








| | | Kapitel Chapter |
|---|--|--|
|  | Zahnstangen schräg Racks helical | m = 1,5 m = 2 m = 3 m = 4 m = 5 m = 6 m = 8 m = 10 m = 12 ZA-30 ZA-31 ZA-32 ZA-33 ZA-34 ZA-35 ZA-36 ZA-37 ZA-38 |
|  | Zahnstangen gerade Racks straight | m = 1 m = 1,5 m = 2 m = 2,5 m = 3 m = 4 m = 5 m = 6 m = 8 m = 10 m = 12 ZB-36 ZB-37 ZB-38 ZB-39 ZB-40 ZB-41 ZB-42 ZB-43 ZB-44 ZB-45 ZB-46 |
|  | Führungszahnstangen Integrated racks | m = 2 m = 3 m = 4 p = 5 mm p = 10 mm p = 13,33 mm ZC-15 ZC-16 ZC-17 ZC-18 ZC-19 ZC-20 |
|  | Berechnung, Anleitung Calculation, Instruction | ZD-2 |
| | Berechnungsbeispiel Calculation example | Fährantrieb / Travelling operation Hubantrieb / Lifting operation ZD-3 ZD-4 |
|  | Natürliche Größe der Modulverzahnung nach DIN 867 Actual size of modular gearing according to DIN 867 | ZD-5 |





Für die Werte der Belastungstabelle wurde ein gleichmäßiger, stoßfreier Betrieb, $K_{H\beta}=1,0$ und gesicherte Fettschmierung zugrunde gelegt. Da die Anwendungsfälle in der Praxis sehr verschieden sind, ist es erforderlich, die jeweiligen Verhältnisse durch entsprechende Faktoren S_B , K_A , L_{KHB} und f_n zu berücksichtigen (siehe untenstehend).

Formeln zur Ermittlung der Umfangskraft

$$a = \frac{v}{t_b} \quad [\text{m/s}^2]$$

$$F_u = \frac{m \cdot g + m \cdot a}{1000} \quad (\text{für Hubachse}) \quad [\text{kN}]$$

$$F_u = \frac{m \cdot g \cdot \mu + m \cdot a}{1000} \quad (\text{für Fahrachse}) \quad [\text{kN}]$$

$$F_{u \text{ zul.}} = \frac{F_{u \text{ Tab}}}{K_A \cdot S_B \cdot f_n \cdot L_{KHB}} \quad [\text{kN}]$$

Erklärung der Formelzeichen siehe Seite ZD-3

Bedingung $F_u < F_{u \text{ zul.}}$ muss erfüllt sein.

Belastungsfaktor K_A

| Antrieb | Belastungsart der anzutreibenden Maschinen | | |
|----------------|--|----------------|--------------|
| | gleichförmig | mittlere Stöße | starke Stöße |
| gleichförmig | 1,00 | 1,25 | 1,75 |
| leichte Stöße | 1,25 | 1,50 | 2,00 |
| mittlere Stöße | 1,50 | 1,75 | 2,25 |

Sicherheitsbeiwert S_B

Der Sicherheitsbeiwert ist nach Erfahrung zu berücksichtigen ($S_B = 1,1 \div 1,4$).

Lebensdauerfaktor f_n

für den Einfluss der Umfangsgeschwindigkeit des Ritzels und der Schmierung.

| Schmierung | kontin. | tägl. | monatl. | Umfangsgeschw. der Verzahnung | |
|------------|---------|-------|-----------------------|-------------------------------|-------|
| | | | | m/sec | m/min |
| 0,5 | 0,85 | 0,95 | von 3 bis 10 | | |
| 1,0 | 0,95 | 1,10 | | | |
| 1,5 | 1,00 | 1,20 | | | |
| 2,0 | 1,05 | 1,30 | | | |
| 3,0 | 1,10 | 1,50 | | | |
| 5,0 | 1,25 | 1,90 | | | |

Linearer Breitenfaktor L_{KHB}

Der linearer Breitenfaktor berücksichtigt ungleichmäßige Lastenverteilung über die Zahnbreite auf die Flankenpressung ($L_{KHB} = \sqrt{K_{H\beta}}$).

- $L_{KHB} = 1,1$ bei Gegenlagerung z.B. Torque Supporter
- $= 1,2$ bei Vorgespannten Lagern der Abtriebswelle z.B. Atlanta HT-, HP- und E-Servo Schneckengetriebe, BG-Servo Kegelradgetriebe
- $= 1,5$ bei nicht vorgespannten Lagern der Abtriebswelle z.B. B-Servo Schneckengetriebe

The values given in the load table are based upon uniform, smooth operation, $K_{H\beta}=1,0$ and reliable grease lubrication. Since, in practice, the applications are very diverse, it is important to consider the given conditions by using appropriate factors S_B , K_A , L_{KHB} and f_n (see below).

Formulas for determining the tangential force

$$a = \frac{v}{t_b} \quad [\text{m/s}^2]$$

$$F_u = \frac{m \cdot g + m \cdot a}{1000} \quad (\text{for lifting axle}) \quad [\text{kN}]$$

$$F_u = \frac{m \cdot g \cdot \mu + m \cdot a}{1000} \quad (\text{for driving axle}) \quad [\text{kN}]$$

$$F_{u \text{ perm.}} = \frac{F_{u \text{ tab}}}{K_A \cdot S_B \cdot f_n \cdot L_{KHB}} \quad [\text{kN}]$$

Formula dimensions see page ZD-3

The condition $F_u < F_{u \text{ perm.}}$ must be fulfilled.

Load factor K_A

| Drive | Type of load from the machines to be driven | | |
|---------------|---|---------------|--------------|
| | uniform | medium shocks | heavy shocks |
| uniform | 1,00 | 1,25 | 1,75 |
| light shocks | 1,25 | 1,50 | 2,00 |
| medium shocks | 1,50 | 1,75 | 2,25 |

Safety coefficient S_B

The safety coefficient should be allowed for according to experience ($S_B = 1.1 \div 1.4$).

Life-time factor f_n

considering of the peripheral speed of the pinion and lubrication.

| Lubrication | contin. | daily | monthly | Peripheral speed of gearing | |
|-------------|---------|-------|-----------------------|-----------------------------|-------|
| | | | | m/sec | m/min |
| 0,5 | 0,85 | 0,95 | von 3 bis 10 | | |
| 1,0 | 0,95 | 1,10 | | | |
| 1,5 | 1,00 | 1,20 | | | |
| 2,0 | 1,05 | 1,30 | | | |
| 3,0 | 1,10 | 1,50 | | | |
| 5,0 | 1,25 | 1,90 | | | |

Linear load distribution factor L_{KHB}

The linear load distribution factor considers the contact stress, while it describes unintegrated load distribution over the tooth width ($L_{KHB} = \sqrt{K_{H\beta}}$).

- $L_{KHB} = 1,1$ for counter bearing, e.g. Torque Supporter
- $= 1,2$ for preloaded bearings on the output shaft e.g. Atlanta Ht-, HP- and E-servo worm gear unit, BG-bevel gear unit
- $= 1,5$ for unpreloaded bearings on the output shaft e.g. Atlanta B-servo worm gear unit



Rechenbeispiel Calculation example

Vorgabewerte Values given

- Fahrtrieb**
travelling operation
- bewegte Masse $m = 820$ kg
mass to be moved
- Geschwindigkeit $v = 2$ m/s
speed
- Beschleunigungszeit $t_b = 1$ s
acceleration time
- Erdbeschleunigung $g = 9,81$ m/s²
acceleration due to gravity
- Reibwert $\mu = 0,1$
coefficient of friction
- Belastungsfaktor $K_A = 1,5$
load factor
- Lebensdauerfaktor $f_n = 1,05$ (kont. Schmierung)
life-time factor (cont. lubrication)
- Sicherheitsbeiwert $S_B = 1,2$
safety coefficient
- Linearer Breitenfaktor $L_{KH\beta} = 1,5$
linear load distribution factor

Rechengang Calculation process

$$a = \frac{v}{t_b} \quad a = \frac{2}{1} = 2 \text{ m/s}^2$$

$$F_u = \frac{m \cdot g \cdot \mu + m \cdot a}{1000}$$

$$F_u = \frac{820 \cdot 9,81 \cdot 0,1 + 820 \cdot 2}{1000} = 2,44 \text{ kN}$$

zulässige Umfangskraft: Zahnstange C45, ind. gehärtet, Q10, gerade verzahnt, Modul 3, Ritzel 16MnCr5, einsatzgehärtet, 20 Zähne, Seite ZB-40 mit $F_{uTab} = 11,5$ kN
assumed feed force: rack C45, ind. hardened, straight tooth, module 3, pinion 16MnCr5, case hardened, 20 teeth, page ZB-40 with $F_{uTab} = 11,5$ kN

$$F_{u \text{ zul./per.}} = \frac{F_{uTab}}{K_A \cdot S_B \cdot f_n \cdot L_{KH\beta}} ;$$

$$F_{u \text{ zul./per.}} = \frac{11,5 \text{ kN}}{1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,05 \cdot 1,5} = 4,05 \text{ kN}$$

Bedingung Condition

$$F_{u \text{ zul./per.}} > F_u ; 4,05 \text{ kN} > 2,44 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{erfüllt}$$

fulfilled

| | | | |
|---------------------|--------------------|-----------|---|
| Ergebnis: Result | Zahnstange Rack | 27 30 101 | Seite ZB-13 Page ZB-13 |
| | Ritzel Pinion | 24 35 220 | Seite ZB-23 einsatzgehärtet Page ZB-23 case hardened |

Ihre Rechnung Your calculation

Vorgabewerte Values given

- Fahrtrieb**
travelling operation
- bewegte Masse $m =$ _____ kg
mass to be moved
- Geschwindigkeit $v =$ _____ m/s
speed
- Beschleunigungszeit $t_b =$ _____ s
acceleration time
- Erdbeschleunigung $g = 9,81$ m/s²
acceleration due to gravity
- Reibwert $\mu =$ _____
coefficient of friction
- Belastungsfaktor $K_A =$ _____
load factor
- Lebensdauerfaktor $f_n =$ _____
life-time factor
- Sicherheitsbeiwert $S_B =$ _____
safety coefficient
- Linearer Breitenfaktor $L_{KH\beta} =$ _____
linear load distribution factor

Rechengang Calculation process

$$a = \frac{v}{t_b} \quad a =$$
 _____ = _____ m/s²

$$F_u = \frac{m \cdot g \cdot \mu + m \cdot a}{1000} ; F_u =$$
 _____ = _____ kN

zulässige Vorschubkraft F_{uTab}
permissible feed force F_{uTab}

$$F_{u \text{ zul./per.}} = \frac{F_{uTab}}{K_A \cdot S_B \cdot f_n \cdot L_{KH\beta}} ;$$

$$F_{u \text{ zul./per.}} =$$
 _____ = _____ kN

Bedingung Condition

$$F_{u \text{ zul./per.}} > F_u ;$$
 _____ kN > _____ kN \Rightarrow erfüllt
fulfilled





Rechenbeispiel Calculation example

Vorgabewerte Values given

- ⊗ Hubantrieb
lifting operation
- bewegte Masse
mass to be moved $m = 300 \text{ kg}$
- Geschwindigkeit
speed $v = 1,08 \text{ m/s}$
- Beschleunigungszeit
acceleration time $t_b = 0,27 \text{ s}$
- Erdbeschleunigung
acceleration due to gravity $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- Belastungsfaktor
load factor $K_A = 1,2$
- Lebensdauerfaktor
life-time factor $f_n = 1,1$ (tägl. Schmierung)
(cont. lubrication)
- Sicherheitsbeiwert
safety coefficient $S_B = 1,2$
- Linearer Breitenfaktor
linear load distribution factor $L_{KH\beta} = 1,2$

Rechengang Calculation process

$$a = \frac{v}{t_b} \quad a = \frac{1,08}{0,27} = 4 \text{ m/s}^2$$

$$F_u = \frac{m \cdot g + m \cdot a}{1000} \quad F_u = \frac{300 \cdot 9,81 + 300 \cdot 4}{1000} = 4,1 \text{ kN}$$

zulässige Umfangskraft: Zahnstange C45, ind. gehärtet, Q6, schräg verzahnt, Modul 2, Ritzel 16MnCr5, einsatzgehärtet, 20 Zähne, Seite ZA-31 mit $F_{u \text{ Tab}} = 11,3 \text{ kN}$
 assumed feed force: rack C45, ind. hardened, helical, module 2, pinion 16MnCr5, case hardened, 20 teeth, page ZA-31 with $F_{u \text{ tab}} = 12 \text{ kN}$

$$F_{u \text{ zul./per.}} = \frac{F_{u \text{ Tab}}}{K_A \cdot S_B \cdot f_n \cdot L_{KH\beta}} ; F_{u \text{ zul./per.}} = \frac{11,5 \text{ kN}}{1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1,2} = 5,9 \text{ kN}$$

Bedingung Condition

$$F_{u \text{ zul./per.}} > F_u ; 6,0 \text{ kN} > 4,1 \text{ kN} \Rightarrow \text{erfüllt}$$

fulfilled

| | | | |
|---------------------|--------------------|-----------|---------------------------|
| Ergebnis: Result | Zahnstange Rack | 29 20 105 | Seite ZA-7 Page ZA-7 |
| | Ritzel Pinion | 24 29 520 | Seite ZA-24 Page ZA-24 |

Ihre Rechnung Your calculation

Vorgabewerte Values given

- ⊗ Hubantrieb
lifting operation
- bewegte Masse
mass to be moved $m = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kg}$
- Geschwindigkeit
speed $v = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}$
- Beschleunigungszeit
acceleration time $t_b = \underline{\hspace{2cm}} \text{ s}$
- Erdbeschleunigung
acceleration due to gravity $g = \underline{9,81} \text{ m/s}^2$
- Belastungsfaktor
load factor $K_A = \underline{\hspace{2cm}}$
- Lebensdauerfaktor
life-time factor $f_n = \underline{\hspace{2cm}}$
- Sicherheitsbeiwert
safety coefficient $S_B = \underline{\hspace{2cm}}$
- Linearer Breitenfaktor
linear load distribution factor $L_{KH\beta} = \underline{\hspace{2cm}}$

Rechengang Calculation process

$$a = \frac{v}{t_b} \quad a = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}^2$$

$$F_u = \frac{m \cdot g + m \cdot a}{1000} \quad F_{u \text{ erf./req.}} = \frac{\underline{\hspace{2cm}}}{1000} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kN}$$

zulässige Vorschubkraft $F_{u \text{ Tabelle}}$
 permissible feed force $F_{u \text{ tab}}$

$$F_{u \text{ zul./per.}} = \frac{F_{u \text{ Tab}}}{K_A \cdot S_B \cdot f_n \cdot L_{KH\beta}} ; F_{u \text{ zul./per.}} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kN}$$

Bedingung Condition

$$F_{u \text{ zul./per.}} > F_u ; \underline{\hspace{2cm}} \text{ kN} > \underline{\hspace{2cm}} \text{ kN} \Rightarrow \text{erfüllt}$$

fulfilled





Modul / Module 1,0



Modul / Module 1,25



Modul / Module 1,5



Modul / Module 2,0



Modul / Module 2,5



Modul / Module 3,0



Modul / Module 4,0



Modul / Module 5,0



Modul / Module 6,0



Modul / Module 8,0



Modul / Module 10,0



Modul / Module 12,0



