



WELCHES GEWINDE?

**Die richtige
Technologie
auswählen**





EUROPA

Tolomatic Europe GmbH

Zeitweg 42
60439 Frankfurt am Main
Deutschland

Telefon: +49 69-2045-7837
EuropeSales@tolomatic.com

CHINA

Tolomatic Automation Products (Suzhou) Co. Ltd.

(ServoWeld® inquiries only)

No. 60 Chuangye Street, Building 2
Huqiu District, SND Suzhou
Jiangsu 215011 - P.R. China

Telefon: +86 (512) 6750-8506
Fax: +86 (512) 6750-8507

ServoWeldChina@tolomatic.com

USA

3800 County Road 116
Hamel, MN 55340, USA

Telefon: (763) 478-8000

Fax: (763) 478-8080

Toll-Free: **1-800-328-2174**

sales@tolomatic.com

www.tolomatic.com

UNTERNEHMEN MIT
QUALITÄTSSYSTEM
ZERTIFIZIERT VON DNV GL
= ISO 9001 =
Zertifizierte Seite: Hamel, MN

Alle Marken und Produktnamen sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen ihrer jeweiligen Eigentümer. Die in diesem Dokument zusammengestellten Informationen gelten zum Zeitpunkt der Drucklegung als genau. Tolomatic übernimmt keine Verantwortung für die Verwendung der Informationen oder für Fehler in diesem

Dokument. Tolomatic behält sich das Recht vor, Änderungen am Aufbau oder der Funktionsweise der hier beschriebenen Geräte und der mit ihnen in Verbindung stehenden Bewegungsprodukte ohne vorherige Ankündigung vorzunehmen. Die Informationen in diesem Dokument können ohne Vorankündigung geändert werden.

Die aktuellen technischen Daten finden Sie auf www.tolomatic.com

Inhalt

EINFÜHRUNG	4
GEWINDETERMINOLOGIE	5
GEWINDETYPEN	7
Acme	7
Kugel	9
Rolle	11
ÜBERLEGUNGEN ZUR LEITSPINDEL	13
Schubkraft	13
Geschwindigkeit	16
Genauigkeit und Reproduzierbarkeit	17
Spiel	18
Auflösung	19
ZUSAMMENFASSUNG	21

Einführung

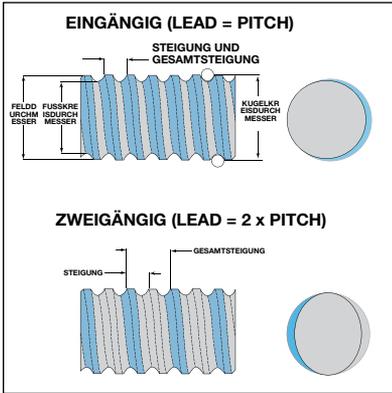
Viele industrielle lineare Bewegungssysteme setzen einen Gewindemechanismus einer bestimmten Art ein, um eine gewünschte lineare Bewegung zu erreichen. Der Zweck dieses Merkblatts ist es, eine Erklärung der typischen Terminologie zu vermitteln, die verwendet wird, um die verschiedenen Arten verfügbarer Gewindemechanismen zu erklären und einen besseren Einblick zu geben, was erforderlich ist, um die beste Gewindeauswahl in Bezug auf elektromechanische Antriebe zu treffen.

Was ist also ein Gewindemechanismus? Ein Gewindemechanismus bietet die Möglichkeit, durch die Drehung von Gewinde oder Mutter in einer Baugruppe für eine lineare Bewegung zu sorgen. Das Gewinde ist ein zylindrisches Element mit einem Schraubengewinde; die Mutter ist eine passende Vorrichtung zum Gewinde. Jede Komponente kann unabhängig voneinander gedreht werden. Wird ein Element eingespannt, kommt es zu einer linearen Bewegung.

Eine Leitspindel ist eine allgemeine Bezeichnung, die bei breitester Auslegung auf mehrere Gewindemechanismen angewendet werden kann. Es gibt drei Hauptarten von Gewinden, die bei linearen Antrieben verwendet werden: Acme, Kugel und Rolle. Die Unterschiede liegen in der Bauweise der Gewindeform sowie Bauweise und Betrieb einer passenden Mutter. Diese Unterschiede zwischen den einzelnen Arten von Gewindebauweisen werden später in den folgenden Abschnitten erklärt.

Um ein allgemeines Verständnis der Gewindeauswahl zu geben, muss die allgemeine Gewindeterminologie definiert und die unterschiedlichen Arten von Gewinden erklärt werden.

Gewindeterminologie



Gesamtsteigung – Der lineare Abstand der Bewegung, die auftritt, wenn sich Gewinde oder Mutter einmal vollständig drehen. Gemessen in Einheiten pro Umdrehung, wie „mm/U“.

Steigung – Der lineare Abstand zwischen Schraubengewinden. Die Steigung stimmt nicht unbedingt mit der Gesamtsteigung des Gewindes überein, wenn ein Gewinde mehrere Schraubengewindeanfänge hat. Gemessen in Einheiten wie „mm“.

Umdrehungen – Die Anzahl der Umdrehungen, die zur Bewegung um einen bestimmten Abstand erforderlich sind.

Spiel – Die Größe des Bewegungsspielraums zwischen einem Gewinde und einer Mutter.

Gesamtsteigungsgenauigkeit – Die mögliche Abweichung beim Bewegungsabstand innerhalb einer Standardlänge des Gewindes. Gemessen in Einheit pro Einheiten wie „mm/m“.

Genauigkeit – Die Fähigkeit eines Systems, um die gewünschte lineare Position zu erreichen.

Reproduzierbarkeit – Die Fähigkeit eines Systems, die exakte gleiche Position bei wiederholten Versuchen zu erreichen.

Statische Tragfähigkeit – Die maximale Last, die auf ein stationäres Gewinde- und Muttersystem aufgebracht werden kann, ohne dass Schäden auftreten.

Dynamische Traglast (DLR) – DLR ist ein Lagerbegriff, der eine anwendbare konstante Last (in Richtung und Ausmaß) darstellt, bei der eine Kugellagervorrichtung 1.000.000 Umdrehungen (Umläufe) nominelle Lebensdauer oder L10 geschätzte Lebensdauer bei 90 % Zuverlässigkeit erreicht.

Gewindeterminologie

Vorlast – Die Stärke der Spannung oder vorgespannten Kraft, die in ein Lagersystem eingebracht wird, um die Lockerheit (Spiel) in der mechanischen Baugruppe zu entfernen. Dies gilt für Gewinde- und Mutterkombinationen sowie lineare Lagervorrichtungen. Bei Gewindesystemen wird so das axiale und radiale Spiel verringert und die Steifheit und Reproduzierbarkeit des System erhöht.

Rücktrieb – Die lineare Kraft oder Schubkraft, die zur Drehung des Gewindes bzw. der Mutter in umgekehrter Richtung erforderlich ist. Zum Beispiel kann die Schwerkraft bei einem vertikalen System die Fähigkeit haben, ein Schraubensystem zurückzutreiben und so Drehmoment und/oder lineare Bewegung zu erzeugen.

Walzen – Ein Produktionsprozess, der Gewindeprofile auf einem Gewindeschaft durch den Einsatz hoher Druckkräfte schafft, bei dem umlaufende Schneiden mit dem gewünschten Gewindeprofil auf den blanken Schaft gedrückt werden, um Material in die gewünschte Gewindeform zu verdrängen.

Schleifen – Ein sehr präziser Produktionsvorgang, der verwendet werden kann, um Gewindeprofile auf einem Gewindeschaft herzustellen, indem Material mit einem Schleifmittel entfernt wird.

Kritische Geschwindigkeit – Die Drehgeschwindigkeitsgrenze des Gewindes, bei dem aufgrund der natürlichen Oberschwingungsfrequenz Vibrationen entstehen. Dies wird auch als „Gewindeschwingung“ bezeichnet und hängt von Durchmesser und Länge des Gewindes zwischen den Halterungen ab.

Arbeitszyklus – Bewertung einer Anwendung in Prozent, die die Laufzeit im Vergleich zur Standzeit vergleicht. Eine Anwendung, die fortlaufend läuft, hat einen Arbeitszyklus von 100 %, während eine Anwendung, die 15 Sekunden läuft und danach 45 Sekunden still steht, bevor ein Arbeitszyklus abgeschlossen ist, einen Arbeitszyklus von 25 % hätte.

Gewindetypen



Acme-Gewinde

Das Acme-Gewinde, das 1895 entwickelt wurde, nutzt eine Gewindeform mit einer grundsätzlich trapezförmigen Zahnform, die normalerweise in einen Stahlschaft gewalzt wird. Die Gewindeform ist sehr stark und lineare Kraft wird von den Gleitflächen auf den Flanken der Gewindeform auf eine feste Mutter übertragen.

Die Effizienz eines soliden Muttersystems, das durch das Muttermaterial und die Gesamtsteigung bestimmt wird, ist relativ niedrig und kann von 20 % bis 40 % reichen. Diese Effizienzstufe verhindert häufig, dass die Last oder externe Kräfte den Gewindemechanismus zurückzutreiben, was wiederum von Vorteil sein kann. Ein Nachteil ist jedoch der hohe Verlustgrad im System, das im Vergleich zu anderen Gewindetechnologien ein höheres Motordrehmoment benötigt.

Gebräuchliche Muttermaterialien umfassen selbstschmierende Kunststoffe oder Harze und Metalle wie Messing oder Bronze. Nichtmetallische Muttermaterialien haben grundsätzlich eine höhere Effizienz aufgrund des niedrigeren Kraftschlusses und benötigen häufig keinen Schmiermitteleinsatz. Metallmuttern, wie Bronze, können höhere Arbeitslasten vertragen, erfordern jedoch Schmierung, was in einigen Umgebungen jedoch durch Verschmutzung zum Problem werden kann.

Die Abnutzungseigenschaften von Acme-Muttern hängen vom Muttermaterial, der Umgebung und den Anwendungsanforderungen ab. Stärke und Grad des Verschleißes können aufgrund der großen Anzahl von Variablen nur schwer vorhergesagt werden. Um die negativen Wirkungen der Mutterabnutzung zu kompensieren, bauen einige Hersteller Acme-Muttern mit zwei Hälften, die mit einem Federmechanismus gegeneinander vorgespannt sind. Muttern dieser Bauart werden häufig als „Anti-Spiel-Muttern“ oder „spielfreie Muttern“ bezeichnet. Es muss beachtet werden, dass diese Muttern die Reibung im System verstärken können.

Gewindetypen: **Acme-Gewinde**

Acme-Gewinde sind in einer Vielzahl von Durchmessern und Gesamtsteigungen erhältlich, um unterschiedliche Anwendungsanforderungen zu erfüllen. Eine metrische Version des Acme-Gewindes ist ebenfalls verfügbar und wird häufig als trapezförmiges Gewinde bezeichnet. Auch wenn die Zahnform sehr ähnlich ist, sind die beiden Bauweisen aufgrund eines $0,5^\circ$ Flankenwinkelunterschieds nicht austauschbar.

Vorteile Acme-Gewinde:

- Allgemein niedrigere Kosten
- Leiserer Betrieb (bei Verwendung von Kunststoffmutter)
- Kann Zurücktreiben verringern oder beseitigen
- Ideal für Anwendungen mit
 - niedriger bis mittlerer Geschwindigkeit
 - niedrigen Platzierungsanforderungen
 - geringen Arbeitszyklen
 - niedrigen bis mittleren Schubkraftfähigkeiten

Einschränkungen Acme-Gewinde:

- Feste Bauweise der Mutter kann abnutzen und Platzierung beeinflussen
- Niedrige Effizienzbewertung erfordert höheres Eingangsdrehmoment
- Unvorhersehbare Lebensdauer
- Externe Faktoren, wie die Umgebung, können Gewindeleben beeinflussen

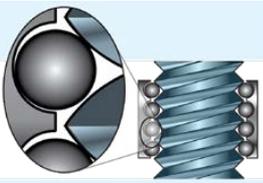


Gewindetypen



Kugelgewinde

Ein Kugelgewinde nutzt eine kreisförmige oder spitze (gotischer Bogen) Gewindeform. Die Mutter hat eine passende Gewindeform, wodurch Kugellager, die zwischen die beiden Nuten passen, Kraft und relative Bewegung mit hoher Effizienz, normalerweise 80-95 %, übertragen können.



Die Kugellager dürfen zwischen einem oder mehreren Rundgängen in der Mutter rollen und umlaufen, wenn es zu Rotation und linearer Bewegung kommt. Es gibt unterschiedliche Bauweisen von Spindelmuttern, die sich in der Anzahl der Kugelumläufe und wie der Kugelumlaufweg kontrolliert wird, unterscheiden. Der Kugellagerweg ist ein kritischer Faktor bei der Bestimmung der Höchstgeschwindigkeit des Mechanismus. Alternative Bauweisen, wie interne Wege oder Endrückläufe, bieten geringe Vorteile, wie höhere Geschwindigkeiten oder geringere Betriebsgeräusche. Die meisten Kugelmutterbauweisen sind im Betrieb jedoch ähnlich.

Kugelgewinde sind in vielen unterschiedlichen Durchmessern, Gesamtsteigungen und Genauigkeiten in metrischen und imperialen Gesamtsteigungsbauweisen. Es wurde ein Bewertungssystem definiert, um die Gesamtsteigungsgenauigkeiten von Kugelgewinden zu klassifizieren, das durch ISO-3408 reguliert wird. Kugelgewinde sind jetzt, wie unten zu sehen, in 5 Güteklassen erhältlich.

GÜTE	GESAMTSTEIGUNGSGENAUIGKEIT
1	6 μm / 300 mm (~ 0,0002 in / ft)
3	12 μm / 300 mm (~ 0,0005 in / ft)
5	23 μm / 300 mm (~ 0,0010 in / ft)
7	52 μm / 300 mm (~ 0,0020 in / ft)
10	210 μm / 300 mm (~ 0,0080 in / ft)

Der Gütewert eines Kugelgewindes kann als Richtlinie zur Bestimmung der Gesamtsteigungsgenauigkeit eines bestimmten Systems verwendet werden und wird kumulativ berechnet. Diese Genauigkeitsklassen berücksichtigen keine Spezifikationen. Produktionsmethoden, um die angegebenen

Gewindetypen: **Kugelgewinde**

Güteklassen zu erreichen, hängen von den Produktionsmöglichkeiten ab; Gewinde der Güteklassen 1 und 3 werden jedoch meistens geschliffen, um die höchstmögliche Präzision zu erreichen. Schleifen ist zwar präzise, aber auch zeitaufwendig und die kostenintensivste Produktionstechnik. Walzen ist die häufigste Produktionsmethode bei den anderen Gewindeklassen.

Spiel kann bei einem Kugelgewinde individuell gestaltet werden und zwar auf unterschiedliche Arten. Eine verbreitete Art ist es, jeden Kugelrundgang mit Kugeln eines Durchmessers zu befüllen, der die gewünschte Stärke des Spiels erreicht. Diese Methode kann auch verwendet werden, um ein vorgespanntes System zu erreichen. Vorspannen kann auch erreicht werden, in dem zwei Muttern gegeneinander vorgespannt und an ihrer Position verriegelt werden. Mit zwei Muttern auf einem einzigen Kugelgewinde wird die Kraftaufnahme des Systems nicht verdoppelt.

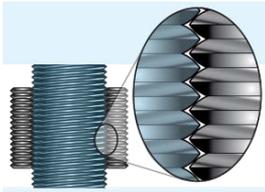
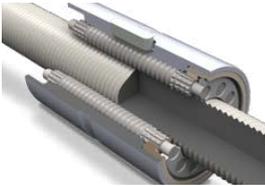
Vorteile Kugelgewinde:

- Höhere Schubkrafteigenschaften im Vergleich zu einzelner Mutter
- Längere und planbare Lebensdauer
- Erhöhte Effizienz (80 % – 95 %)
- Geringes Spiel (normalerweise von 0,0025 mm (0,0001 Zoll) für geringes Spiel bis 0,127 mm (0,005 Zoll))
- Ideal für Anwendungen, die hohe Arbeitszyklen, mittlere bis hohe Schubkraft und mittlere bis hohe Geschwindigkeiten benötigen

Einschränkungen Kugelgewinde:

- Die Kugelmutter kann abhängig von der Gesamtsteigung einfach zurückgetrieben werden
- Höhere Anfangskosten im Vergleich zu einem Acme-Gewinde
- Ist häufig geräuschstärker als ein Acme-Gewinde

Gewindetypen



Rollen- (Planeten-) Gewinde

Die Steigungsform eines Rollengewindes hat allgemein eine dreieckige Form und überträgt Kraft durch einen abgestimmten Satz mehrgängiger Rollen in der Mutter. Diese Rollen dürfen sich innerhalb der Mutter drehen, während sie die Flankenform des Gewindes berühren. Die Rollenmutter hat eine festgelegte Anzahl von Rollen, die erheblich mehr Kontaktpunkte mit dem Gewinde auf gleicher Fläche bieten als Kugelmuttern, was zu sehr hoher Kraftübertragungsfähigkeiten und einer längeren Lebensdauer im Vergleich zu Kugelgewinden mit vergleichbarem Durchmesser führt.

Wie Kugelgewinde haben Rollengewinde eine gute Effizienzklasse, da sie mit rollenden Elementen im Vergleich zu den verschiebbaren Elementen von Acme-Gewinden ausgestattet sind. Aufgrund des erhöhten Kontaktbereichs kann die Effizienz etwas niedriger liegen als bei einem Kugelgewinde und liegt normalerweise im Bereich von 70 % bis 90 %.

Rollengewinde werden, wie auch Kugelgewinde, innerhalb des Gütesystems von ISO-3408 hergestellt und teilen deshalb ähnliche Überlegungen zur Gesamtsteigungsgenauigkeit. Rollengewinde werden meistens geschliffen, um fortlaufende Kontaktfläche, glatte Bewegung und hohe Schubkraftausgaben zu bieten. Einige Rollengewinde werden heutzutage jedoch präzisionsgewalzt, um kostengünstigere Lösungen bei eventuell etwas geringerer Leistung bieten.

Normales Planetenrollengewinde

Bei normalen Rollengewinden wird vor dem Präzisionsschliff eine Einsatzhärtung (Oberfläche) vorgenommen, was zu einer deutlich größeren Einsatzhärtungstiefe und einer sehr viel höheren DLR führt. Die tiefere Oberflächenhärte und höhere DRL verleihen dieser Bauweise einen großen Vorteil bei der Lebensdauer (und der Behandlung mit Schmiermitteln) im Vergleich zur umgekehrten Bauweise des Planetenrollengewindes.



Gewindetypen: **Rollen- (Planeten-) Gewinde**



Umgekehrtes Planetenrollengewinde

Bei umgekehrten Rollengewinden kommt ein anderes Verfahren als der Präzisionsschliff zum Einsatz, um so auf kostengünstige Weise ein Gewinde entlang dem internen Muttergewinde zu schaffen. Aus diesem Grund findet die Einhärtung nach der Herstellung des internen Muttergewindes statt. Durch die erforderliche Einhärtung ist die Einsatzhärtungstiefe weitaus geringer und die Gewinde sind weicher als beim normalen Planetenrollengewinde. Das führt zu bedeutend geringerer DLR (kürzere Lebensdauer) und größeren Schwierigkeiten bei der Aufrechterhaltung der Schmierung.

Vorteile Rollengewinde:

- Anwendungen mit sehr hoher Schubkraft
- Extrem lange Lebensdauer
- Hohe Geschwindigkeits- und Beschleunigungswerte möglich
- Geringe Wartung
- Hohe Effizienz

Einschränkungen Rollengewinde:

- Höchste Kosten der drei Gewindetypen
- Bei vertikalen Anwendungen kann das Gewinde zurückgetrieben werden oder frei fallen und Motordrehmoment verlieren
- Mutterbaugruppe hat größeren Außendurchmesser

Überlegungen zur Leitspindelauswahl

Schubkraft

Die Stärke der Schubkraft oder axialen Kraft, die für die Anwendung erforderlich ist, ist einer der wichtigsten Faktoren für die Auswahl eines Gewindemechanismus. Eine höhere Schubkraftanforderung führt normalerweise zu einem größeren Gewindedurchmesser, da ein Gewinde einer Säule ähnelt, die gleichzeitig Druck- und Spannungsbelastungen unterliegt. Während einer Druckbelastung sollte das Gewinde sich nicht biegen oder umlenken. Während einer Spannungsbelastung ist es wichtig, dass die Säule die Belastung aushalten kann, ohne auszufallen.

In metrischen Einheiten lautet die theoretische Formel zur Berechnung der Säulenstärke in Newton:

$$P_{cr} = \frac{96,9 \times 10^9 \times F_c \times d^4}{L^2}$$

WOBEI:

P_{cr} = Maximale Belastung (N)

F_c = Endbefestigungsfaktor

0,25 für ein Ende befestigt, ein Ende offen

1,00 für beide Enden gelagert

2,00 für ein Ende befestigt, ein Ende einfach

4,00 für beide Enden starr

d = Kerndurchmesser des Gewindes, Meter

L = Abstand zwischen Mutter und tragendes Lager, Meter

In US-Standardeinheiten lautet die theoretische Formel zur Berechnung der Säulenstärke in Pfund:

$$P_{cr} = \frac{14,03 \times 10^6 \times F_c \times d^4}{L^2}$$

WOBEI:

P_{cr} = Maximale Belastung (lbs)

F_c = Endbefestigungsfaktor

0,25 für ein Ende befestigt, ein Ende offen

1,00 für beide Enden gelagert

2,00 für ein Ende befestigt, ein Ende einfach

4,00 für beide Enden starr

Überlegungen zur Leitspindelauswahl

- d = Kerndurchmesser des Gewindes, Zoll**
- L = Abstand zwischen Mutter und tragendes Lager, Zoll**

Bei linearen Motoranwendungen gibt es zwei unterschiedliche Schubkraftwerte, die berücksichtigt werden sollten: Spitzenschubkraft und Dauerschubkraft. Spitzenschubkraft liegt normalerweise über kurze Zeiträume an, etwa bei der Beschleunigung oder beim Abbremsen eines Hochgeschwindigkeitsprofils oder beim Drücken oder Schieben eines Produkts. Eine Spitzenschubkraft kann abhängig von der Anwendung 3 bis 5 Mal größer als die Dauerschubkraft oder gleich der Dauerschubkraft sein.

Die Dauerschubkraft ist ein berechneter Mittelwert, der als RMS-Wert oder Effektivwert bezeichnet wird. Die Dauerschubkraft kann auch eine Schubkraft sein, die über einen längeren Hub aufrecht erhalten bleibt, wie etwa bei einer volumetrischen Kolbenpumpenanwendung. Bei den Spitzen- bzw. Dauerschubkraftwerten muss überprüft werden, ob der Gewindegewinde die angewendeten Kräfte unterstützen kann. Die Dauerschubkraft ist auch eine wichtige Variable zur Bestimmung der geschätzten L10-Lebensdauer eines Kugel- oder Rollengewindes, das in einem anderen Dokument behandelt wird.

Ein weiterer wichtiger Faktor sind Bauweise und Material der Mutter. Bei einem Acme-Gewinde hat die Auswahl eines Verbundharzes oder Metalls erheblichen Einfluss auf die verfügbare Schubkraft. Bei einem metrischen Acme-Gewinde mit 25,4 mm (1 Zoll) mit einer Gesamtsteigung von 3 mm, kann die Mutter aus Harzmaterial einen Betriebslastwert von 2,75 kN (625 lbs) im Vergleich zu 5,50 kN (1.250 lbs) bei einer Bronzemutter haben.

Bei einem Kugelgewinde können die Bauweise der Mutter und die Gesamtsteigung die Anzahl und den Durchmesser der Kugellager beeinflussen, die sich in der Mutter drehen. Bei einer höheren Anzahl von Kugeln innerhalb der Mutter, erhöht sich die Anzahl der schubkraftunterstützender Kontaktpunkt und erhöht somit die Schubkraftstärke. Nehmen Sie zum

Überlegungen zur Leitspindelauswahl

Vergleich Kugelgewinde mit 50,8 mm (2 Zoll), von denen das erste eine Gesamtsteigung von 5 mm (0,200 Zoll) und das zweite eine Gesamtsteigung von 12 mm (0,500 Zoll) hat. Das erste Gewinde hat einen dynamischen Belastungswert von 4,33 kN (973 lbs) und ist als eingängiges Gewinde ausgelegt mit zwei Kugelrundgängen mit jeweils 40 Kugeln in jedem Rundgang. Das zweite Gewinde hat einen dynamischen Belastungswert von 3,50 kN (786 lbs) und ist als zweigängiges Gewinde ausgelegt mit zwei Kugelrundgängen mit jeweils 30 Kugeln in jedem Rundgang. Bei diesen beiden Gewinden spielt die Anzahl der Kugeln in der Mutter eine erhebliche Rolle bei der Bestimmung der Schubkraftfähigkeit.

Die Anzahl der Rollen in der Rollenmutter hat eine ähnliche Wirkung auf die Schubkraftkapazität.

Die Gesamtsteigung des Gewindes beeinflusst ebenfalls die Schubkraftkapazität des linearen Motorsystems. Mit der folgenden Formel kann die lineare Schubkraftausgabe eines Gewindemechanismus berechnet werden:

$$\text{Drehmoment} = \frac{(\text{Erforderliche Schubkraft} * \text{Gewindegesamtsteigung})}{2\pi * \text{Effizienz}}$$

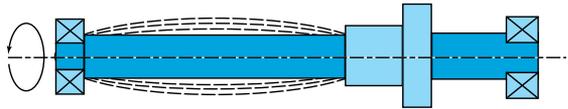
Beispiel: Erzeugen Sie 450 N (100 lbs) Dauerschubkraft mithilfe eines 25,4 mm (1 in) Acme-Gewindes mit einer Gesamtsteigung von 5 mm (0,2 in) und einer Effizienz von 40 %. Mit dieser Formel würden Sie ein Eingangsdrehmoment von 0,30 Nm (8 lb in) benötigen. Würde die Gesamtsteigung auf 12 mm (0,5 Zoll) geändert, würden Sie ein Eingangsdrehmoment von 2,15 Nm (20 lb in) benötigen.

Die Berechnungen oben gehen von einem System ohne Verluste aus. Es gibt zusätzliche Kräfte, die bei den Gleichungen oben berücksichtigt werden müssen, wie Lagervorspannungen, Schwerkraft, Reibung und Losbrechmoment. Die einfachste und bequemste Art, alle diese Kräfte zu berücksichtigen, ist die Verwendung eines Größenbestimmungsprogramms, wie der Größenbestimmungs- und Auswahlsoftware von Tolomatic.

Überlegungen zur Leitspindelauswahl

Geschwindigkeit

Geschwindigkeit ist normalerweise der zweitwichtigste Parameter, der bei der Auswahl eines Gewindes bewertet werden muss. Alle Mechanismen haben eine kritische Geschwindigkeit – die Drehgeschwindigkeitsgrenze des Gewindes, nach der aufgrund der natürlichen Oberschwingungsfrequenz Vibrationen entstehen. Dies wird auch als „Gewindeschwingung“ bezeichnet und hängt von Durchmesser und Länge des Gewindes zwischen den Halterungen ab. Es muss beachtet werden, dass die kritische Geschwindigkeit eines Gewindes nicht von der Ausrichtung abhängt (horizontal, vertikal, etc.).



Eine theoretische Berechnung für kritische Geschwindigkeiten gilt, wenn beide Enden des Gewindes gelagert sind, die maximale Geschwindigkeit sollte jedoch bei unter 80 % dieser Berechnung liegen.

In metrischen Einheiten:

$$N = \frac{1,21 \times 10^8 \times d}{L^2}$$

In US-Standardeinheiten:

$$N = \frac{4,76 \times 10^6 \times d}{L^2}$$

WOBEI:

N = Kritische Geschwindigkeit (U/min)

d = Kerndurchmesser des Gewindes (mm oder Zoll)

L = Länge zwischen Lagern (mm oder Zoll)

Bei Kugelmuttern verlaufen Lager auf gewalzten oder geschliffenen Spuren zwischen dem Gewinde und der Mutter und durch Rücklaufmechanismen. Wenn sich die Geschwindigkeit des Gewindes erhöht, erhöhen sich auch

Überlegungen zur Leitspindelauswahl

die Geschwindigkeiten der Kugeln bis zu einem Punkt, an dem sie zu Projektiven werden, die durch die Kugelrundgänge schießen. Diese komplizierte Aktion, die kontrolliert werden muss, kann die Geschwindigkeit ebenfalls begrenzen.

Bei allen Leitspindelbauweisen gibt es direktes Verhältnis zwischen Eingangsumdrehungsgeschwindigkeit und linearer Ausgangsgeschwindigkeit, die von der Gesamtsteigung abhängt. Bei Anwendungen, die hohe Geschwindigkeiten erfordern, kann eine größere Gesamtsteigung festgelegt werden, durch die Eingangsumdrehungsgeschwindigkeit des Gewindes gesenkt wird. Unten ist eine einfache Formel zur Berechnung der erforderlichen Umdrehungsgeschwindigkeit für Gewindemechanismen:

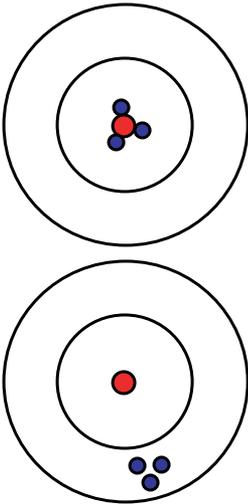
$$\text{RPM} = \frac{\text{Geschwindigkeit} * 60}{\text{Gesamtsteigung}}$$

Genauigkeit und Reproduzierbarkeit

Es ist wichtig, den Unterschied zwischen Genauigkeit und Reproduzierbarkeit zu verstehen, da diese beiden Begriffe häufig synonym verwendet werden. falsche Anwendung oder falsches Verständnis können zu erheblichen und unnötigen Kosten führen.

Genauigkeit bezeichnet die Fähigkeit, exakt die gewünschte Position innerhalb einer festgelegten Toleranz zu erreichen. Um Genauigkeit zu erreichen, muss ein Kugelgewinde mit der für die Anwendung erforderlichen Gesamtsteigungsgenauigkeit ausgewählt werden. Klassen mit den höchsten Genauigkeitswerten sind in beinahe allen Fällen die teuersten.

Reproduzierbarkeit ist die Fähigkeit, die selbe Position bei mehreren Versuchen zu erreichen. Viele Anwendungen erfordern kein hohes Maß an Genauigkeit, sondern sehr wahrscheinlich ein hohes Maß an Reproduzierbarkeit. Es ist sehr wahrscheinlich, dass Kugel- und andere Arten von Gewindetechnologie eine sehr hohe Reproduzierbarkeit aufweisen, ohne sehr genau zu sein.



Überlegungen zur Leitspindelauswahl

Kugel- oder Rollengewinde weisen ein höheres Maß an Reproduzierbarkeit auf, da sie nicht wie Acme-Muttern abnutzen. Spiel, der nächste Bereich, ist ebenfalls ein wichtiger Punkt, der für die bidirektionale Reproduzierbarkeit berücksichtigt werden muss.

Spiel

Spiel ist die Größe der linearen Bewegung zwischen dem Gewinde und der Mutter ohne Drehung des Mechanismus. Dies kann ein kritischer Faktor für Anwendungen sein, die Steifigkeit oder Genauigkeit und Reproduzierbarkeit in beiden Bewegungsrichtungen benötigen. Beispiel: Sie bewegen sich in positiver Richtung erfolgreich auf eine absolute Position von 254 mm (10,000 Zoll). Wenn Sie die Richtung umkehren und mit der Bewegungssteuerung auf eine absolute Position von 127 mm (5,000 Zoll) kann der Antrieb eventuell nur bei 127,254 mm (5,010 Zoll) sein, wenn Sie ein Spiel von 0,254 mm (0,010 Zoll) haben.

Externe Kräfte, die auf den Antrieb einwirken, müssen ebenfalls berücksichtigt werden, um zu bestimmen, ob Spiel ein Faktor für Ihre Anwendung ist. Bei einer vertikalen Anwendung übt die Schwerkraft normalerweise eine nach unten gerichtete oder negative Kraft auf den Antrieb aus, wodurch die Möglichkeit beseitigt wird, die Wirkung von Spiel zu sehen. Bei einigen Anwendungen kann eine externe Kraft gegen den linearen Antrieb wirken, wie Produkte auf einem Fließband oder ein pneumatischer Zylinder, der die Wirkung von Spiel beseitigt.

Die meisten festen Muttern nutzen im Laufe der Zeit ab und vergrößern das Spiel. Einige feste Muttern sind mit Anti-Spiel-Mechanismen verfügbar. Es muss jedoch erwähnt werden, dass Abnutzung auch bei den Anti-Spiel-Versionen auftritt und die Genauigkeit im Laufe der Lebensdauer der Mutter beeinflusst.

Kugelmuttern sind mit standardmäßigen (üblicherweise 0,127 - 0,381 mm (0,005 - 0,015 Zoll) oder geringeren Spieltechnologien verfügbar. Normalerweise gibt es zwei Methoden, um Kugelmuttern mit weniger Spiel zu erreichen.

Überlegungen zur Leitspindelauswahl

Bei der erste werden überdimensionierte Kugeln in die Mutter eingeführt, die das Spiel auf einen festgelegten Wert senkt. Diese Methode ist sehr verbreitet und die kostengünstigste. Die zweite Methode verwendet zwei Muttern, die gegeneinander vorgespannt sind. Diese Methode ist teurer und erhöht auch die Gesamtlänge der Mutter, was die Leerlänge des Antriebs beeinflussen kann. Spieleigenschaften von Rollengewinden liegen bei 0,0127 - 0,0381 mm (0,0005 - 0,0015 Zoll)

Auflösung

Die Auflösung bezieht sich normalerweise eher auf Bewegungssteuerung, Motor und Rückführvorrichtungen bei einem linearen Antriebssystem. Vorspannung, Losbrechmoment und Verdrehung langer Gewinde können auch ein wichtiger Faktor sein, wenn in kleinen Schritten bewegt wird, wie $<0,0254$ mm ($<0,001$ Zoll). Der Verkäufer der Komponenten sollte unbedingt Ihre gewünschte Genauigkeits- und Reproduzierbarkeitsanforderungen sowie Ihre kleinste inkrementelle Bewegung kennen. Die Gesamtsteigung an der Leitspindel hat ebenfalls einen wichtige Wirkung auf die Systemauflösung. Je feiner die ausgewählte Gewindesteigung, desto höher die Auflösung des Systems. Dies muss unbedingt beachtet werden, da Ihre Systemlösung eventuell eine Rückführvorrichtung mit geringerer Auflösung oder kostengünstigeren Motor oder Antrieb benötigt, wenn ein Gewinde mit höherer Auflösung installiert ist. Bedenken Sie, dass die Gesamtsteigung des Gewindes auch die maximale lineare Geschwindigkeit und lineare Kraftausgabe beeinflusst.

Stellen Sie sich beispielsweise eine Leitspindel mit einer Gesamtsteigung von 12 mm (0,5 Zoll) im Vergleich zu einer Gesamtsteigung von 5 mm (0,2 Zoll) vor. Bei der Suche nach der linearen Bewegung pro Grad Motordrehung gibt es einen erheblichen Unterschied, der zu einer kostengünstigeren Motor- und Antriebslösung führen kann.

12 mm Gesamtsteigung – 0,0033 mm/Grad	5 mm
Gesamtsteigung – 0,014 mm/Grad	
(0,5 Zoll Gesamtsteigung – 0,0014 Zoll/Grad	0,2 Zoll
Gesamtsteigung – 0,0005 Zoll/Grad)	

Überlegungen zur Leitspindelauswahl

Die folgende Tabelle zeigt die Gesamtvergleiche für die Verwendung der Arten von Gewindetechnologien bei elektromechanischen Antrieben und wie diese die Leistungseigenschaften des Antriebs beeinflussen. Man muss unbedingt die Anforderungen der Anwendung verstehen, wenn ein Gewinde und eine Mutter für eine Anwendung in einem linearen Bewegungssystem ausgewählt werden.

EIGENSCHAFT	GEWINDETYP		
	ACME	KUGEL	ROLLE
Strichlänge	mittel	lange	lange
Höchstgeschwindigkeit	langsam bis mittel	hoch	hoch
Schubkraft	niedrig bis mittel	mittel bis hoch	hoch
Genauigkeit	mittel	mittel bis hoch	hoch
Spiel	mittel bis hoch	niedrig bis mittel	niedrig
Reproduzierbarkeit	niedrig bis mittel	mittel bis hoch	hoch
Auflösung	mittel bis hoch	mittel bis hoch	mittel bis hoch
Zurück-Laufwerk	schwierig	niedrig	niedrig bis mittel

Zusammenfassung

Man muss unbedingt die Anforderungen der Anwendung verstehen, wenn ein Gewinde und eine Mutter für eine Anwendung in einem linearen Bewegungssystem ausgewählt werden.

Beantworten Sie zuerst die folgenden Fragen:

Kraft:

- Gibt es mehrere Komponenten?
- Wie sind die Massen?
- Wo sind die Schwerkraftzentren?

Ausrichtung:

- Wie werden die Antriebe positioniert?

Bewegungsprofil:

- Wie groß ist die gesamte Bewegungslänge?
- Wie ist das schnellste Bewegungsprofil?
- Wie ist der Arbeitszyklus oder die Frequenz des Bewegungsprofils?
- Wie genau muss die Bewegung sein?
- Wie reproduzierbar muss die Bewegung sein?
- Ist Spiel ein Problem?

Diese Entscheidungen beeinflussen nicht nur die Auswahl der Gewindetechnologie, sondern die gesamte Systemleistung.

Anwendungen mit Acme-Gewinden

Die Kontaktoberflächen des Acme-Gewindesystems sind feste Oberflächen, die sich gegeneinander verschieben und entsprechend einen leisen Betrieb ermöglichen, wenn im Gegensatz zu den Drehelementen eines Kugelgewindemechanismus Verbundmütter verwendet werden. Aus diesem Grund werden Acme-Gewinde- und Mütter vor allem für Anwendungen ausgewählt, die einen beinahe stillen Betrieb erfordern.

Zusammenfassung

Acme-Gewinde- und Muttersysteme sind außerdem die kostengünstigsten, auch wenn die niedrigen Kosten einen Nachteil mit sich bringen. Acme-Gewinde sind die am wenigsten effizienten Gewindetypen. Sie nutzen vergleichsweise stark ab und können dadurch zum größten Spiel neigen. Acme-Systeme sind eine gute Wahl für Anwendungen, bei denen Kosten ein wichtiger Faktor ist und Genauigkeit und Reproduzierbarkeit weniger ins Gewicht fallen.

Da die meisten Acme-Gewinde nicht zurückgefahren werden, können Acme-Systeme auch eine gute Wahl bei Anwendungen sein, wo Zurückfahren unerwünscht ist, etwa bei vertikalen Anwendungen. Geringe Geschwindigkeit, niedrigere Platzierungsanforderungen und manuelle oder Handkurbel wären andere gute Auswahlmöglichkeiten für Acme-Gewinde-/Muttersysteme.

Anwendungen mit Kugelgewinden

Kugelgewindesysteme sind in verschiedenen Durchmessern und Gesamtsteigungskombinationen verfügbar und werden nach der Genauigkeit ihrer Gesamtsteigung klassifiziert. Die sind teurer als Acme-Gewindesysteme, bieten aber höhere Schubkraft, längere Lebensdauer, sind mit höherer Genauigkeit verfügbar und bieten konsistentes Spiel.

Kugelgewindesysteme sind gut geeignet für Anwendungen, die hohe Kraft und dichte Platzierung erfordern. Die Branche bietet ein großes Maß an Flexibilität bei Kombinationen aus Gewindedurchmesser und Gesamtsteigung. Geringe Reibung, relativ lange Lebensdauer und konsistente Leistung sind Eigenschaften von Kugelgewindesystemen. Durch die erhöhte Effizienz können sie stärker zum Zurücktreiben neigen. Bei vertikalen Anwendungen ist eventuell der Einsatz einer Bremse oder eines anderen Mechanismus erforderlich, um einen korrekten und sicheren Betrieb zu garantieren. Kugelgewindesysteme sind weit verbreitet und bilden das Zugpferd bei linearen Bewegungssystemen.

Zusammenfassung

Anwendungen mit Rollengewinden

Bei Rollengewinden ist ein größerer Oberflächenbereich der Kugelrollen in Kontakt mit den Spindelschaftgewinden. Sie bieten eine höhere Krafterweiterung als ein Kugelgewinde mit dem gleichen Durchmesser. Der Produktionsprozess von Rollengewinden ist sehr detailliert und arbeitsintensiv, dadurch sind die relativen Kosten erheblich höher als bei Kugelgewinden. Die Rollengewindetechnologie ist gut geeignet für Anwendungen, bei denen extrem hohe Kräfte in einem kleinen Gehäuse erforderlich sind oder wenn eine Anwendung eine längere Lebensdauer erfordert. Handelsübliche Planetenrollengewinde haben einen tieferen Einhärtungsprozess als umgekehrte Rollengewindebauweisen und benötigen eine längere Lebensdauer und weniger Abschmierwartung. Wenn eine Anwendung hohe Kräfte oder lange Lebensdauer erfordert, kann die Rollengewindetechnologie eine gute Wahl sein.



