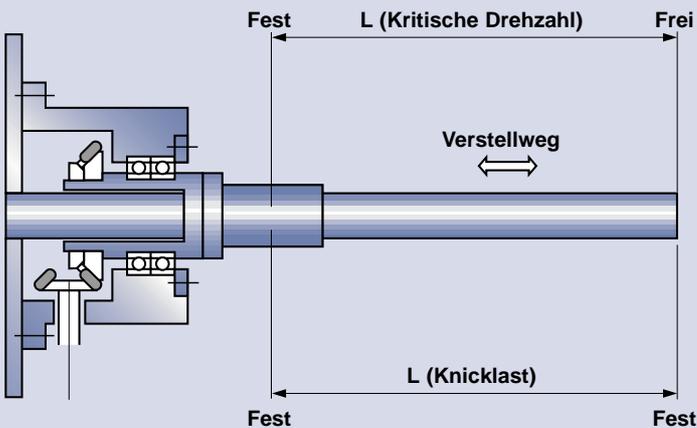
Knicklast: Fest - Fest
Kritische Drehzahl: Fest - Frei
Skala C
Skala H



Knicklast: Fest - Gestützt
Kritische Drehzahl: Fest - Gestützt
Skala B
Skala F



Knicklast: Fest - Frei
Kritische Drehzahl: Fest - Frei
Skala D
Skala H



Knicklast: Gestützt - Gestützt
Kritische Drehzahl: Fest - Frei
Skala A
Skala H

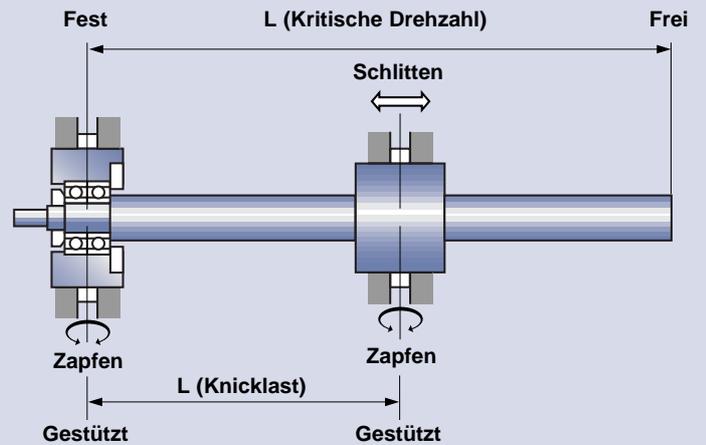


Abb. 7

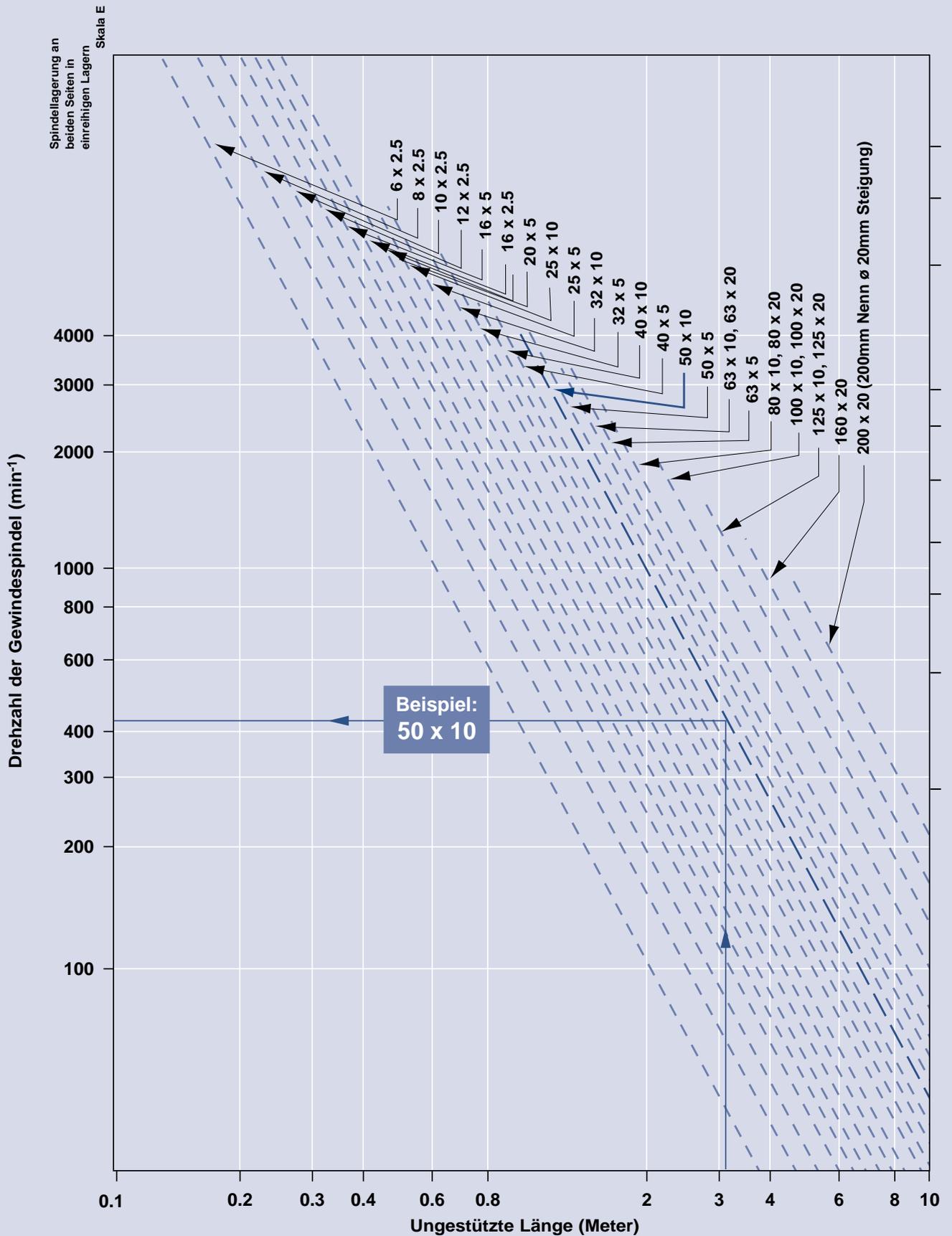
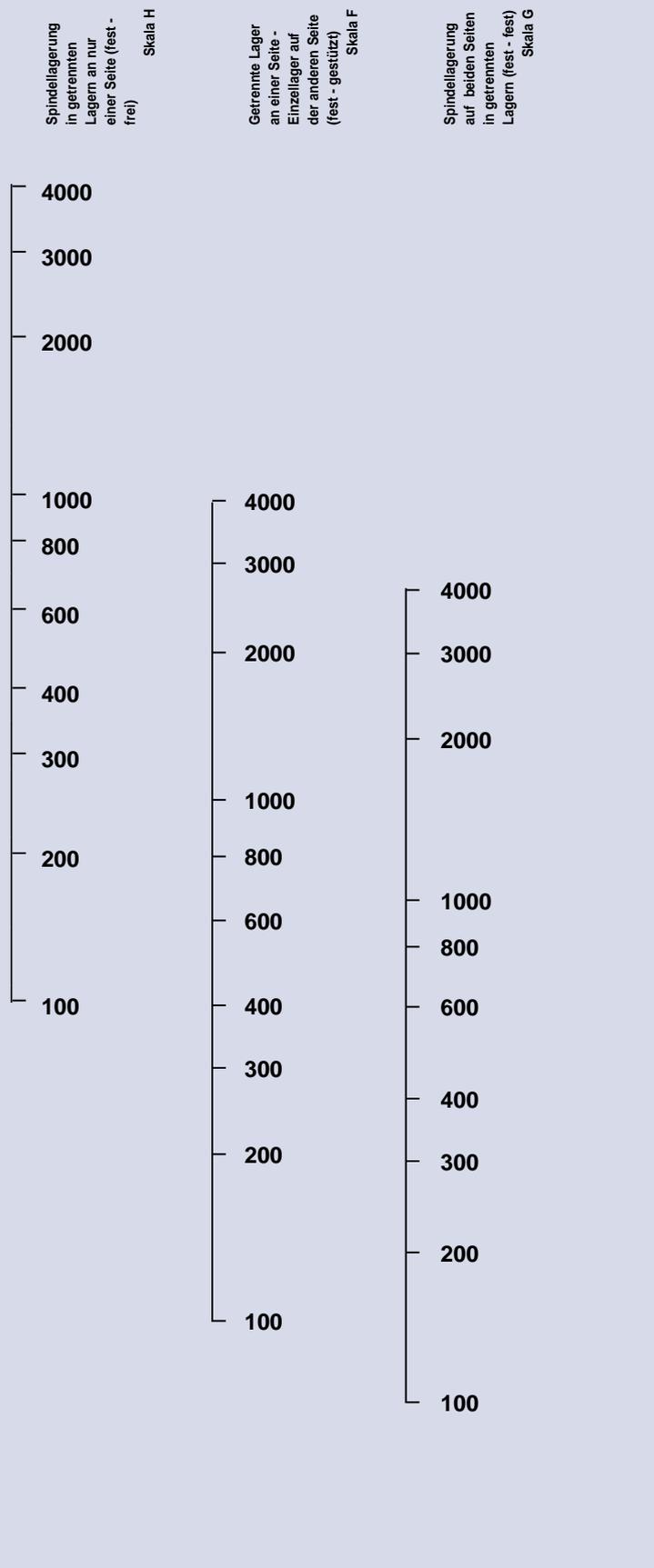


Abb. 8



KRITISCHE DREHZAHLEN

Wird die Drehzahl einer rotierenden Welle erhöht, treten bei bestimmten Drehzahlen Schwingungen auf. Bleibt dann die Drehzahl konstant, schaukeln sich die Schwingungen bis zur Zerstörung auf.

Wird jedoch die Drehzahl weiter erhöht, läuft die Welle wieder ruhig.

Ähnliche Erscheinungen treten auf, wenn sich eine Mutter auf einer festen Welle dreht. Die Drehzahlen, bei denen Resonanzschwingung eintritt, sind als kritische Drehzahlen bekannt.

Kritische Drehzahlen hängen vom Durchmesser, von der ungestützten Länge der Gewindespindel sowie von der Art und Weise der Anordnung der Lagerstellen ab (siehe Abb. 7).

Das auf die Gewindespindel wirkende Drehmoment trägt ebenfalls zur Verringerung der kritischen Drehzahlen bei.

Normalerweise arbeiten Kugelgewindetriebe unterhalb der ersten kritischen Drehzahl und ein Sicherheitsfaktor von 20% unter dieser Drehzahl ist durchaus ausreichend zur Vermeidung von Schwingungsproblemen.

Drehzahlen von Kugelgewindetriebe werden außerdem von der resultierenden Geschwindigkeit der Kugeln in der Mutter begrenzt.

Diese Geschwindigkeit wird der Einfachheit halber durch den Wert $D_{wn} = 120000$ (Teilkreisdurchmesser der Kugeln x Drehgeschwindigkeit) definiert.

Abb. 9 zeigt die maximale Sicherheitsdrehzahl der einzelnen Abmessungen der JENA-TEC Kugelgewindetriebe in Relation zur ungestützten Länge und Lagerstellen. Der waagerechte Teil der Kurven gibt auf der linken Skala die maximale Drehzahl des Kugelgewindetriebes an, bei der der Richtwert von D_{wn} nicht überschritten wird.



AXIALLAST

Wenn eine Kugelgewindespindel mit einer axialen Drucklast beaufschlagt wird, muß sie Knickung widerstehen.

Abb. 8 zeigt die Werte der maximalen Belastung für eine Kugelgewindespindel, bei denen Sicherheit für unterschiedliche ungestützte Längen und verschiedene Lagerungen gewährleistet ist. Der obere waagerechte Anteil jeder Kurve gibt die maximale Drucklast an, die die Kugelgewindespindel unter Betriebsbedingungen aufnimmt.

Dieser Wert stellt gleichzeitig die maximale Zugbelastung unter Betriebsbedingungen dar. Für alle von den optimalen Bedingungen abweichenden Fälle ist ein entsprechender Sicherheitsfaktor zu berücksichtigen.

Hinweis: Der maximale Grenzwert der statischen Belastung, über den hinaus Einkerbungen in den Kugellaufbahnen der Gewindespindel und der Mutter eintreten, darf nicht überschritten werden. Dieser Wert ist in den technischen Spezifikationsblättern zu den Kugelgewindetrieben angegeben.

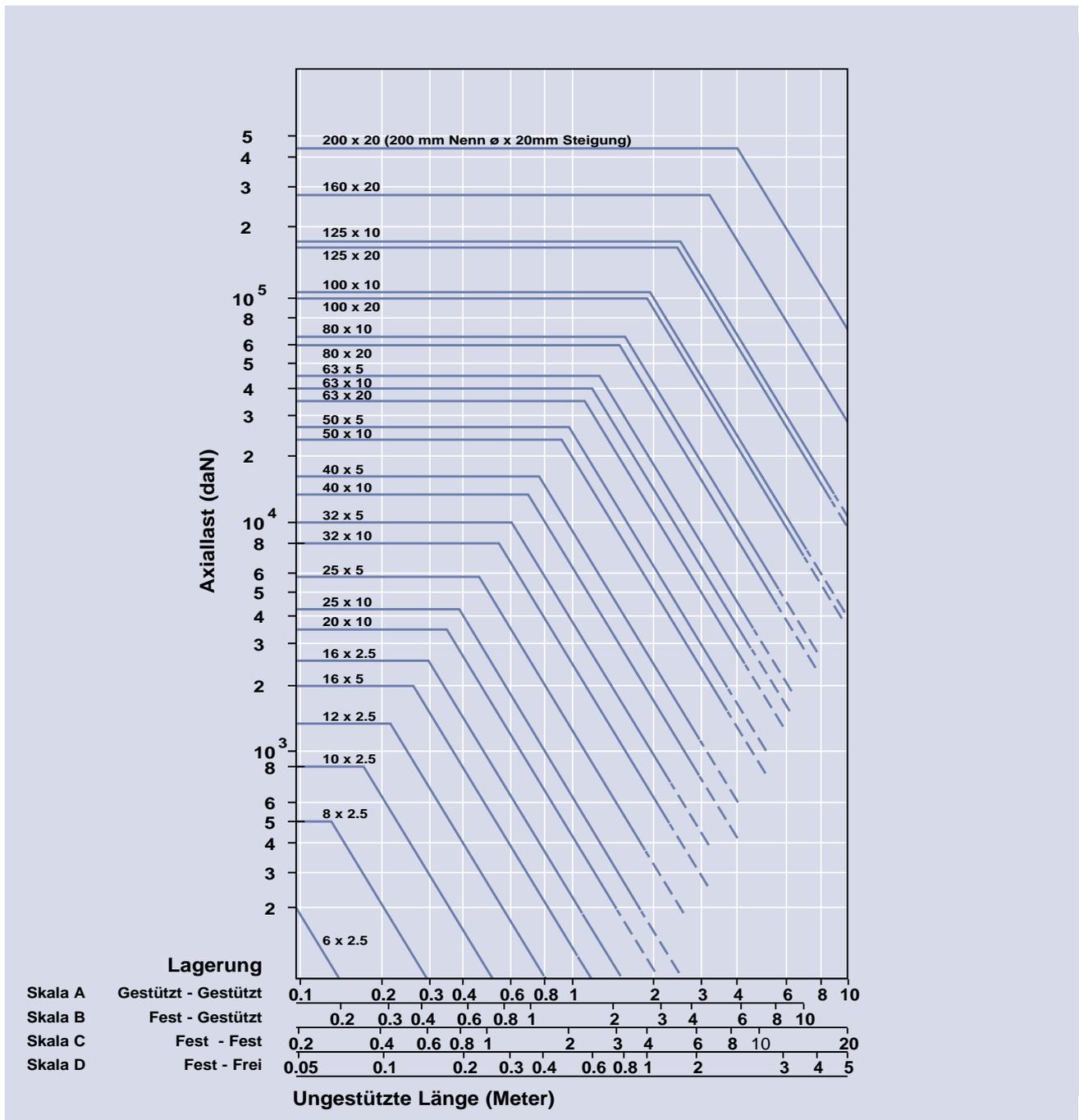


Abb. 9

AXIALE STEIFIGKEIT VON GEWINDESPINDELN

Die Steifigkeit von Gewindespindeln hängt von ihrer Lagerung ab, zum Beispiel, eine Seite fest und die andere Seite entweder frei oder nur einfach gestützt (siehe Abb. 10)

$$R_s = \frac{A \cdot E}{1000 \cdot a} = \frac{210 \cdot A}{a} \quad \text{wenn } E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$$

Wenn beide Seiten fest sind (siehe Abb. 10)

$$R_s = \frac{A \cdot E \cdot L}{1000 \cdot a \cdot (L-a)} = \frac{210 \cdot A \cdot L}{a \cdot (L-a)} \quad \text{wenn } E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$$

Unter den Bedingungen nach Abb. 10 ist die minimale Steifigkeit dann vorhanden, wenn die Mutter sich in der Mittenposition der Gewindespindel zwischen den Lagerstellen befindet. An diesem Punkt ist:

$$R_s = \frac{4 \cdot A \cdot E}{1000 \cdot L} = \frac{840 \cdot A}{L} \quad \text{wenn } E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$$

Darin sind:

- R_s = Steifigkeit der Gewindespindel (N/ μm)
- $A = \pi/4 \times (\text{mittlerer Spindeldurchmesser})^2$ (mm^2)
- L = ungestützte Länge der Gewindespindel (mm)
- E = Elastizitätsmodul (N/mm^2)
- a, L = Längen (mm)

TORSIONSSTEIFIGKEIT VON GEWINDESPINDELN

Das wirkende Drehmoment will die Gewindespindel an einer Seite verdrehen. Bei einer langen Gewindespindel mit kleinerem Durchmesser führt diese Verdrehung zu Positionierfehlern. Die Winkelabweichung bei einem bestimmten Drehmoment kann durch die folgenden Formeln berechnet werden:

$$\alpha = \frac{584 \cdot T \cdot L}{(d_2^4) \cdot G}$$

wenn $G = 80000 \text{ N/mm}^2$ beträgt, dann wird

$$\alpha = \frac{0.0073 \cdot T \cdot L}{(d_2^4)}$$

Darin sind:

- α = Winkelabweichung ($^\circ$)
- T = wirkendes Drehmoment (Nmm)
- L = Länge der Gewindespindel, auf die das Drehmoment wirkt (mm)
- d_2 = Kerndurchmesser der Gewindespindel (mm)
- G = Elastizitätsmodul bei Verdrehbeanspruchung (N/mm^2)

In NC-Maschinen muß die Verdrehung, falls sie doch beträchtlich ist, berücksichtigt werden, da sie sich als axialer Positionierfehler auswirkt, dessen Wert durch die folgende Beziehung bestimmt ist:

$$\delta = \pm \frac{\alpha \cdot P}{360^\circ}$$

Darin sind:

- δ = scheinbare axiale Verschiebung (mm)
- P = Steigung (mm)

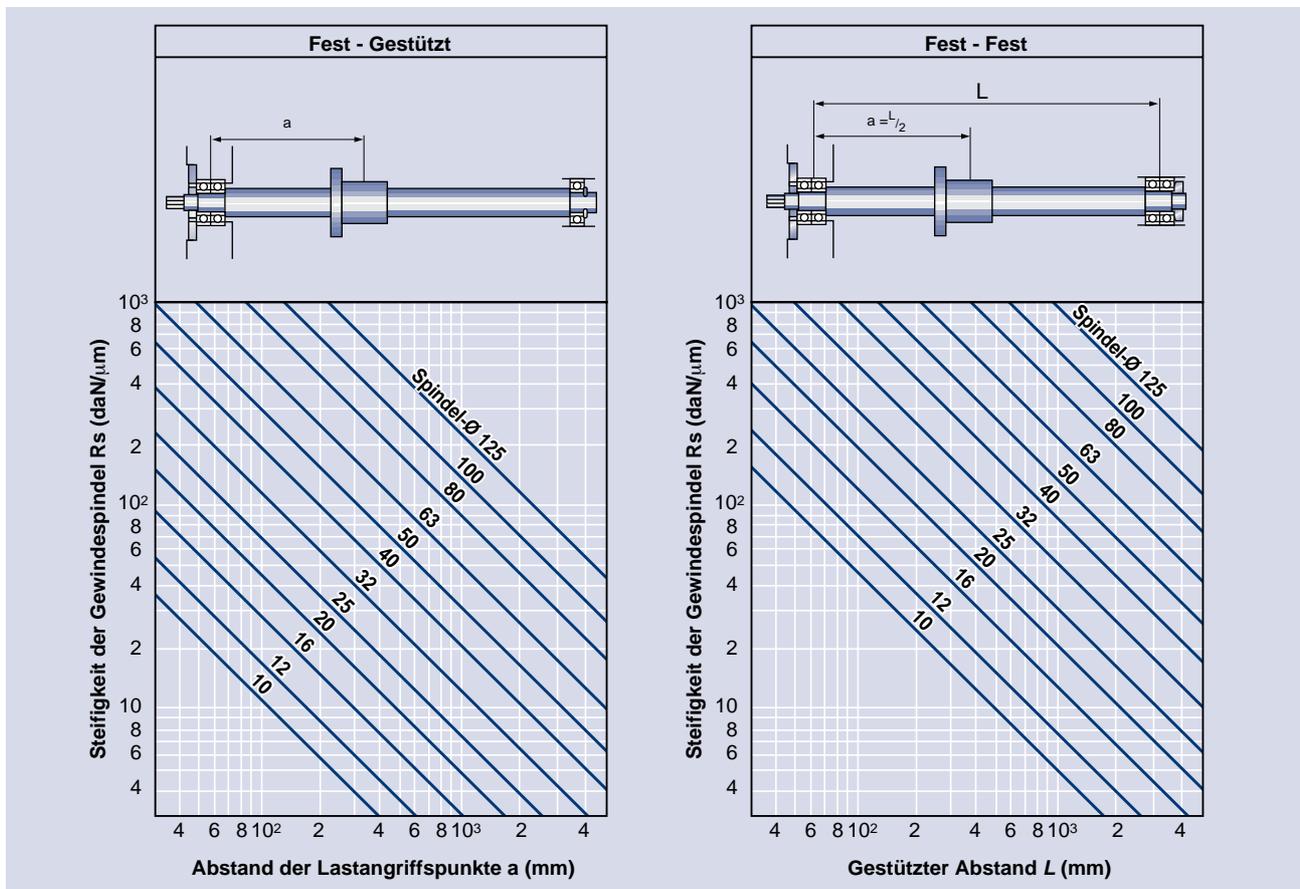


Abb. 10

MUTTERNSTEIFIGKEIT

Die notwendigen Berechnungen zur Bestimmung der Steifigkeit der Kugelkontaktzone sind sehr umfassend. Die folgende Näherung liefert jedoch einen ausreichend genauen Wert für die meisten Anwendungen.

Bei Doppelmuttern beträgt die Vorspannung ein Zehntel der dynamischen Tragzahl; die Steifigkeit wird mit der folgenden Formel näherungsweise bestimmt:

$$R_Z \approx 10 \cdot d_0 \cdot i$$

Darin sind:

R_Z = Steifigkeit der Kugelkontaktzone (N/μm)

d_0 = Nenndurchmesser der Gewindespindel (mm)

i = Anzahl der Kugelumläufe in einer Mutter

Für eine Einzelmutter kann die Steifigkeit annähernd bestimmt werden mit:

$$R_Z \approx 5 \cdot d_0 \cdot i$$

GESAMTSTEIFIGKEIT DES SYSTEMS

Die Gesamtsteifigkeit des Systems berechnet sich nach der folgenden Formel:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_h}$$

Darin sind:

R = Gesamtsteifigkeit (N/μm)

R_s = Steifigkeit der Gewindespindel (N/μm)

R_n = Steifigkeit der Mutter (N/μm), normal $\approx 0,8 \cdot R_Z$

R_b = Steifigkeit der Lagerung (N/μm)

R_h = Steifigkeit des Muttereinbaus und der Lagergehäuse (N/μm)

Exakte Berechnung nach DIN 69051 (Teil 6)

WERKSTOFFE

JENA-TEC verwendet nur erstklassige Stähle, die für unsere Hochleistungsprodukte speziell behandelt worden sind.

Gewindespindeln: Induktionsgehärteter Vergütungsstahl Cf 53; Gewingänge gehärtet auf 62 ± 2 HRC. Spindelkern und -enden sind nicht gehärtet.

Muttern: Einsatzstahl 16MnCr5 oder Wälzlagerstahl 100Cr6

Hinweis: Spezialwerkstoffe und rostfreie Stähle können nach Wunsch geliefert werden. Bitte lassen Sie sich zu Ihren Forderungen von den JENA-TEC Ingenieuren beraten.

STATISCHE TRAGZAHL

Statische Tragzahl C_0 : Sie ist die vermittelte Axiallast, bei der die dauernde kombinierte Verformung von Kugeln und Gewinde an dem am höchsten belasteten Punkt auf dem Kugelgewindetrieb 1/10 000 des Kugeldurchmessers beträgt.

Hinweis: Die zahlenmäßige Größe der maximalen statischen Last, über die hinaus Eindrücke auf dem Gewinde entstehen, ist in den Spezifikationsblättern der Kugelgewindetriebe angegeben.

ERFORDERLICHES ANTRIEBSMOMENT

Das Drehmoment, das auf einen Kugelgewindetrieb aufgebracht werden muß, um eine Axialkraft zu erzeugen, wird durch die nachstehende Formel bestimmt:

$$T = \frac{F \cdot Ph_0}{2 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot \eta}$$

$$\text{mit } = \frac{F \cdot Ph_0}{5655} \text{ wenn } \eta = 0,9 \text{ ist}$$

Dabei sind:

T = Drehmoment (Nm)

F = Axiale Drucklast (N)

Ph_0 = Steigung (mm)

η = Wirkungsgrad des Kugelgewindetriebes

Zu diesem Drehmoment ist das Reibmoment der Vorspannung, der Abstreifer und des Trägheitsmomentes der Gewindespindel selbst zu addieren.

Das Reibmoment der Vorspannung kann mit der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$\text{Max. } T_p = \frac{0,004 \cdot d_0 \cdot F_p}{1000}$$

Darin sind:

T_p = Dynamisches Reibmoment der Vorspannung (Nm)

F_p = Vorspannung (N)

d_0 = Nenndurchmesser (mm)

Das Reibmoment der Vorspannung sinkt in dem Maße wie eine äußere Belastung wirkt; es kann vernachlässigt werden, wenn die wirkende Belastung das dreifache der Vorspannung beträgt.

Das erforderliche Drehmoment zur Überwindung der Trägheit der Gewindespindel unter der Bedingung einer konstanten Beschleunigung, wird nach der folgenden Formel ermittelt:

$$T_1 = \frac{0,08 \cdot 10^{-12} \cdot d^4 \cdot L \cdot n}{t}$$

Darin sind:

T_1 = Drehmoment zur Überwindung der Trägheit (Nm)

d = Mittlerer Durchmesser der Gewindespindel (mm)

(Außendurchmesser der Gewindespindel + Kerndurchmesser) $\cdot 0,5$

L = Länge des Kugelgewindetriebes (mm)

n = Maximale Drehzahl (min⁻¹)

t = Zeit für Anlauf oder Stopp (s)

Hinweis: Wenn eine Masse bewegt wird, muß man die Beschleunigung und Abbremsung unbedingt in die Berechnung der Axiallast auf den Kugelgewindetrieb einbeziehen.



DYNAMISCHE TRAGZAHL / LEBENSDAUER

Die Wahl von zweckentsprechend behandelten Qualitätsstählen und Sorgfalt im Detail sichern eine lange Lebensdauer und einen störungsfreien Betrieb der JENA-TEC Kugelgewindetriebe. Es ist deshalb unabdingbar, daß zur Erzielung einer maximalen Lebensdauer die Vorschriften für Auslegung, Einsatz, Einbau und Wartung genau eingehalten werden.

Unter der Voraussetzung, daß die vorgenannten Kriterien beachtet werden, sind die nachstehenden Berechnungen anzuwenden:

Die erwartete Lebensdauer eines Kugelgewindetriebes kann wie folgt berechnet werden:

$$L = \left(\frac{Ca}{Fm}\right)^3 \cdot 10^6$$

Darin sind:

L = Die erwartete Lebensdauer in Umdrehungen, erzielt oder überschritten mit 90% einer vergleichsweise großen Anzahl gleicher Kugelgewindetriebe vor Eintritt erster Anzeichen von Ermüdung.

Ca = Dynamische Tragzahl (N); Last kann in zwei Richtungen auf einen Kugelgewindetrieb wirken. Fm muß für beide Lastrichtungen bestimmt werden. Der größere Wert ist dann für die Berechnung von L einzusetzen. Weiterhin wird empfohlen, ein schematisches Diagramm nach Abb. 11 zu erstellen. Dabei ist zu beachten, daß jede Vorspannung eine Dauerbeanspruchung darstellt.

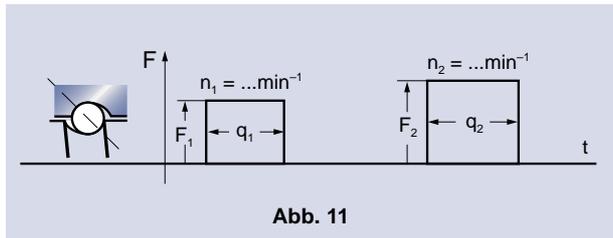


Abb. 11

Nach Abb. 11 sind

n_m = Mittlere Drehzahl

$$n_m = \frac{n_1 \cdot q_1 + n_2 \cdot q_2 + n_n \cdot q_n}{100}$$

$$F_m = \left(\frac{F_1^3 \cdot n_1 \cdot q_1}{n_m \cdot 100} + \frac{F_2^3 \cdot n_2 \cdot q_2}{n_m \cdot 100} + \dots \right)^{1/3} \cdot f_a$$

Darin sind:

q_1, q_2 = Koeffizienten der zeitlichen Dauer einer Belastung in einer Richtung in %
($q_1 + q_2 + q_n = 100\%$)

n_1, n_2 = Drehzahl während $q_1; q_2$ (min^{-1})

F_1, F_2 = Axiallast in N in einer Lastrichtung während q_1, q_2

f_a = Maschinenbezogener Faktor

$f_a = 1$ - Geringe Beschleunigung und keine Schwingungen

$f_a = 1.5$ - Höhere Beschleunigung, mit Schwingungen und mittlerer Stoßbelastung

Bei größeren Stoßbelastungen als $0.5 \cdot Ca$ nehmen Sie bitte den JENA-TEC Beratungsservice in Anspruch.

Kugelgewindetriebe mit vorgespannter Mutter:

Wenn vorgespannte Muttern eingesetzt werden, wird mit den vorgenannten Berechnungen die Lebensdauer jeder einzelnen Mutter für beide Lastrichtungen ermittelt. Die Gesamtlebensdauer ergibt sich dann aus folgender Berechnung:

$$L = (Fm_1^{10/3} + Fm_2^{10/3})^{-0.9} \cdot Ca^3 \cdot 10^6$$

Darin sind:

L = Gesamte Lebensdauer (siehe oben)

Fm_1 oder Fm_2 = Belastung in Mutter 1 oder 2 in der betreffenden Lastrichtung.

Ca = Dynamische Tragzahl

Wichtiger Hinweis: Die oben angeführten Berechnungen sind nur bei korrekter Schmierung anwendbar. Schmutz oder mangelnde Schmierung führt zur einer verkürzten Lebensdauer bis zu einem Bruchteil des berechneten Wertes. Eine Verkürzung der Lebensdauer tritt ebenfalls bei sehr kurzen Verstellhüben ein.

Muttern von Kugelgewindetrieben können keinerlei Radialkräfte und Kippmomente aufnehmen.

STEIGUNGSGENAUIGKEIT

JENA-TEC Präzisions-Kugelgewindetriebe werden nach einem international gebräuchlichen System von Toleranzklassen (siehe unten) oder nach Kundenforderung hergestellt.

Zulässige Abweichungen / Toleranzklassen (IT)						
	1	3	4	5	7	10
Steigungsfehler						
pro 300 mm	0.006	0.012	0.016	0.023	0.052	0.210
pro Fuß (Zoll)	0.0002	0.0005	0.0006	0.0009	0.002	0.008
Gesamtabweichung Verfahrweg						
Länge ≤ 1000	0.011	0.021	0.029	0.040	0.090	-
1000 ≤ 2000	0.018	0.035	0.048	0.065	0.150	-
2000 ≤ 3000	0.026	0.050	0.069	0.093	0.210	-

Hinweis:

Klasse 1 wird nur auf besondere Anforderung angeboten. Klassen 3 - 5 werden normalerweise in Werkzeugmaschinen verwendet.

Transportspindeln sind generell nicht vorgespannt.

Abweichende Steigungen: Nennsteigungen können auf besondere Anforderung hin modifiziert werden. Eine Minus-Kompensation, zum Beispiel, berücksichtigt Temperatur oder Streckung in einer Gewindespindel.

Lieferbar sind:

Geschliffene Gewindespindeln:

Klasse 1 - Klasse 7

Gerollte Gewindespindeln:

Klasse 5 - Klasse 10

Gefräste oder gewirbelte Gewindespindeln: Klasse 7 - Klasse 10



CHARAKTERISTIK DER JENA-TEC PRÄZISIONSGEWINDESPINDELN

GENAUIGKEIT, QUALITÄT UND ZUVERLÄSSIGKEIT:
 JENA-TEC wird auch weiterhin solche Kunden beliefern, die vorrangig Gleitgewindespindeln einsetzen. Die JTPL- und JTRL-Reihen der Gleitgewindespindeln werden mit der gleichen Genauigkeit, Erfahrung und nach denselben Standards wie die Kugelgewindetriebe hergestellt.

LIEFERSORTIMENT: Verschiedene Reihen von ein- oder mehrgängigen Präzisionsgleitgewindespindeln mit Normsteigungen; sowohl in metrischer als auch Zollausführung, mit Muttern aus unterschiedlichen Werkstoffen gemäß Kundenforderung sind entweder direkt ab Lager oder kurzfristig von unseren anderen Produktionsstätten lieferbar.

GLEITGEWINDESPINDEL - OPTIONEN:

- Eingängige Gewinde
- Muttern aus Stahl, Grauguß und Bronze
- Mehrgängige Gewinde
- Muttern aus Lagerbronze und Kunststoff für geräuscharmen Betrieb bei hohen Drehzahlen
- Trapez- und ACME-Trapezgewinde
- Sondergewindeformen auf Anfrage

Hinweis: Trapezgewindespindel mit einem Steigungswinkel kleiner als 2.5° sind selbsthemmend.

BESCHREIBUNG DER JENA-TEC REIHEN AN GLEITGEWINDESPINDELN:

JTPL-Reihe: Reihe geschliffener und gewirbelter Präzisionsgleitgewindespindeln und Muttern mit einer großen Vielfalt an Gewindeformen nach Kundenforderung.

JTRL-Reihe: Reihe gerollter, ein- und mehrgängiger Präzisionstrapezgewindespindeln mit Muttern aus unterschiedlichen Werkstoffen.

Beispiele aus der Vielfalt an Gewindeformen, die sowohl in metrischer als auch Zollausführung sowie in gerollter, gefräster, gewirbelter und geschliffener Form lieferbar sind.

ENDENBEARBEITUNG UND MUTTERN

Die Enden und Muttern werden gemäß der Kundenvorgaben gefertigt. Keilprofile, Nuten, Feingewinde, Zapfen, Verzahnungen und geschliffene Durchmesser sind nur einige der täglich ausgelieferten Spezifikationen.

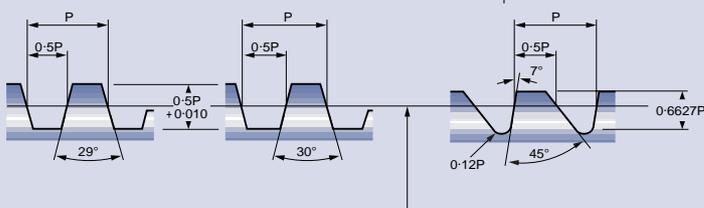
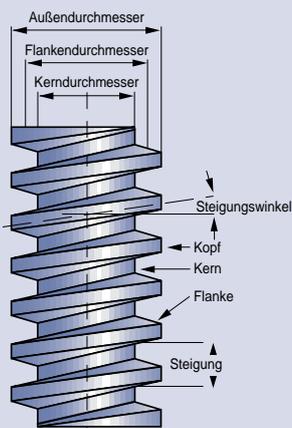


Abb. 12

AUSLEGUNG DER GLEITGEWINDESPINDELN:

TRAGZAHL: Die Tragzahl einer Gleitgewindespindel hängt in der Regel vom eingesetzten Werkstoff, Verschleißzustand, von der Oberflächengüte, Flächenpressung, Schmierung, sowie Drehgeschwindigkeit und somit von den Bewegungszyklen und Art der Wärmeabführung ab.

Die zulässige Flächenpressung ist eine Funktion der Drehgeschwindigkeit der Gewindespindel.

In Bewegungstrieben darf die Flächenpressung 10 - 15N/mm² nicht überschreiten.

Die für den Mutternwerkstoff und die Tragfläche ermittelten pv-Werte stellen eine einfache Methode zur rechnerischen Bestimmung der zulässigen Drehgeschwindigkeit dar.

Beispiel:

Last = 10 000 N

$$\text{Erforderliche Tragfläche} = \frac{10000\text{N}}{10\text{N/mm}^2} = 1000 \text{ mm}^2$$

$$\text{pv-Wert für Lagerbronze} = 300\text{N/mm}^2 \cdot \text{m/min}$$

$$\begin{aligned} \text{Zulässige Gleitgeschwindigkeit} \\ \text{im Gewinde} &= \frac{300\text{N/mm}^2 \cdot \text{m/min}}{10\text{N/mm}^2} = 30\text{m/min} \end{aligned}$$

Wenn diese Geschwindigkeit zu gering ist, muß eine stärkere Spindel gewählt werden, um eine größere Tragfläche zu bekommen.

Die zulässige Drehgeschwindigkeit kann nun dazu benutzt werden, die Spindeldrehzahl zu berechnen; diese wiederum dient in Verbindung mit der Spindelsteigung zur Berechnung der Verstellgeschwindigkeit.

$$\text{Verstellgeschwindigkeit} = \text{Drehzahl} \times \text{Steigung}$$

KRITISCHE DREHZAHL VON GLEITGEWINDESPINDELN:

Die Richtlinien und Berechnungen zur Ermittlung der maximal zulässigen Spindeldrehzahl sind die gleichen wie für Kugelgewindetriebe (siehe Seite 28/29). Die theoretische kritische Drehzahl kann aus Abb. 9 ersehen werden.

KNICKLAST FÜR GLEITGEWINDESPINDELN:

Die Richtlinien und Berechnungen zur Ermittlung der maximal zulässigen Knicklast sind die gleichen wie für Kugelgewindetriebe (siehe Seite 30). Die theoretische Knicklast kann aus Abb. 8 entnommen werden.



ERFORDERLICHES DREHMOMENT / EINBAU- UND WARTUNGSHINWEISE:

Das erforderliche Drehmoment für einen Gleitgewindespindeltrieb (T) wird von der Belastung, Spindelsteigung und vom Wirkungsgrad des Antriebs und der Lager bestimmt. Bei kurzen Hochlaufzeiten und hohen Drehzahlen muß das Beschleunigungsmoment, und zusätzlich bei Gleitgewindespindeltrieben, das Losbrechmoment überprüft werden. Die gleiche Berechnung (Seite 32) wie für Kugelgewindetriebe kann zur Ermittlung des Antriebsmomentes angewendet werden. Gleitgewindespindeln haben einen viel kleineren Wirkungsgrad (η) als Kugelgewindetriebe.

Rechenweg:

$$T = \frac{F \cdot \text{Pho}}{2 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot \eta}$$

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

$$\eta^1 = \frac{\tan (\alpha - \beta)}{\tan \alpha}$$

Darin sind:

η = Wirkungsgrad der Umwandlung einer Drehbewegung in eine geradlinige Bewegung

η^1 = Wirkungsgrad der Umwandlung einer geradlinigen Bewegung in eine Drehbewegung

α = Steigungswinkel des Gewindes.

β = Reibwinkel; $\tan \beta = \mu$

Generell bezieht sich der Wirkungsgrad (η) einer Gleitgewindespindel auf einen Reibungskoeffizient $\mu = 0.1$.

	μ bei Anlauf		μ bei Bewegung	
	trocken	geschmiert	trocken	geschmiert
Metallmutter	~0.3	~0.1	~0.1	~0.04
Plastmutter	~0.1	~0.04	~0.1	~0.03

Hinweis: Den Wirkungsgrad der Trapezgewinde- Spindeln erfragen Sie bitte von den JENA-TEC Ingenieuren.

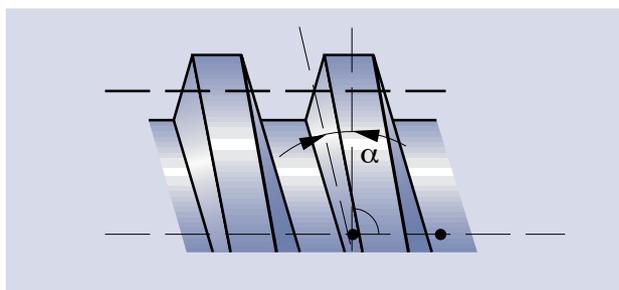


Abb 13

EINBAU- UND WARTUNGSHINWEISE FÜR GLEITGEWINDESPINDELN

EINBAU:

JENA-TEC Gleitgewindespindeltriebe müssen beim Einbau sorgfältig ausgerichtet werden. Sind keine geeigneten Meßmittel verfügbar, so muß der Trieb über seine gesamte Länge von Hand gedreht werden, bevor der Antrieb angebaut wird.

Schwankungen der notwendigen Antriebskraft und/oder Marken auf der Spindel weisen auf Fluchtungsfehler zwischen der Spindel und Führung hin. Im Fall von Fluchtungsabweichung sind die entsprechenden Schrauben zu lösen und der Trieb ist über seine gesamte Länge von Hand zu drehen. Wenn dann eine konstante Kraft über seine gesamte Länge beibehalten wird, stimmt die Flucht.

SCHUTZ:

Abdeckungen: Auf Grund ihrer konstruktiven Auslegung sind die JENA-TEC Gleitgewindetriebe weniger anfällig gegen Schmutz als Kugelgewindetriebe, besonders bei niedrigen Drehzahlen (Handbetrieb).

Gleitgewindespindeltriebe, insbesondere solche mit Kunststoffmutter, sind zur Erzielung einer langen Lebensdauer nichtsdestoweniger gegen Verschmutzung in der gleichen Weise wie Kugelgewindetriebe zu schützen.

SCHMIERUNG:

Ölschmierung: Nur in besonderen Fällen für Gleitgewindespindeltriebe erforderlich.

Fettschmierung: Sie ist die normale Schmierungsart für Gleitgewindespindeltriebe. Die Schmierintervalle richten sich nach den Betriebsbedingungen. Es ist immer zweckmäßig, die Gewindespindel vor dem Fetten zu reinigen. Ein gutes Spindelspray verlängert die Lebensdauer, besonders dann, wenn es vor dem Fetten aufgetragen wird.

BETRIEBSTEMPERATUR:

Sie hängt hauptsächlich vom Muttertyp, der Art der Schmierung und den Umgebungsbedingungen ab. Bei Betriebstemperaturen über 100°C (70°C bei Kunststoffmutter) beraten Sie sich bitte mit den JENA-TEC Ingenieuren.

VERSCHLEIß:

Verschleiß kann manuell überprüft werden; wenn das axiale Flankenspiel in einer eingängigen Gleitgewindespindel größer als 1/8 der Steigung ist, muß die Mutter gewechselt werden.