FAULHABER

Linearaktuatoren mit Getriebe
Technische Informationen

WE CREATE MOTION

DE

Linearaktuatoren mit Getriebe

Technische Informationen

Allgemeines

Die FAULHABER-Linearaktuatoren mit Getriebe der Serien **L** sind für hohe Leistungen bei kompakten Abmessungen ausgelegt. Diese Aktuatoren können hohe Eingangsdrehzahlen aufnehmen, liefern hohe Ausgangskräfte und eignen sich für ein breites Spektrum von Anwendungen wie Robotik, Industriemaschinen und Laborgeräte.

Es stehen zahlreiche, gleichmäßig verteilte Untersetzungsverhältnisse zur Verfügung, so dass je nach Anwendung die am besten geeignete Konfiguration für verschiedene Kraft- oder Geschwindigkeits-Arbeitspunkte gewählt werden kann.

Diese neue Familie bietet auch eine hohe Flexibilität, da unterschiedliche Spindelgrößen und -typen zur Auswahl stehen. Darüber hinaus steht eine große Auswahl an Optionen zur Verfügung, um unterschiedlichen Umgebungsbedingungen Rechnung zu tragen und die mechanische Integration in Anwendungen durch verschiedene Flansch- und Mutter-Konfigurationen schneller und reibungsloser zu gestalten.

Die Hauptvorteile der neuen FAULHABER-Linearaktuatoren mit Getriebe der Serien **L** sind:

- hohe Leistungen,
- sehr robuste Ausführung,
- große und modifizierbare Auswahl an Spindel- und Muttertypen,
- weiter Untersetzungsbereich,
- breite Palette an kombinierbaren Motoren.

Lebensdauer

Die Betriebslebensdauer von Kombinationen aus Linearaktuator mit Getriebe und Motor wird bestimmt durch:

- Typ und Material von Spindel[1] und Mutter,
- Axiallast und Lineargeschwindigkeit, aus denen sich die Ausgangsleistung ergibt,
- Betriebstemperatur des Motors,
- Betriebsart und Tastverhältnis,
- Einsatzbedingungen (Umgebungsbedingungen, Temperatur, Staub, usw.),
- Betriebsumgebung und Integration in andere Systeme.

Da in jeder Anwendung zahlreiche Parameter zu berücksichtigen sind, ist es fast unmöglich, die tatsächliche Lebensdauer anzugeben, die bei einem bestimmten Spindeltyp oder einer bestimmten Motor-Getriebe-Kombination zu erwarten ist. Unsere Verkaufsteams können Ihnen helfen, die beste Lösung für Ihre speziellen Bedürfnisse zu finden.

Spindeltyp (Gewindespindel gegenüber Kugelumlaufspindel)

Die neuen **L**-Serien bietet verschiedene Spindellösungen, von denen jede ihre eigenen Eigenschaften hat, die Sie berücksichtigen sollten, um die für Ihre spezifischen Anforderungen optimale Lösung zu finden.

Der grundlegende Unterschied zwischen Kugelumlauf- und Gewindespindeln besteht in der Rollbewegung der Kugelgewindemutter, wodurch die für Gewindespindeln typische Gleitreibung entfällt, was wiederum zu einem sehr hohen Wirkungsgrad führt.

Es gibt Anwendungen, in denen Gewindespindeln besser für Ihre Anwendung geeignet sind als Kugelumlaufspindeln und umgekehrt. Die folgende Tabelle gibt Ihnen einen ersten Vergleich ihrer wichtigsten Eigenschaften:

Eigenschaften	Spindel	Kugelumlaufspindel (nur 22L und 32L)
Hohe Belastbarkeit	●●●	●●●●●
Wirkungsgrad	●●●	●●●●●
Eigenerwärmung	●●●	●●●●●
Hohe Genauigkeit	●●●	●●●●●
Zuverlässigkeit und lange Lebensdauer	●●●	●●●●●
Individuell anpassbar	●●●●●	●●●
Materialauswahl	●●●●●	●
Beständigkeit gegenüber Umgebungsbedingungen	●●●●	●●●
Geringer Wartungsaufwand	●●●●●	●●●●
Geräuscharm	●●●●	●●
Kostengünstig	●●●●●	●●●
Selbsthemmend	y	n

Motorkombinationen

Die Linearaktuatoren mit Getriebe der Serie **L** können mit einer Vielzahl von DC-Motoren, 4-poligen und 2-poligen bürstenlosen Motoren und Schrittmotoren kombiniert werden. Diese Linearaktuatoren sind dafür optimiert, den Drehmoment- und Drehzahlbereich der verschiedenen FAULHABER-Motorenfamilien bestmöglich zu nutzen.

[1] Für eine Kugelumlaufspindel kann eine theoretische Lebensdauer anhand der Norm ISO 3408 berechnet werden. Dieser Wert bezieht sich nur auf die Kugelumlaufspindel und schließt andere Kombinationselemente wie Kupplung und Motor nicht ein.

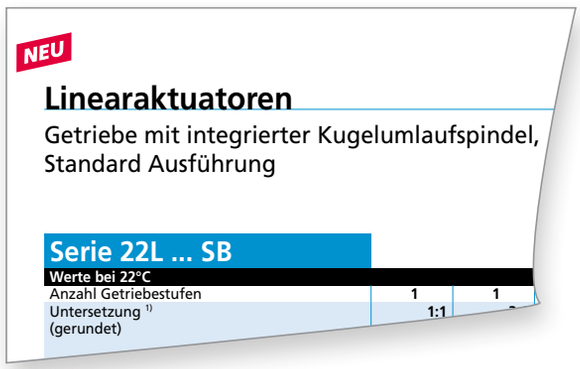
Modifikationen und Standardoptionen

Die FAULHABER-Linearaktuatoren mit Getriebe der Serie **L** sind mit einer großen Auswahl an Standardoptionen und Modifikationen erhältlich. Einige dieser Optionen dienen dazu, bestimmte Anforderungen an spezifische Anwendungen mit besonderen Umgebungsbedingungen zu erfüllen, während andere die Integration des Produkts in das Anwendungssystem erleichtern oder bestimmte Leistungsparameter für spezielle Anforderungen verbessern.

Die Produktoptionen können sich auf die Kupplung, auf die Spindel oder auf beides beziehen, beispielsweise:

- Spindeltyp und -länge,
- Muttertyp und -länge,
- Umgebungsbedingungen wie z.B. ein besonderer Temperaturbereich oder spezielle Umgebungsbedingungen wie etwa Vakuum,
- Unterschiedliche Motorkabel- oder Klemmenausrichtung bei der Integration der Gerätekombination in die Anwendung.

Zu beachten ist, dass die meisten Optionen Modifikationen am Basisprodukt sind, so dass dessen Eigenschaften von denen der Standardversion abweichen. Dies sollte bei der Auswahl einer Option berücksichtigt werden; eventuelle Fragen sollten an Ihren lokalen Vertriebsmitarbeiter gerichtet werden.



Erläuterungen zu den Datenblättern

Nicht spezifizierte Toleranzen

Sofern nicht spezifiziert, gilt für die Toleranzen die Klasse „medium“ gemäß ISO 2768, d.h.:

- bis 6 mm: ±0,1 mm
- über 6 mm bis 30 mm: ±0,2 mm
- über 30 mm bis 120 mm: ±0,3 mm
- über 120 mm bis 400 mm: ±0,5 mm
- über 400 mm bis 1000 mm: ±0,8 mm

Untersetzungsverhältnis, *i*

Die angegebenen Verhältnisse sind lediglich Nennwerte; das genaue Verhältnis für jedes Untersetzungsgetriebe kann mit Hilfe des für jeden Typ geltenden Stufenverhältnisses berechnet werden[2].

Dauerabtriebsgeschwindigkeit, max. $v_{c\,max}$ [mm/s]

Bezeichnet die maximal zulässige Dauer-Lineargeschwindigkeit. Diese ergibt sich aus dem Produkt aus der empfohlenen maximalen Dauerdrehzahl und der Spindelsteigung.

$$v_{c\,max} = \frac{p \cdot n_{c\,max}}{60 \cdot i}$$

$v_{c\,max}$ = Dauerabtriebsgeschwindigkeit
$n_{c\,max}$ = Getriebe-Daereingangsdrehzahl, max
i = Untersetzungsverhältnis
p = Spindelsteigung

[2] Das Dokument „Linearaktuator, Untersetzungsverhältnisse“ enthält eine vollständige Liste der Nennuntersetzungsverhältnisse gegenüber dem Absolutwert.

Linearaktuatoren mit Getriebe

Technische Informationen

Spitzenabtriebsgeschwindigkeit, max. $v_{p\ max}$ [mm/s]

Bezeichnet die maximal zulässige Spitzen-Lineargeschwindigkeit. Diese ergibt sich aus dem Produkt aus der maximal zulässigen Spitzendrehzahl und der Spindelsteigung.

$$v_{p\ max} = \frac{p \cdot n_{p\ max}}{60 \cdot i}$$

$v_{p\ max}$ = Spitzenabtriebsgeschwindigkeit
$n_{p\ max}$ = Getriebe-Spitzeneingangsdrehzahl, max
i = Untersetzungsverhältnis
p = Spindelsteigung

Dauereingangsdrehzahl, max. $n_{c\ max}$ [min^{-1}]

Die empfohlene maximale Eingangsdrehzahl für den Dauerbetrieb dient als Richtwert. Der Linearaktuator mit Getriebe kann auch mit höheren Drehzahlen betrieben werden.

Um jedoch eine optimale Lebensdauer in Anwendungen zu erzielen, die einen Dauerbetrieb und eine lange Lebensdauer erfordern, sollte die empfohlene Drehzahl berücksichtigt werden.

Spitzeneingangsdrehzahl, max. $n_{p\ max}$ [min^{-1}]

Die Spitzen-Eingangslineargeschwindigkeit kann kurzzeitig verwendet werden. Sie sollte nur über kurze Intervalle hinweg genutzt werden und 20% der kontinuierlichen Einschaltdauer nicht überschreiten. Der Betrieb eines Linearaktuators mit Getriebe mit Lineargeschwindigkeiten, die über dem maximalen Spitzenwert liegen, wird nicht empfohlen, da dies die Lebensdauer erheblich verkürzt und in einigen Fällen zu Frühschäden mit abruptem Stillstand führen kann.

Kontinuierliche Axialkraft, Mittelwert $F_{m\ max}$ [N]

Bezeichnet die maximal empfohlene mittlere axiale Abtriebskraft im Dauerbetrieb. Der Linearaktuator mit Getriebe kann auch mit einer höheren mittleren axialen Abtriebskraft betrieben werden. Um eine optimale Lebensdauer zu erreichen, sollte jedoch der empfohlene Wert berücksichtigt werden.

Spitzenaxialkraft, dynamisch, max. $F_{p\ max}$ [N]

Bezeichnet die maximale empfohlene axiale Spitzenabtriebskraft während des Betriebs. Dieser Wert sollte in keiner Betriebsphase überschritten werden, damit eine optimale Lebensdauer erreicht wird.

Bitte beachten Sie, dass bei der Berechnung der einwirkenden Kräfte auch die Systemträgheit zu berücksichtigen ist; dieser Parameter ist insbesondere bei hochdynamischen Bewegungen von Bedeutung.

Spitzenaxialkraft, statisch, max. $F_{stat\ max}$ [N]

Maximal zulässige statische Axialkraft der Spindel. Dieser Wert darf weder während irgendeiner Betriebsphase noch im Stillstand erreicht werden, um dauerhafte Schäden am System zu vermeiden. Um eine Überschreitung der zulässigen Belastung zu vermeiden, ist gegebenenfalls der Motorstrom zu begrenzen.

Abtriebsleistung, max. $P_{out\ max}$ [N]

Bezeichnet die maximale empfohlene axiale Abtriebsleistung während des Betriebs. Dieser Wert sollte in keiner Betriebsphase überschritten werden, damit eine optimale Lebensdauer erreicht wird.

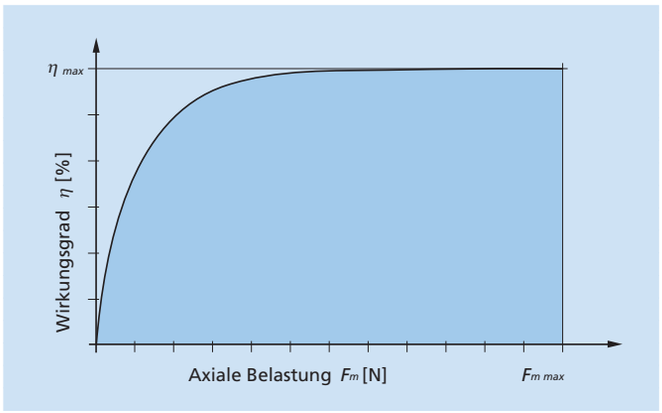
Wirkungsgrad Getriebe/Kupplung, max. $\eta_{g\ max}$ [%]

Der maximale Wirkungsgrad bezieht sich auf den Dauerbetrieb. Dieser Wert variiert je nach Anzahl der Stufen und kann auch vom Untersetzungsverhältnis abhängen. Der Getriebe-/Kupplungs-Wirkungsgrad ist abhängig vom Betriebspunkt.

Spindelwirkungsgrad, max. $\eta_{s\ max}$ [%]

Beschreibt das Verhältnis zwischen Leistungsaufnahme und Ausgangsleistung der Spindel bei der axialen Last $F_{m\ max}$.

Bitte beachten Sie die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Axiallast. Dies sollte insbesondere bei kleinen Axiallasten bei der Antriebsauswahl berücksichtigt werden; Arbeitspunkte mit hohem Wirkungsgrad sind zu bevorzugen.



Massenträgheit einschl. Spindel, max. J [gmm^2]

Anhand des maximalen Eingangs-Trägheitsmoments kann das Drehmoment bestimmt werden, das erforderlich ist, um eine bestimmte Beschleunigung des Systems zu gewährleisten, typischerweise für Positionierungsanwendungen mit hoher Dynamik. Dieser Trägheitswert bezieht sich auf den Linearaktuatoreingang an der Motorabtriebswelle einschließlich des Motorritzels. Dieser Wert ist abhängig von der Getriebekonfiguration (z.B. der Anzahl der Planetenräder), der Anzahl der Stufen und der gewählten Spindel. Der angegebene Wert ist der maxi-

male Wert unter Berücksichtigung der verschiedenen möglichen Konfigurationen des Getriebes, wobei für die Spindel eine Standardlänge zugrunde gelegt wurde.

Genauigkeit, Spindel-Standardlänge, max. σ_a [µm]
Bezeichnet die maximale mechanische Positioniergenauigkeit des Linearaktuators mit Getriebe und Standardspindel. Diese ergibt sich aus der Spindelgenauigkeit, dem Mutter-Axialspiel und dem Kupplungs-Getriebe-Spiel.

Radiale Last, max. (15 mm vom Flansch) [N]
Die maximale Spindelbelastung gibt die maximale dynamische Belastung (bei rotierender Spindel) an, die radial in einem bestimmten Abstand vom Abtriebsflansch aufgebracht werden kann und die das Kugellagersystem ohne Beeinträchtigung der Lebensdauer aufnehmen kann. Falls die Radiallast in einem anderen Abstand angelegt wird, sollte dieser Wert entsprechend hochgerechnet werden.

Getriebespiel, lastfrei, typisch [°]
Das Spiel entspricht dem Winkelspiel, das entsteht, wenn die Getriebe-/Kupplungs-Abtriebswelle bei fixiertem Getriebeeingang ohne Last gedreht wird. Dieses Winkelspiel berücksichtigt den Winkel zwischen den beiden Endpositionen der Abtriebswelle im und gegen den Uhrzeigersinn, ohne dass ein Drehmoment aufgebracht wird.

Radialspiel, Spindel, 10 mm vom Flansch [mm]
Das Radialspiel ist das maximale Maß, um das sich die Spindel radial bewegen kann, wenn sie in einem bestimmten Abstand vom vorderen Flansch gemessen wird, wobei die elastische Verformung des Systems nicht berücksichtigt wird.

Die Messung des Radialspiels hängt von der Messposition entlang der Spindel ab und von der für die Messung aufgewendeten Kraft.

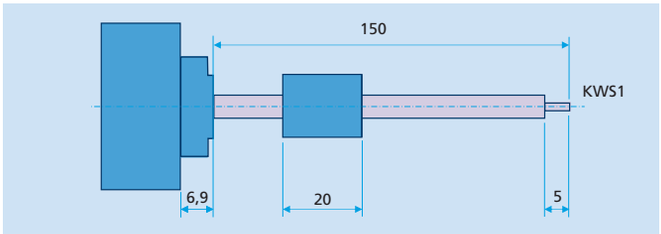
Spindel-Axialspiel [mm]
Das Axialspiel der Spindel ist der maximale Weg, den die Spindel in axialer Richtung zurücklegt, wenn sie gegen die Innen-/Außenseite des Getriebes/der Kupplung gedrückt oder gezogen wird. Der Wert des Axialspiels hängt vom Kugellagersystem und der jeweiligen Vorspannung ab. Für das Axialspiel wird angenommen, dass die im Datenblatt angegebene maximale statische Spitzenaxialkraft nicht überschritten wird. Die elastische Verformung des Systems wurde nicht berücksichtigt.

Bitte beachten Sie, dass der in der Zeichnung angegebene Rundlauf ohne das Radialspiel gemessen wurde.

Muttern-Axialspiel [mm]
Maximale axiale Verschiebung der Spindelmutter im Verhältnis zur Spindel, wenn diese nicht gegeneinander verdreht sind.

Spindellänge vom Flansch, Standard [mm]
Bezeichnet die Länge der Spindel zwischen der Gehäusevorderseite und dem Spindelende.

Als Beispiel für einen 22L ML 150 KWS1, das Gewinde ist: 150 - 6,9 - 5 = 138,1 mm. Daher ist der maximale Hub: 138,1 - 20 = 118,1 mm; ohne Tolleranzen.



Hinweis: Die Mutter der Kugelumlaufspindel darf nicht über den Gewindeteil hinauslaufen oder von der Spindel entfernt werden, da sonst eine erneute Montage unmöglich ist.

Spindellänge vom Flansch, max. [mm]
Abweichende Spindellängen können in 5mm-Schritten bestellt werden bis zum angegebenen Maximalwert.

Beachten Sie, dass eine Änderung der Spindellänge Auswirkungen auf mehrere Parameter wie etwa die kritische Geschwindigkeit und die Knicklast hat.

Masse [g]
Die durchschnittliche Masse des Linearaktuators mit Getriebe einschließlich der Spindel in Standardlänge.

Spindeltyp

- **Durchmesser (Ø) [mm]**
  Für die Bezeichnung verwendeter Nenndurchmesser.
- **Gewindesteigung *p* [mm]**
  Axiale Verschiebung bei einer Drehung der Kugelumlaufspindel um 360° relativ zur Kugelgewindemutter. Beachten Sie, dass bei einer eingängigen Spindel die Gewindesteigung der Steigung entspricht, d.h. dem Abstand zwischen den Schraubengängen.
- **Spindelgenauigkeit (nur Kugelumlaufspindel)**
  Genauigkeitsklasse gemäß ISO ISO 3408-3.

Die folgenden internationalen Normen finden Anwendung:

- Kugelumlaufspindeln (SB/PB): DIN ISO 3408.
- Gewindespindeln: Metrisches Gewinde (ML), DIN 13. Trapezgewinde (TL), DIN 103.

Spindelmaterial
Das Spindelmaterial und die Oberflächenbehandlung der Standardkonfiguration.

Linearaktuatoren mit Getriebe

Technische Informationen

Muttermaterial

Das Muttermaterial der Standardkonfiguration; andere Materialien sind als Option erhältlich.

Getriebegehäusematerial

Das Gehäusematerial und die Oberflächenbehandlung der Standardkonfiguration.

Zahnradmaterial

Das Zahnradmaterial der Standardkonfiguration.

Lager am Abtriebsflansch

Das Lagersystem am Abtriebsflansch.

Betriebstemperaturbereich [°C]

Standardbereich gemäß den Angaben im Datenblatt.

Kritische Geschwindigkeit [mm/s]

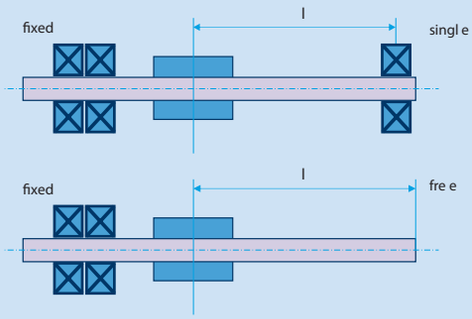
Die kritische Geschwindigkeit ist erreicht, wenn die Drehfrequenz der Spindel gleich ihrer ersten Eigenfrequenz ist, was zu Resonanzschwingungen führt.

Die kritische Geschwindigkeit ist abhängig von der Spindelgeometrie und der Art der Lagerung gemäß der nachstehenden Formel, wobei auch ein Sicherheitsfaktor zur Berücksichtigung anderer Einflussfaktoren, wie z.B. der Ausrichtung in der Endmontage, eingerechnet wird.

Um jedes Risiko einer Beschädigung des Systems zu vermeiden, darf die kritische Geschwindigkeit in keiner Betriebsphase erreicht werden.

$$n_{cr} = k \cdot 10^6 \cdot \frac{d_r}{l^2_{max}} \cdot S$$

$$v_{cr} = \frac{p \cdot n_{s_crit}}{60}$$



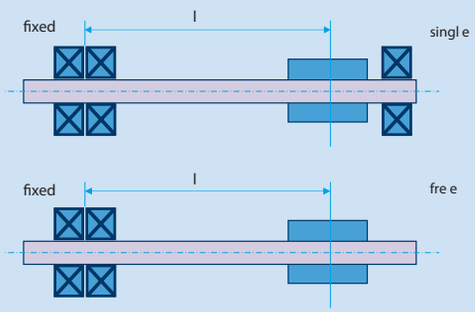
n_{cr} = kritische Spindeldrehzahl
k = Lagerungskonstante (fest - einfach = 190; fest - frei = 43)
d_r = Durchmesser an der Spindelwurzel
l^2_{max} = maximale Hublänge
S = Sicherheitsfaktor (typisch 0,8)
p = Spindelsteigung

Knickkraft [N]

Wird die Spindel mit einer axialen Druckkraft belastet, kann sie sich dauerhaft verformen und schließlich brechen (knicken). Die maximale Druckkraft hängt von der Geometrie der Spindel und der Art der Lagerung gemäß der nachstehenden Formel ab.

Da das Knicken ein irreversibles Ereignis ist, wird auch ein Sicherheitsfaktor berücksichtigt.

$$F_b = k_b \cdot \frac{(d_r)^4}{l^2_{max}} \cdot S \cdot 10^3$$



F_b = maximal zulässige Kraft zur Vermeidung von Knicken
k_b = Konstante je nach Lagerungsart (fest - einfach = 200; fest - frei = 25)
d_r = Durchmesser an der Spindelwurzel
l^2_{max} = maximale Hublänge
S = Sicherheitsfaktor (typisch 0,5)

Länge ohne Motor L2 [mm]

Die im Datenblatt angegebene Länge L2 ohne Motor ist die Länge der eigenständigen Getriebe-Kupplungs-Einheit ohne Adapterflansch und Spindel.

Länge mit Motor L1 [mm]

Die Länge L1 mit Motor ist die Gesamtlänge der Kombination einschließlich Motor, aber ohne Adapterflansch und Spindel.

Auswahl eines Linearaktuators mit Getriebe

Unser Faulhaber-Online-Tool zur Antriebsauswahl hilft Ihnen, die richtige Lösung für Ihre spezielle Anwendung und Ihre Anforderungen zu finden.

In diesem Abschnitt wird ein grundlegendes Verfahren für die Auswahl eines Linearaktuators für eine Anwendung unter konstanten Umgebungsbedingungen beschrieben.

Anwendungsdaten:

Spindeltyp	Kugelumlaufspindel / Gewindespindel	
Hublänge	*l*	[mm]
Spindel gelagert	ja/nein	
Max. Durchmesser	Ø	[mm]
Max. Antriebslänge	L1	[mm]
Geforderte Kräfte	$F_1 \ldots F_n$	[N]
Geforderte Geschwindigkeiten	$v_1 \ldots v_n$	[mm/s]
Zyklus	$t_1 \ldots t_n$	[s]

Die für das gewählte Beispiel angenommenen Anwendungsdaten lauten wie folgt:

Spindeltyp	Kugelumlaufspindel	
Hublänge	150	[mm]
Spindel gelagert	ja	
Max. Durchmesser	22	[mm]
Max. Antriebslänge	beliebig	[mm]
Geforderte Kräfte	100 – 0 – 30	[N]
Geforderte Geschwindigkeiten	50 – 0 – 50	[mm/s]
Zyklus	3 – 1 – 3	[s]

Beachten Sie, dass in diesem Beispiel Standardanwendungsparameter zugrunde gelegt wurden. Es können aber auch andere Einschränkungen relevant sein, so z.B. die Systemgenauigkeit, der Temperaturbereich und die verwendeten Materialien.

Vorauswahl

1. Mechanische Anforderungen

Je nach den Anforderungen der Anwendung kann zunächst eine Filterung der verfügbaren Produkte vorgenommen werden, indem der Spindeltyp und der verfügbare Platz abgefragt werden.

Das obige Beispiel bezieht sich auf einen Linearaktuator mit Getriebe, Kugelumlaufspindel und einem maximalen Durchmesser von 22 mm, daher wurde die Ausführung **22L SB xx:1 6x2 150** gewählt.

2. Lineargeschwindigkeit

Der zweite Schritt besteht in der Prüfung, ob die geforderten Kräfte und Geschwindigkeiten von allen verfügbaren Spindeln erreicht werden können.

a) Kritische Geschwindigkeit über der geforderten maximalen Geschwindigkeit.

Überprüfen Sie im Datenblatt-Diagramm die tatsächliche kritische Spindelgeschwindigkeit (v_{cr_std}) entsprechend dem Spindel-Lagerungssystem (fest - frei oder fest - einfach).

Falls die Hublänge vom Standard abweicht, kann die tatsächliche v_{cr} anhand folgender Formel ermittelt werden:

$$v_{cr_l} = v_{cr_std} \frac{l_{std}^2}{l_s^2}$$

In unserem Beispiel wird die gelagerte Ausführung **22L SB xx:1 6x2 150** (fest - einfach) betrachtet:

$$v_{cr_l} = v_{cr_std} = 690 \text{ mm/s}$$

Vergewissern Sie sich, dass die kritische Geschwindigkeit über der maximalen Zyklusgeschwindigkeit liegt, d.h. dass kein Resonanzproblem auftritt:

$$v_{cr_l} > v_{max}$$

In unserem Beispiel ist die Anforderung erfüllt, da:

$$v_{cr_l} = 690 \text{ mm/s} > v_{max} = 50 \text{ mm/s}$$

b) Spitzenabtriebsgeschwindigkeit, max. $v_{p\,max}$ über der geforderten Maximalgeschwindigkeit.

Kontrollieren Sie für jedes verfügbare Untersetzungsverhältnis, ob die geforderte maximale Geschwindigkeit unter dem angegebenen Grenzwert[3] liegt:

$$v_{p\,max} \geq v_{max}$$

In unserem Beispiel für die Ausführung **22L SB xx:1 6x2 150** sind alle Verhältnisse > 6,6:1 auszuschließen.

c) Dauerabtriebsgeschwindigkeit, max. $v_{c\,max}$ über der geforderten mittleren Geschwindigkeit.

Die mittlere Abtriebsgeschwindigkeit kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$v_m = \sum_1^n v_j \cdot \frac{t_j}{t_{tot}}$$

In unserem Beispiel werden die Zyklus-Eingangsdaten berücksichtigt:

$$v_m = \frac{(50 \cdot 3 + 0 \cdot 1 + 50 \cdot 3)}{7} = 42{,}9 \text{ mm/s}$$

[3] Für jede Antriebsstufe können dem Datenblatt die maximale Abtriebsgeschwindigkeit und der maximale Dauerkraftbereich entnommen werden. Im Dokument „Linearaktuator, Untersetzungsverhältnisse“ finden Sie außerdem eine vollständige Liste der Geschwindigkeiten und Kräfte in Abhängigkeit vom Untersetzungsverhältnis.

Kontrollieren Sie für jedes verfügbare Untersetzungsverhältnis, ob die geforderte mittlere Geschwindigkeit unter dem angegebenen Grenzwert[3] liegt:

$$v_{c\,max} > v_m$$

In unserem Beispiel für die Ausführung 22L SB sind alle Verhältnisse > 6,6:1 auszuschließen (bereits in Punkt b geschehen).

3. Axialkraft

Der nächste Schritt besteht in der Überprüfung, ob die verbleibenden Linearaktuatorkonfigurationen die erforderlichen Kräfte aufnehmen können.

a) Knickkraft über der geforderten Maximalkraft.

Prüfen Sie im Datenblatt-Diagramm die tatsächliche Knickkraft der Spindel (F_{b_std}) entsprechend dem Spindel-Lagerungssystem (fest - frei oder fest - einfach). Falls die Hublänge von der Norm abweicht, wird der tatsächliche Wert von F_b nach folgender Formel berechnet:

$$F_{b_l} = F_{b_std} \cdot \frac{l_{std}^2}{l_s^2}$$

In unserem Beispiel wird die gelagerte Ausführung 22L SB (fest - einfach) betrachtet:

$$F_{b_l} = F_{b_std} = 2562\ \text{N}$$

Vergewissern Sie sich, dass die Knickkraft über der maximalen Zykluskraft liegt, d.h., dass keine Knickprobleme auftreten werden:

$$F_{b_l} > F_{max}$$

In unserem Beispiel ist die Anforderung erfüllt, da:

$$F_{b_l} = 2562\ \text{N} > F_{max} = 100\ \text{N}$$

b) Spitzenaxialkraft max. $F_{p\,max}$ über der geforderten Maximalkraft.

Kontrollieren Sie für jedes verfügbare Untersetzungsverhältnis, ob die geforderte maximale Axialkraft unter dem angegebenen Grenzwert[3] liegt:

$$F_{p\,max} \geq F_{max}$$

In unserem Beispiel ist die Anforderung für alle Verhältnisse erfüllt.

c) Kontinuierliche Axialkraft max. $F_{m\,max}$ über der geforderten mittleren Kraft

Die mittlere Ausgangskraft kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$F_m = \sqrt[3]{\sum_1^n \frac{F_j^3 \cdot n_j \cdot \frac{t_1}{t_{tot}}}{n_m}}$$

In unserem Beispiel werden die Zyklus-Eingangsdaten berücksichtigt:

$$F = \sqrt[3]{\frac{100^3 \cdot \frac{50 \cdot 60}{2} \cdot \frac{3}{7} + 0 + 30^3 \cdot \frac{50 \cdot 60}{2} \cdot \frac{3}{7}}{\frac{42{,}9 \cdot 60}{2}}} = 80{,}1\ \text{N}$$

Kontrollieren Sie für jedes verfügbare Untersetzungsverhältnis, ob die geforderte mittlere Kraft unter dem angegebenen Grenzwert[3] liegt:

$$F_{m\,max} \geq F_m$$

In unserem Beispiel ist die Anforderung für alle Verhältnisse erfüllt.

Zu beachten ist, dass der Linearaktuator mit Getriebe auch mit einer höheren mittleren axialen Axialkraft betrieben werden kann. Um eine optimale Lebensdauer zu erreichen, sollte jedoch der empfohlene Wert berücksichtigt werden.

4. Leistung

Der letzte Schritt besteht in der Überprüfung, ob der Linearaktuator die erforderliche Ausgangsleistung liefern kann.

a) Ausgangsleistung, max. P_{max} über der geforderten maximalen mechanischen Leistung.

Für jeden Zyklusschritt kann die mechanische Leistung nach folgender Formel berechnet werden:

$$P_j = \frac{v_j \cdot F_j}{1000}$$

[3] Für jede Antriebsstufe können dem Datenblatt die maximale Abtriebsgeschwindigkeit und der maximale Dauerkraftbereich entnommen werden. Im Dokument „Linearaktuator, Untersetzungsverhältnisse“ finden Sie außerdem eine vollständige Liste der Geschwindigkeiten und Kräfte in Abhängigkeit vom Untersetzungsverhältnis.

Für jede Linearaktuatorstufe muss der Maximalwert unter dem vorgegebenen Grenzwert liegen:

$$P_{out_max} \geq P_m$$

In unserem Beispiel beträgt die maximale Leistung

$$P_m = \frac{50 \cdot 100}{1000} = 5\ \text{W}$$

Daher müssen Konfigurationen mit 4 Stufen ausgeschlossen werden.

Anhand der obigen Vorauswahl kann eine Teilmenge der möglichen Konfigurationen ausgewählt werden.

Im Beispiel oben erfüllen die folgenden Konfigurationen die Anforderungen der Anwendung:

- 22L SB 1:1 6x2 150
- 22L SB 3:1 6x2 150
- 22L SB 3,6:1 6x2 150
- 22L SB 4,5:1 6x2 150
- 22L SB 6,6 6x2 150

Berechnung der Eingangsdaten: Drehzahl und Drehmoment

Für jede der verfügbaren Lösungen müssen die Eingangsdrehzahl und das Eingangsdrehmoment nach den folgenden Formeln berechnet werden:

$$M_{in_j} = \frac{F_j \cdot p \cdot 100}{2\pi\eta_{screw}} \cdot \frac{100}{i \cdot \eta_{coupler}} \quad [\text{mNm}]$$

F_j = Geforderte Kraft bei Schritt „j" des Zyklus [N]
η_{screw} = Spindelwirkungsgrad [%]
$\eta_{coupler}$ = Kupplungswirkungsgrad [%]
p = Spindelsteigung [mm]

$$n_{in_j} = \frac{60 \cdot i \cdot v_j}{p} \quad [\text{min}^{-1}]$$

v_j = Geforderte Spindelausgangsgeschwindigkeit bei Schritt „j" des Zyklus [mm/s]
i = Untersetzungsverhältnis
p = Spindelsteigung [mm]

In unserem Beispiel haben das Drehmoment und die Drehzahl am Eingang von **22L SB 1:1 6x2 150** während des Zyklus folgende Werte:

Geforderte Drehmoment	37,2 – 0 – 11,2	[mNm]
Geforderte Drehzahl	1500 – 0 – 1500	[min^{-1}]
Zyklus	3 – 1 – 3	[s]

Die Auswahl des Motors kann dann anhand der entsprechenden technischen Informationen für jede Motorenfamilie erfolgen.

Beachten Sie, dass die obige Berechnung nur dazu dient, eine schnelle Abschätzung möglicher Lösungen vorzunehmen. Andere Motorparameter könnten für die richtige Auswahl des Antriebs ebenfalls relevant sein, beispielsweise:

- Systemträgheit, die bei hochdynamischen Anwendungen relevant sein kann,
- lineare Bewegungsrichtung; bei einer nicht horizontalen Bewegung muss auch die Gravitationskraft berücksichtigt werden,
- Drehmoment im Fall einer vorgespannten Mutter.

Außerdem sollte ein ausreichend leistungsfähiger Motor gewählt werden, um zu vermeiden, dass der Motor auf eine zu hohe konstante Temperatur gebracht wird. Bei dieser hohen Temperatur würde zusätzliche Wärme auf den Linearaktuator mit Getriebe übertragen, was die Wirksamkeit des Schmierstoffs vorzeitig verringern und die Lebensdauer der Gerätekombination verkürzen würde.

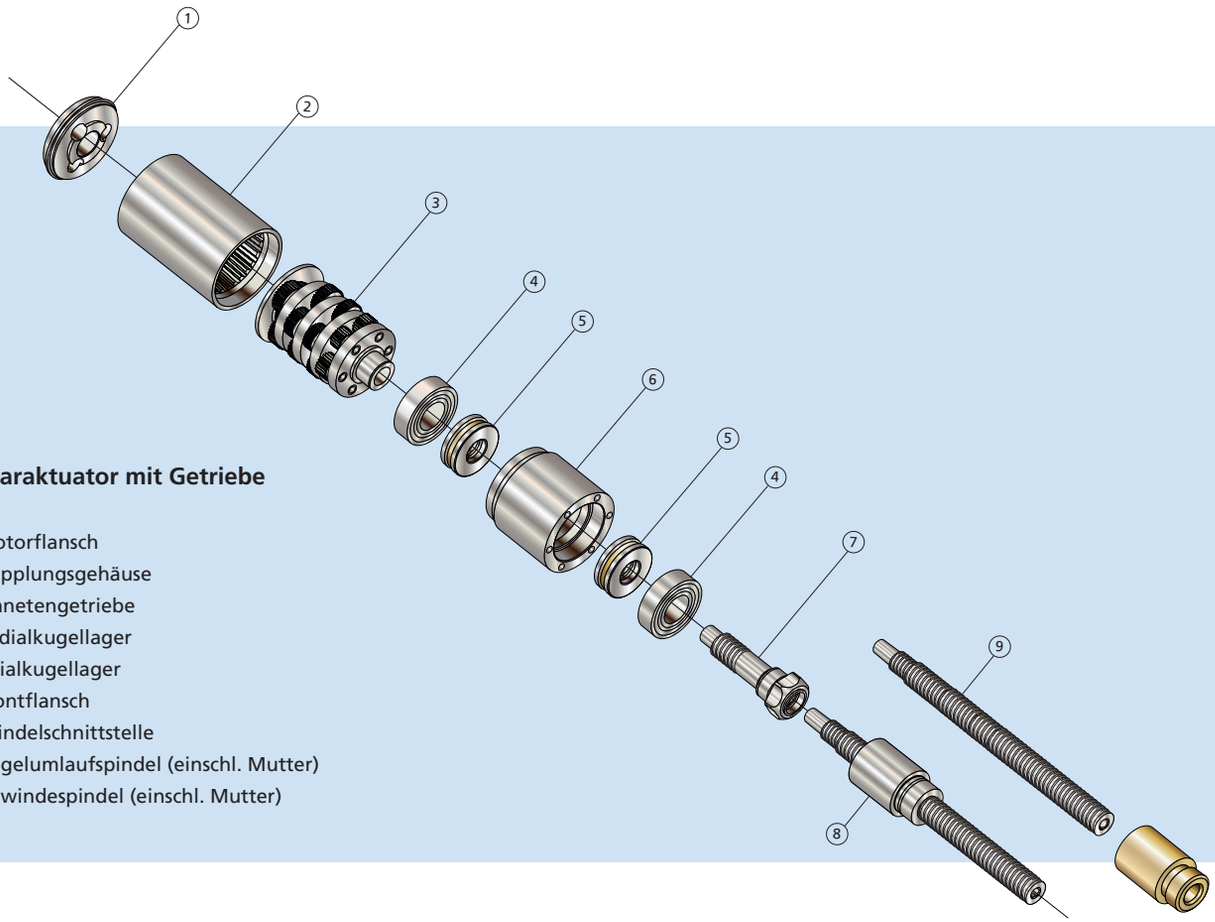
Generell sollte zur Erzielung einer langen Lebensdauer sichergestellt werden, dass der Motor im Dauerbetrieb eine Temperatur von 60°C bis 70°C nicht überschreitet. Bei diesen Motortemperaturen wird eine vorzeitige Verschlechterung der Eigenschaften des Schmierstoffs verhindert.

Die Ergebnisse können auch mit den Vorschlägen unseres FAULHABER online Drive Selection Tools abgeglichen werden.

Unsere Vertriebsingenieure können Ihnen auch helfen, Ihre Auswahl zu bestätigen oder die richtige Lösung für Ihre Anwendung zu finden, wobei auch besondere Anforderungen wie etwa spezielle Umgebungsbedingungen, mechanische Einschränkungen usw. berücksichtigt werden.

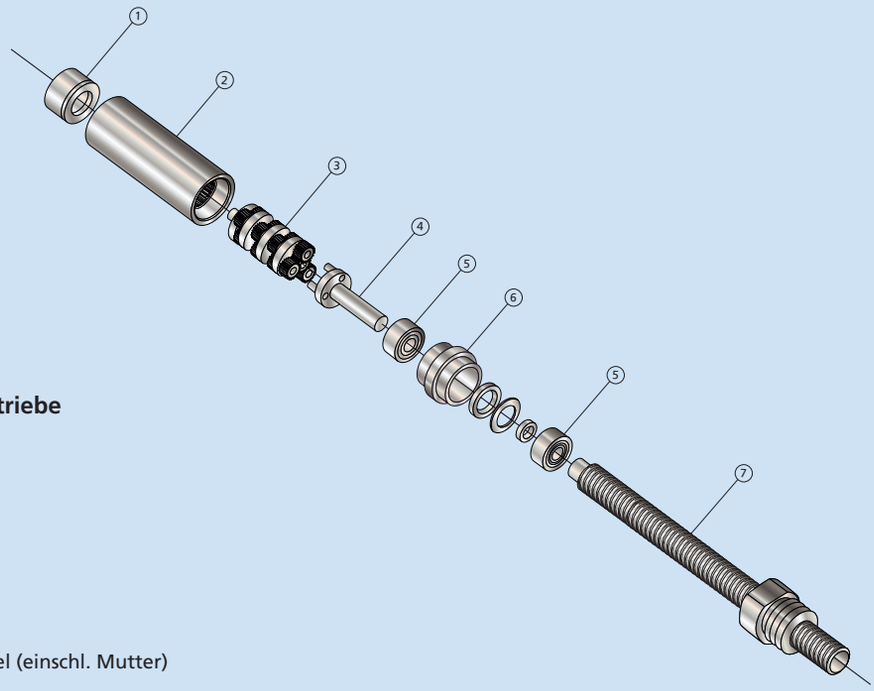
Linearaktuatoren mit Getriebe

Prinzipieller Aufbau



Linearaktuator mit Getriebe

① Motorflansch
② Kupplungsgehäuse
③ Planetengetriebe
④ Radialkugellager
⑤ Axialkugellager
⑥ Frontflansch
⑦ Spindelschnittstelle
⑧ Kugelumlaufspindel (einschl. Mutter)
⑨ Gewindespindel (einschl. Mutter)



Linearaktuator mit Getriebe

① Motorflansch
② Kupplungsgehäuse
③ Planetengetriebe
④ Abtriebswelle
⑤ Kugellager
⑥ Frontflansch
⑦ Standard-Gewindespindel (einschl. Mutter)

FAULHABER

Mehr Informationen

faulhaber.com

faulhaber.com/facebook

faulhaber.com/youtube

faulhaber.com/linkedin

faulhaber.com/instagram

Version:
18. Auflage, 2025

Copyright
by Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG
Daimlerstr. 23 / 25 · 71101 Schönaich

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, vorbehalten. Ohne vorherige ausdrückliche schriftliche Genehmigung der Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG darf kein Teil dieser Beschreibung vervielfältigt, reproduziert, in einem Informationssystem gespeichert oder verarbeitet oder in anderer Form weiter übertragen werden.

Dieses Dokument wurde mit Sorgfalt erstellt.
Die Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG übernimmt jedoch für eventuelle Irrtümer diesem Dokument und deren Folgen keine Haftung. Ebenso wird keine Haftung für direkte Schäden oder Folgeschäden übernommen, die sich aus einem unsachgemäßen Gebrauch der Produkte ergeben.

Änderungen vorbehalten. Die jeweils aktuelle Version dieses Dokuments finden Sie auf der Internetseite von FAULHABER: **www.faulhaber.com**

DFF_TI_05-2023_DE

FAULHABER GROUP