

DIN ISO 3408-5

**DIN**

ICS 25.060.99

**Kugelgewindetriebe –  
Teil 5: Statische und dynamische axiale Tragzahl und Lebensdauer  
(ISO 3408-5:2006)**

Ball screws –  
Part 5: Static and dynamic axial load ratings and operational life (ISO 3408-5:2006)

Vis à billes –  
Partie 5: Charges axiales statiques et dynamiques de base et durée de vie  
(ISO 3408-5:2006)

Gesamtumfang 19 Seiten

Normenausschuss Werkzeugmaschinen (NWM) im DIN



## Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort .....	3
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise.....	3
1 Anwendungsbereich.....	4
2 Normative Verweisungen .....	4
3 Begriffe.....	4
4 Symbole und Indizes .....	5
4.1 Symbole .....	5
4.2 Indizes .....	7
5 Axiale Tragzahl.....	7
5.1 Statische axiale Tragzahl, $C_{0a}$ .....	7
5.2 Dynamische axiale Tragzahl, $C_a$ .....	8
6 Modifizierte axiale Tragzahl .....	9
6.1 Modifizierte statische axiale Tragzahl, $C_{0am}$ .....	9
6.1.1 Grundgleichung .....	9
6.1.2 Korrekturfaktor für die Oberflächenhärte, $f_{h0}$ .....	9
6.1.3 Korrekturfaktor für die Toleranzklassen, $f_{ac}$ .....	9
6.2 Modifizierte dynamische axiale Tragzahl, $C_{am}$ .....	9
6.2.1 Grundgleichung .....	9
6.2.2 Korrekturfaktor für die Oberflächenhärte, $f_h$ .....	9
6.2.3 Korrekturfaktor für die Toleranzklassen, $f_{ac}$ .....	9
6.2.4 Korrekturfaktor für den Einfluss des Verfahrens zur Stahlerschmelzung, $f_m$ .....	10
7 Lebensdauer .....	10
7.1 Berechnung der äquivalenten Drehzahl und äquivalenten Belastung.....	10
7.1.1 Allgemein .....	10
7.1.2 Kugelgewindetrieb mit Axialspiel zwischen Kugelgewindemutter und Kugelgewindespindel .....	11
7.1.3 Kugelgewindetrieb mit auf der Kugelgewindespindel vorgespannten Kugelgewindemuttern (siehe Bild 6) .....	13
7.2 Nominelle Lebensdauer $L$ oder $L_h$ .....	17
7.2.1 Kugelgewindetrieb mit Axialspiel zwischen Kugelgewindemutter und Kugelgewindespindel .....	17
7.2.2 Kugelgewindetrieb mit vorgespannten Kugelgewindemuttern auf der Kugelgewindespindel .....	17
7.2.3 Resultierende Lebensdauer, $L_r$ .....	17
7.2.4 Berechnung der nominellen Lebensdauer $L_{ar}$ oder $L_{har}$ unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors für die Zuverlässigkeit, $f_{ar}$ (siehe Tabelle 3) .....	17
7.3 Modifizierte Lebensdauer $L_m$ oder $L_{hm}$ .....	18
7.3.1 Kugelgewindetrieb mit Axialspiel zwischen Kugelgewindemutter und Kugelgewindespindel .....	18
7.3.2 Kugelgewindetriebe mit vorgespannten Kugelgewindemuttern auf der Kugelgewindespindel .....	18
7.3.3 Modifizierte resultierende Lebensdauer, $L_{mr}$ .....	19
7.3.4 Modifizierte Lebensdauer $L_{mar}$ oder $L_{hmar}$ unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors für den Einfluss der Zuverlässigkeit, $f_{ar}$ (siehe Tabelle 3).....	19

## Nationales Vorwort

ISO 3408-5 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 39 „Machine tools“, Working Group 7 „Ball screws“ unter Mitwirkung deutscher Fachleute des Normenausschusses Werkzeugmaschinen (NWM) im DIN erstellt.

Die ISO 3408 besteht unter dem Haupttitel *Ball screws* aus folgenden Teilen:

- *Part 1: Vocabulary and designation*
- *Part 2: Nominal diameters and nominal leads — Metric series*
- *Part 3: Acceptance conditions and acceptance tests*
- *Part 4: Static axial rigidity*
- *Part 5: Static and dynamic axial load ratings and operational life*

Für die im Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechende Deutsche Norm hingewiesen:

ISO 3408-1 siehe DIN ISO 3408-1

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

DIN ISO 3408-1, *Kugelgewindetriebe — Teil 1: Begriffe und Bezeichnungssystem (ISO 3408-1:2006)*

# Kugelgewindetriebe — Teil 5: Statische und dynamische axiale Tragzahl und Lebensdauer

## 1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der ISO 3408 gibt Berechnungsschemata für statische und dynamische Belastungen und Betriebslebensdauer an, um vergleichbare Werte für die Konstruktion und Verwendung von Kugelgewindetrieben zu erhalten.

ANMERKUNG Die Berechnungen basieren hauptsächlich auf Publikationen von Prof. G. Lundberg und A. Palmgren (Acta Politechnica — mech. Eng. series Vol. I No. 3, Stockholm, Sweden, Teil 7 — 1947).

Dieser Teil der ISO 3408 ist unter folgenden Voraussetzungen anwendbar:

- elastische Verformung der Kugel und der Laufbahn;
- die Oberflächenhärte der Kugellaufbahn übersteigt grundsätzlich HRC 58;
- Schmiegun $g f_{rs}$  und  $f_{rn} > 0,5$ ;
- die Qualität des Stahles aus dem der Kugelgewindetrieb hergestellt ist; ist äquivalent zum Stahl der Kugellager oder einer ähnlichen Legierung;
- optimale Schmierung ist immer gewährleistet.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 3408-1, *Ball screws — Part 1: Vocabulary and designation*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung in diesem Dokument gelten die Begriffe nach ISO 3408-1.

## 4 Symbole und Indizes

### 4.1 Symbole

Symbol	Beschreibung	Einheit
$\alpha$	Kontaktwinkel zwischen Kugel und Laufbahn	Grad, °
$\gamma$	Geometriefaktor	–
$\varphi$	Steigungswinkel	Grad, °
$\rho_{11}, \rho_{12}, \rho_{21}, \rho_{22}$	Reziproke Krümmungsradien	mm <sup>-1</sup>
$\Delta l$	Axiale Kugel-/Kugellaufbahnverformung	µm
$C_a$	Dynamische axiale Tragzahl	N
$C_{am}$	Modifizierte dynamische axiale Tragzahl	N
$C_i$	Dynamische axiale Tragzahl des Kugelgewindetriebes pro tragendem Umlauf	N
$C_n$	Dynamische axiale Tragzahl der Kugelgewindemutter pro tragendem Umlauf	N
$C_s$	Dynamische axiale Tragzahl der Kugelgewindespindel pro tragendem Umlauf	N
$C_{0a}$	Statische axiale Tragzahl	N
$C_{0am}$	Modifizierte statische axiale Tragzahl	N
$D_{pw}$	Kugelmittendurchmesser	mm
$D_w$	Kugeldurchmesser	mm
$f_{ac}$	Korrekturfaktor für den Einfluss der Toleranzklassen	–
$f_{ar}$	Korrekturfaktor für den Einfluss der Zuverlässigkeit	–
$f_c$	Korrekturfaktor für den Einfluss der Geometrie	–
$f_h$	Korrekturfaktor für den Einfluss der Oberflächenhärte bei dynamischer axialer Belastung	–
$f_{h0}$	Korrekturfaktor für den Einfluss der Oberflächenhärte bei statischer axialer Belastung	–
$f_m$	Korrekturfaktor für den Einfluss des Verfahrens zur Stahlerschmelzung	–
$f_{op}$	Korrekturfaktor für das Nachlassen der Vorspannung während der Lebensdauer	–
$f_{rn}$	Schmiegung, Verhältnis des Kugellaufbahnradius der Kugelgewindemutter zum Nenndurchmesser der Kugel	–
$f_{rs}$	Schmiegung, Verhältnis des Kugellaufbahnradius der Kugelgewindespindel zum Nenndurchmesser der Kugel	–
$f_1, f_2, f_3$	Geometriefaktoren	–
$F$	Axiale Belastung, Kraft	N
$F_a$	Tatsächliche axiale Belastung	N

Symbol	Beschreibung	Einheit
$F_{lim}$	Äußere axiale Belastung (Grenzlast), bei der bei einem verspannten Mutternsystem der Kugelkontakt zwischen Kugelgewindespindel und Kugelgewindemutter im entlasteten Bereich der Kugelgewindemutter verloren geht	N
$F_m$	Äquivalente dynamische axiale Belastung	N
$F_{ma}$	Tatsächliche äquivalente dynamische axiale Belastung	N
$F_{pr}$	Vorspannkraft	N
$i$	Anzahl der tragenden Umläufe	–
$k_0$	Kennwert für die statische axiale Tragzahl	–
$L$	Lebensdauer	Umdrehungen
$L_{ar}$	Lebensdauer mit Korrekturfaktor für den Einfluss der Zuverlässigkeit	Umdrehungen
$L_h$	Lebensdauer als Betriebszeit	h
$L_{har}$	Lebensdauer als Betriebszeit mit Korrekturfaktor für den Einfluss der Zuverlässigkeit	h
$L_{hm}$	Modifizierte Lebensdauer als Betriebszeit	h
$L_{hmar}$	Modifizierte Lebensdauer als Betriebszeit mit Korrekturfaktor für den Einfluss der Zuverlässigkeit	h
$L_m$	Modifizierte Lebensdauer	Umdrehungen
$L_{mar}$	Modifizierte Lebensdauer mit Korrekturfaktor für den Einfluss der Zuverlässigkeit	Umdrehungen
$L_{mr}$	Resultierende modifizierte Lebensdauer	Umdrehungen
$L_r$	Resultierende Lebensdauer	Umdrehungen
$n$	Drehzahl	$mm^{-1}$
$n_m$	Äquivalente Drehzahl	$mm^{-1}$
$P_h$	Steigung	mm
$q$	Zeitanteil	%
$r_h$	Kugellaufbahnradius der Kugelgewindemutter	mm
$r_s$	Kugellaufbahnradius der Kugelgewindespindel	mm
$z_l$	Anzahl der tragenden Kugeln pro Umlauf	–
$z_u$	Anzahl der unbelasteten Kugeln im Kugelrückführsystem (nur für Systeme, bei denen die Kugeln nach einem Umlauf zurückgeführt werden)	–

## 4.2 Indizes

Symbol	Beschreibung
j	Anzahl der axialen Belastungen
1	Bezogen auf Lastrichtung 1
2	Bezogen auf Lastrichtung 2
(1)	Bezogen auf Kugelgewindemutter 1
(2)	Bezogen auf Kugelgewindemutter 2

## 5 Axiale Tragzahl

### 5.1 Statische axiale Tragzahl, $C_{0a}$

Die statische axiale Tragzahl ist aus den folgenden Gleichungen berechnet:

$$C_{0a} = k_o \cdot z_l \cdot i \cdot \sin \alpha \cdot D_w^2 \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

$$z_l = \left( \frac{D_{pw} \cdot \pi}{\cos \varphi \cdot D_w} - z_u \right)_{\text{integer}} \quad (2)$$

$$\varphi = \arctan \left( \frac{F_h}{\pi \cdot D_{pw}} \right) \quad (3)$$

$$k_o = \frac{27,74}{D_w \cdot \sqrt{(\rho_{11} + \rho_{12}) \cdot (\rho_{21} + \rho_{22})}} \quad (4)$$

$$\rho_{11} = \rho_{21} = \frac{2}{D_w} \quad (5)$$

$$\rho_{12} = \frac{-1}{f_{rs} \cdot D_w} \quad (6)$$

$$\rho_{22} = \frac{\cos \alpha}{\frac{D_{pw}}{2} - \cos \alpha \cdot \frac{D_w}{2}} \quad (7)$$

ANMERKUNG Die Berechnung der statischen axialen Tragzahl  $C_{0a}$  basiert auf einer maximalen Verformung von  $0,0001 \times$  Kugeldurchmesser.

## 5.2 Dynamische axiale Tragzahl, $C_a$

Im Falle einer optimalen Lastverteilung (parallele Lastrichtungen in der Kugelgewindemutter und der Kugelgewindespindel), wird die dynamische axiale Tragzahl aus den folgenden Beziehungen hergeleitet:

$$C_a = C_i \cdot i^{0,86} \quad (8)$$

Dabei ist

$$C_i = C_s \cdot \left[ 1 + \left( \frac{C_s}{C_n} \right)^{10/3} \right]^{-0,3} \quad (9)$$

mit

$$C_s = f_c \cdot (\cos \alpha)^{0,86} \cdot z_l^{2/3} \cdot D_w^{1,8} \cdot \tan \alpha \cdot (\cos \varphi)^{1,3} \quad (10)$$

$$f_c = 9,32 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot \left( \frac{1}{1 - \frac{1}{2 \cdot f_{rs}}} \right)^{0,41} \quad (11)$$

$$f_1 = 10 \cdot \left( 1 - \frac{\sin \alpha}{3} \right) \quad (12)$$

$$f_2 = \frac{\gamma^{0,3} \cdot (1 - \gamma)^{1,39}}{(1 + \gamma)^{1/3}} \quad (13)$$

$$\gamma = \frac{D_w}{D_{pw}} \cdot \cos \alpha \quad (14)$$

$$\frac{C_s}{C_n} = f_3 \cdot \left( \frac{2 - \frac{1}{f_{rn}}}{2 - \frac{1}{f_{rs}}} \right)^{0,41} \quad (15)$$

$$f_{rn} = \frac{r_n}{D_w} \quad (16)$$

$$f_{rs} = \frac{r_s}{D_w} \quad (17)$$

$$f_3 = \left( \frac{1 - \gamma}{1 + \gamma} \right)^{1,723} \quad z_l \text{ siehe Gleichung (2)} \quad (18)$$



## 6 Modifizierte axiale Tragzahl

### 6.1 Modifizierte statische axiale Tragzahl, $C_{0am}$

#### 6.1.1 Grundgleichung

$$C_{0am} = C_{0a} \cdot f_{h0} \cdot f_{ac} \quad (19)$$

#### 6.1.2 Korrekturfaktor für die Oberflächenhärte, $f_{h0}$

Eine Abweichung der Oberflächenhärte muss korrigiert werden durch:

$$f_{h0} = \left( \frac{\text{tatsächliche Oberflächenhärte HV 10}}{654 \text{ HV 10}} \right)^3 \leq 1 \quad (20)$$

Der Korrekturfaktor für die Oberflächenhärte darf nur bei Kugellagerstahl oder ähnlichen Stahllegierungen angewendet werden.

#### 6.1.3 Korrekturfaktor für die Toleranzklassen, $f_{ac}$

Siehe Tabelle 1.

**Tabelle 1 — Korrekturfaktor für die Toleranzklassen,  $f_{ac}$  (Referenzdaten)**

Toleranzklasse	0, 1, 3 und 5	7	10
$f_{ac}$	1	0,9	0,7

### 6.2 Modifizierte dynamische axiale Tragzahl, $C_{am}$

#### 6.2.1 Grundgleichung

$$C_{am} = C_a \cdot f_h \cdot f_{ac} \cdot f_m \quad (21)$$

#### 6.2.2 Korrekturfaktor für die Oberflächenhärte, $f_h$

$$f_h = \left( \frac{\text{tatsächliche Oberflächenhärte HV 10}}{654 \text{ HV 10}} \right)^2 \leq 1 \quad (22)$$

Siehe Bemerkungen unmittelbar nach Gleichung (20).

#### 6.2.3 Korrekturfaktor für die Toleranzklassen, $f_{ac}$

Der Korrekturfaktor für die Toleranzklassen  $f_{ac}$  für die dynamische axiale Tragzahl ist der gleiche wie bei der statischen axialen Tragzahl, siehe Tabelle 1.

## 6.2.4 Korrekturfaktor für den Einfluss des Verfahrens zur Stahlerschmelzung, $f_m$

Siehe Tabelle 2.

**Tabelle 2 — Korrekturfaktor für den Einfluss des Verfahrens zur Stahlerschmelzung,  $f_m$  (Referenzdaten)**

Kugellagerstahl	$f_m$
An Luft erschmolzen	1,0
Vakuumentgast erschmolzen	1,25
Unter Elektroschlacke umgeschmolzen	1,44
Unter Vakuum umgeschmolzen	1,71

Wenn ein anderer Stahl als an Luft erschmolzener Stahl verwendet wird, muss der Lieferant des Kugellagertriebs das ausgewählte Schmelzverfahren in den Datenblättern erläutern.

## 7 Lebensdauer

### 7.1 Berechnung der äquivalenten Drehzahl und äquivalenten Belastung

#### 7.1.1 Allgemein

Im Falle wechselnder Drehzahlen und veränderlicher axialer Belastung müssen die äquivalenten Werte  $F_m$  und  $n_m$  für die Berechnung der Lebensdauer verwendet werden:

— Bei variabler Drehzahl gilt folgende Gleichung für die äquivalente Drehzahl  $n_m$  (siehe Bild 1):

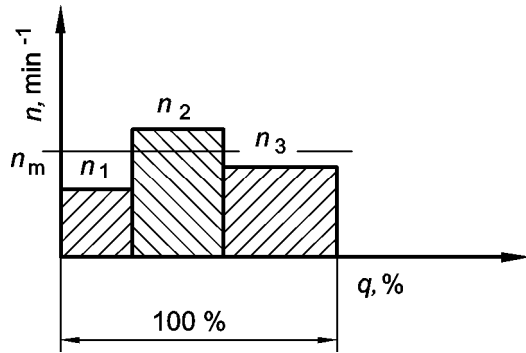
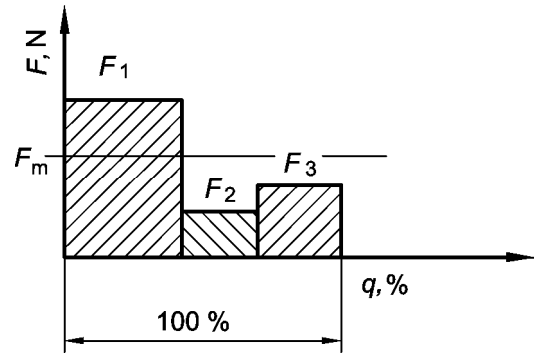
$$n_m = \sum_{j=1}^n \frac{q_j}{100} \cdot n_j \quad (23)$$

— Bei variablen Belastungen und variablen Drehzahlen gilt die folgende Formel für die äquivalente Belastung  $F_m$  (siehe Bild 2):

$$F_m = \sqrt[3]{\sum_{j=1}^n F_j^3 \cdot \frac{n_j}{n_m} \cdot \frac{q_j}{100}} \quad (24)$$

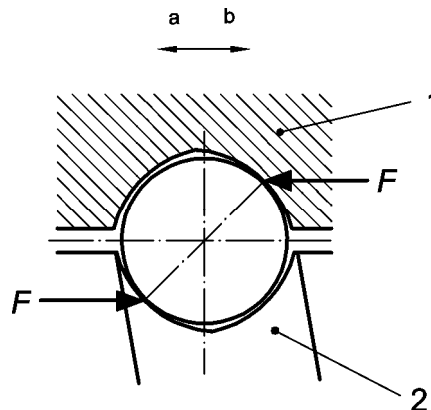
— Bei variablen axialen Belastungen und konstanter Drehzahl gilt die folgende Formel für die äquivalente axiale Belastung  $F_m$  (siehe Bild 2):

$$F_m = \sqrt[3]{\sum_{j=1}^n F_j^3 \cdot \frac{q_j}{100}} \quad (25)$$

Bild 1 — Äquivalente Drehzahl,  $n_m$ Bild 2 — Äquivalente axiale Belastung,  $F_m$ 

## 7.1.2 Kugelgewindetrieb mit Axialspiel zwischen Kugelgewindemutter und Kugelgewindespindel

### 7.1.2.1 Einseitig aufgebrachte externe axiale Belastung (siehe Bild 3)



#### Legende

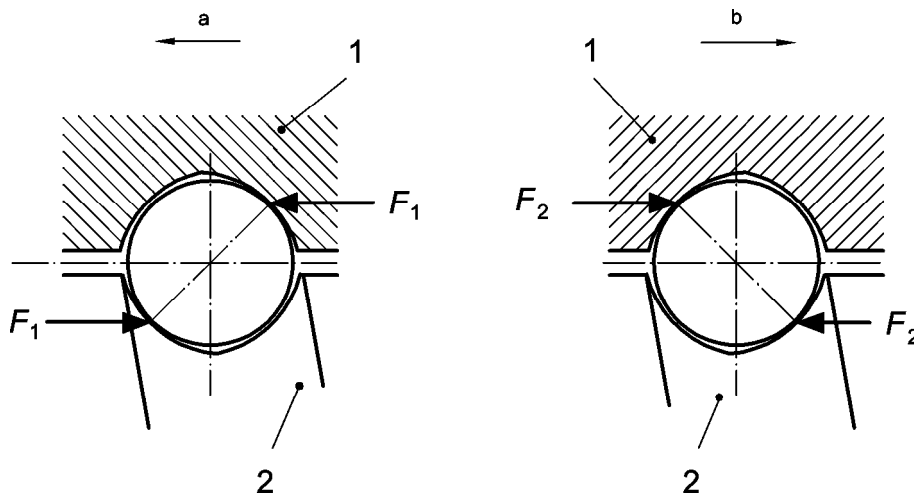
- 1 Kugelgewindemutter
- 2 Kugelgewindespindel
- a Vorwärtsbewegung
- b Rückwärtsbewegung

Bild 3 — Kugelgewindetrieb mit Axialspiel und einseitiger axialer Belastung

Für die Berechnung der äquivalenten axialen Belastung wird Folgendes verwendet:

- Bei variabler Drehzahl: Gleichung (23) und (24)
- Bei konstanter Drehzahl: Gleichung (25)

7.1.2.2 Beidseitig aufgebrachte axiale Belastung (siehe Bild 4)



Legende

- 1 Kugelgewindemutter
- 2 Kugelgewindespindel
- a Vorwärtsbewegung
- b Rückwärtsbewegung

**Bild 4 — Kugelgewindetrieb mit Axialspiel und beidseitiger axialer Belastung**

Für die Berechnung der äquivalenten axialen Belastung verwende man:

— Bei variabler Drehzahl [siehe Bild 5 a]): Gleichung (23)

$$F_{m1,2} = 3 \sqrt{\sum_{j=1}^n F_{1,2j}^3 \cdot \frac{n_j}{n_m} \cdot \frac{q_j}{100}} \quad (26)$$

— Bei konstanter Drehzahl [siehe Bild 5 b)]

$$F_{m1,2} = 3 \sqrt{\sum_{j=1}^n F_{1,2j}^3 \cdot \frac{q_j}{100}} \quad (27)$$

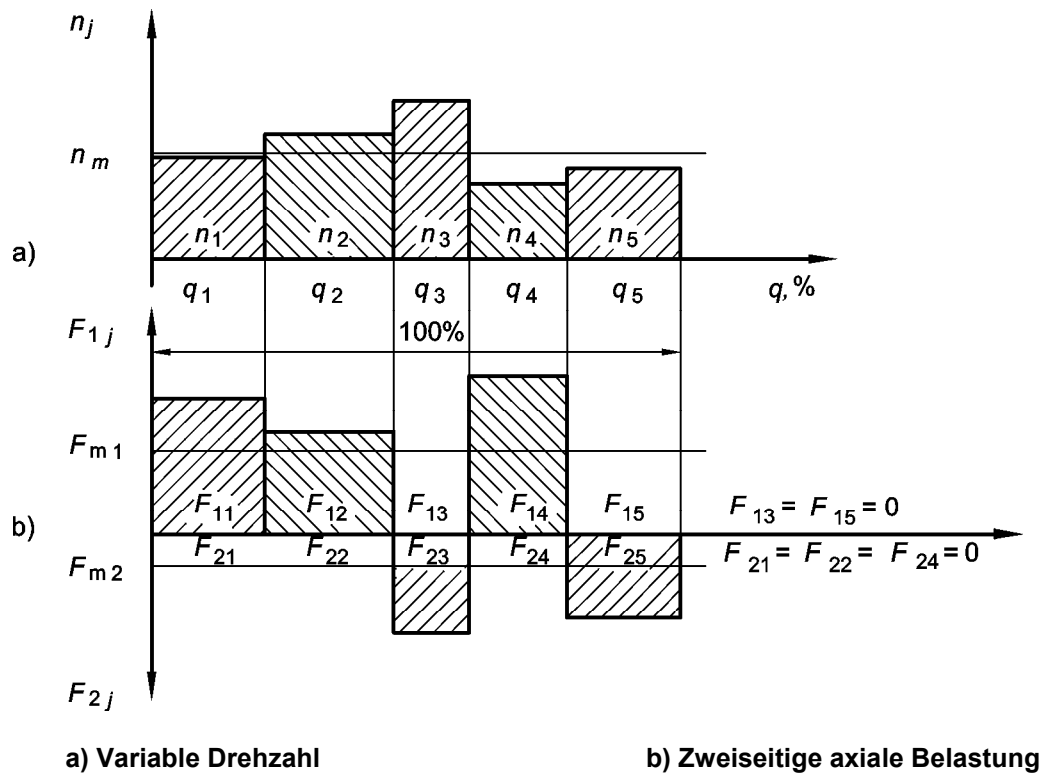
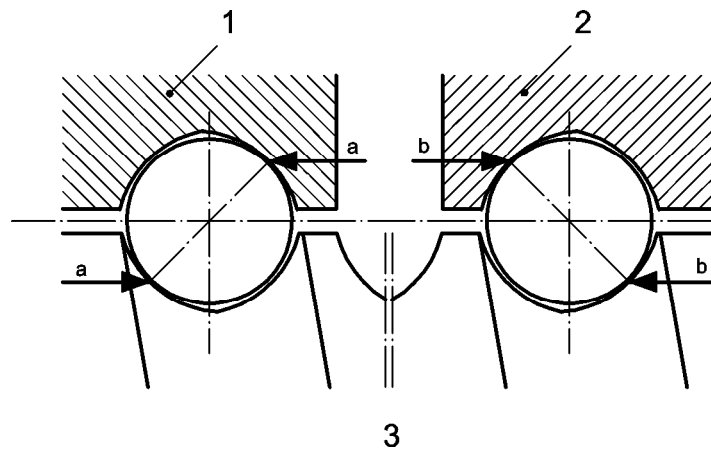


Bild 5 — Berechnung der äquivalenten axialen Belastung

7.1.3 Kugelgewindetrieb mit auf der Kugelgewindespindel vorgespannten Kugelgewindemuttern (siehe Bild 6)

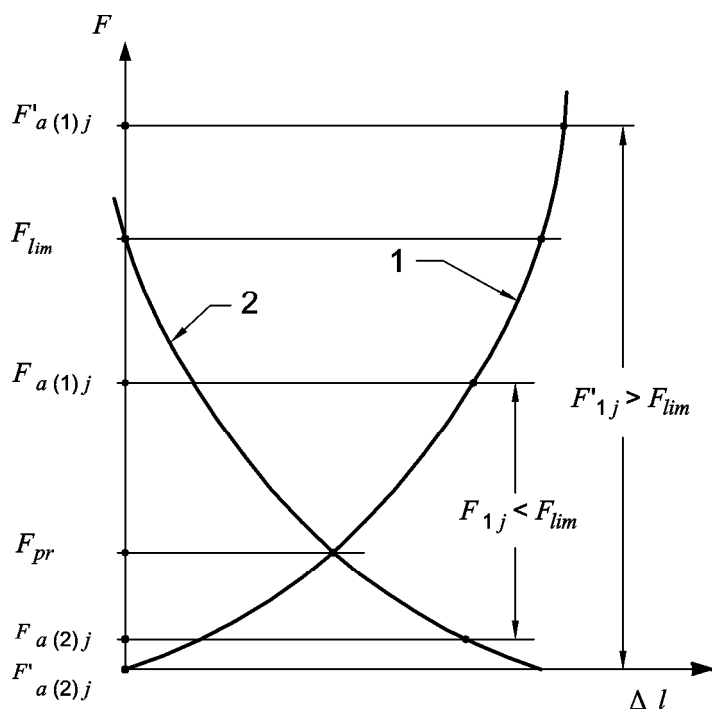


Legende

- 1 Kugelgewindemutter (1)
- 2 Kugelgewindemutter (2)
- 3 Kugelgewindespindel
- a  $F_{a(1)j}$
- b  $F_{a(2)j}$

Bild 6 — Vorspannter Kugelgewindetrieb

Durch das Aufbringen einer externen axialen Belastung auf einen vorgespannten Kugelgewindetrieb (das Spiel zwischen Kugelgewindemuttern und Kugelgewindespindel ist beseitigt) wird eine Kugelgewindemutter zusätzlich belastet, während die andere entlastet wird (siehe Bild 7).



**Legende**

- 1 Kugelgewindemutter (1)
- 2 Kugelgewindemutter (2)

**Bild 7 — Vorspannungsdiagramm**

$$F_{lim} = 2^{3/2} \cdot F_{pr} \tag{28}$$

Die vorgespannte Kugelgewindemutter (1) beziehungsweise (2) wird automatisch durch eine externe axiale Last zusätzlich belastet [siehe Bild 8b)]. Die resultierende axiale Last auf dieser Kugelgewindemutter ist:

Ist die externe Last  $F_{1j}$  oder  $F_{2j} \leq F_{lim}$ , gilt Folgendes:

$$F_{a(1),(2)j} = f_{op} \cdot F_{pr} \cdot \left( 1 + \frac{F_{1,2j}}{2^{3/2} \cdot f_{op} \cdot F_{pr}} \right)^{3/2} \quad f_{op} = 0,6 \text{ (Referenzdaten)} \tag{29}$$

**ANMERKUNG** Aufgrund der Tatsache, dass die Vorspannung über die operative Lebensdauer eines Kugelgewindetriebs abnimmt, wird als mittlere Vorspannung mit 60 % der ursprünglichen Vorspannung gerechnet.

$$F_{a(2),(1)j} = F_{a(1),(2)j} - F_{1,2j} \tag{30}$$

Ist die externe Last  $F_{1j}$  oder  $F_{2j} > F_{lim}$  dann ist:

$$F_{a(1)j} = F_{1j} \text{ oder } F_{a(2)j} = F_{2j} \tag{31}$$

und

$$F_{a(2)j} \text{ oder } F_{a(1)j} = 0 \tag{32}$$

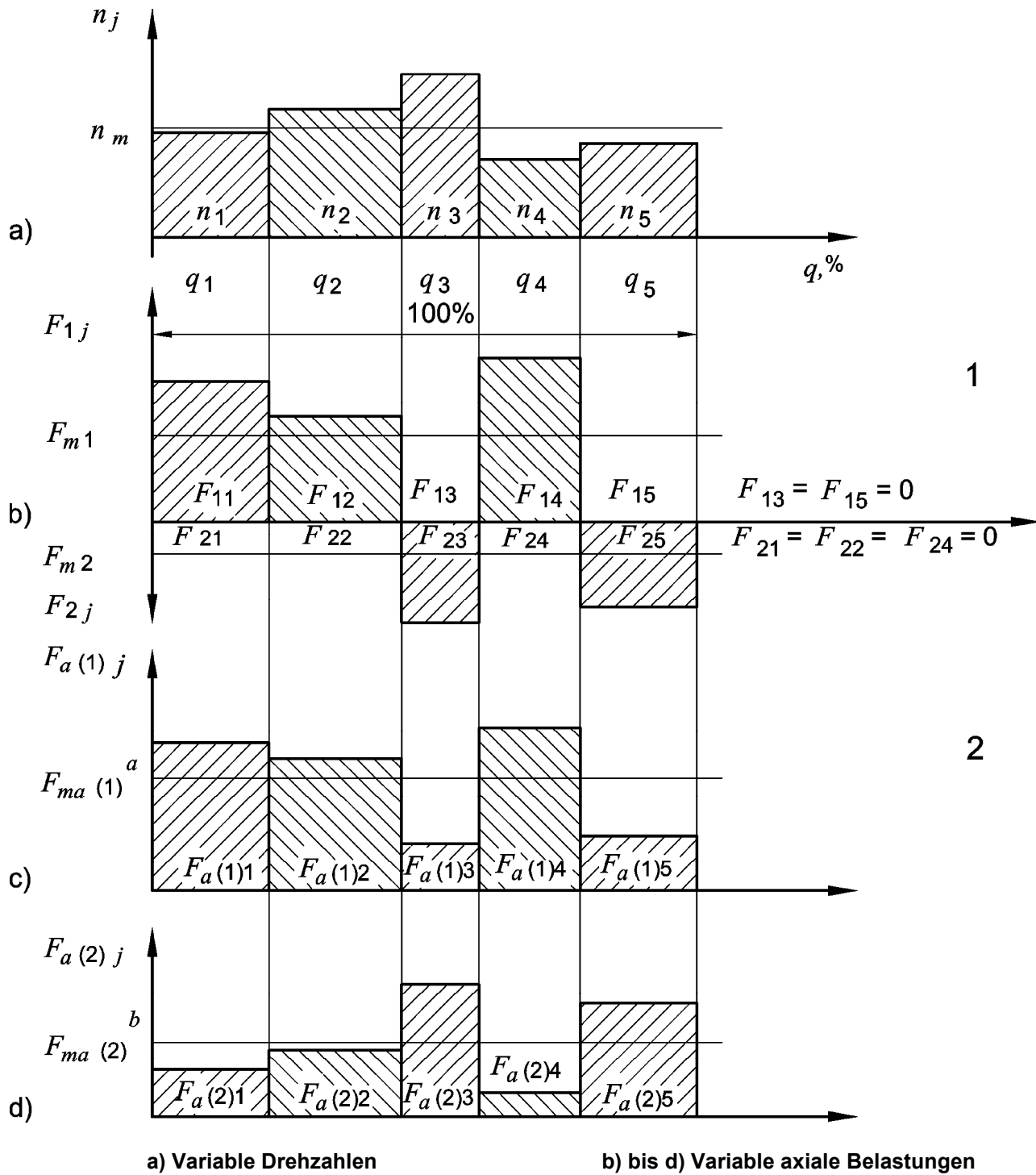
Für die Berechnung verwende man:

- Bei variabler Drehzahl [siehe Bild 8a)]
  - Gleichung (23) für äquivalente Drehzahlen
  - Für äquivalente axiale Belastung [siehe Bild 8c) und d)]

$$F_{ma(1),(2)} = \sqrt[3]{\sum_{j=1}^n F_{a(1),(2)j}^3 \cdot \frac{n_j}{n_m} \cdot \frac{q_j}{100}} \quad (33)$$

- Bei konstanter Drehzahl:

$$F_{ma(1),(2)} = \sqrt[3]{\sum_{j=1}^n F_{a(1),(2)j}^3 \cdot \frac{q_j}{100}} \quad (34)$$



**Legende**

- 1 Lastrichtung 1 belastet Kugelgewindemutter (1)
- 2 Lastrichtung 2 belastet Kugelgewindemutter (2)
- a Resultierende Belastung für Kugelgewindemutter (1), verursacht durch Vorspannung
- b Resultierende Belastung für Kugelgewindemutter (2), verursacht durch Vorspannung

**Bild 8 — Vorhandene und äquivalente axiale Belastungen**



## 7.2 Nominelle Lebensdauer $L$ oder $L_h$

### 7.2.1 Kugelgewindetrieb mit Axialspiel zwischen Kugelgewindemutter und Kugelgewindespindel

#### 7.2.1.1 Unter einseitiger externer axialer Belastung

Lebensdauer in Umdrehungen:

$$L = \left( \frac{C_a}{F_m} \right)^3 \cdot 10^6 \quad (35.1)$$

Lebensdauer in Betriebsstunden:

$$L_h = \frac{L}{60 \cdot n_m} \quad (36.1)$$

#### 7.2.1.2 Unter beidseitiger externer axialer Belastung

Lebensdauer in Umdrehungen:

$$L_{1,2} = \left( \frac{C_a}{F_{m,1,2}} \right)^3 \cdot 10^6 \quad (37.1)$$

### 7.2.2 Kugelgewindetrieb mit vorgespannten Kugelgewindemuttern auf der Kugelgewindespindel

Lebensdauer in Umdrehungen:

$$L_{1,2} = \left( \frac{C_a}{F_{ma(1),(2)}} \right)^3 \cdot 10^6 \quad (38.1)$$

### 7.2.3 Resultierende Lebensdauer, $L_r$

Die resultierende Lebensdauer eines beidseitig belasteten Kugelgewindetriebes mit Axialspiel oder mit Vorspannung ergibt sich wie folgt:

$$L_r = \left( L_1^{-10/9} + L_2^{-10/9} \right)^{-9/10} \quad \text{in Betriebsstunden, siehe Gleichung (36.1)} \quad (39.1)$$

### 7.2.4 Berechnung der nominellen Lebensdauer $L_{ar}$ oder $L_{har}$ unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors für die Zuverlässigkeit, $f_{ar}$ (siehe Tabelle 3)

Lebensdauer in Umdrehungen:

$$L_{ar} = L \cdot f_{ar} \quad (40.1)$$

beziehungsweise

$$L_{ar} = L_r \cdot f_{ar} \quad (41.1)$$

Lebensdauer in Betriebsstunden:

$$L_{har} = L_h \cdot f_{ar} \quad (42.1)$$

Tabelle 3 — Korrekturfaktor für den Einfluss der Zuverlässigkeit,  $f_{ar}$ 

Zuverlässigkeit [%]	$f_{ar}$
90	1
95	0,62
96	0,53
97	0,44
98	0,33
99	0,21

ANMERKUNG Es gibt weitere Lebensdauer reduzierende Einflüsse, wie Schockbelastung, Vibration, Temperatur, Schmierung, Fehlausrichtung usw deren Berücksichtigung nötig sein könnte.

### 7.3 Modifizierte Lebensdauer $L_m$ oder $L_{hm}$

#### 7.3.1 Kugelgewindetrieb mit Axialspiel zwischen Kugelgewindemutter und Kugelgewindespindel

##### 7.3.1.1 Unter einseitiger externer axialer Belastung

Lebensdauer in Umdrehungen:

$$L_m = \left( \frac{C_{am}}{F_m} \right)^3 \cdot 10^6 \quad (35.2)$$

Lebensdauer in Betriebsstunden:

$$L_{hm} = \frac{L}{60 \cdot n_m} \quad (36.2)$$

##### 7.3.1.2 Unter beidseitiger externer axialer Belastung

Lebensdauer in Umdrehungen:

$$L_{m1,2} = \left( \frac{C_{am}}{F_{m1,2}} \right)^3 \cdot 10^6 \quad (37.2)$$

#### 7.3.2 Kugelgewindetriebe mit vorgespannten Kugelgewindemuttern auf der Kugelgewindespindel

Lebensdauer in Umdrehungen:

$$L_{m1,2} = \left( \frac{C_{am}}{F_{ma(1),(2)}} \right)^3 \cdot 10^6 \quad (38.2)$$

### 7.3.3 Modifizierte resultierende Lebensdauer, $L_{mr}$

Die resultierende Lebensdauer eines beidseitig axial belasteten Kugelgewindetriebs mit Axialspiel oder vorgespannten Kugelgewindemuttern ergibt sich in Umdrehungen aus:

$$L_{mr} = \left( L_{m1}^{-10/9} + L_{m2}^{-10/9} \right)^{-9/10} \quad \text{in Betriebsstunden: siehe Gleichung (36.2)} \quad (39.2)$$

### 7.3.4 Modifizierte Lebensdauer $L_{mar}$ oder $L_{hmar}$ unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors für den Einfluss der Zuverlässigkeit, $f_{ar}$ (siehe Tabelle 3)

Lebensdauer in Umdrehungen:

$$L_{mar} = L_m \cdot f_{ar} \quad (40.2)$$

beziehungsweise

$$L_{mar} = L_{mr} \cdot f_{ar} \quad (41.2)$$

Lebensdauer in Betriebsstunden:

$$L_{mar} = L_m \cdot f_{ar} \quad (42.2)$$