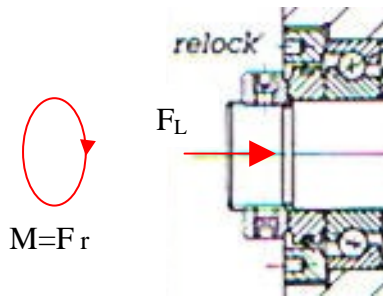
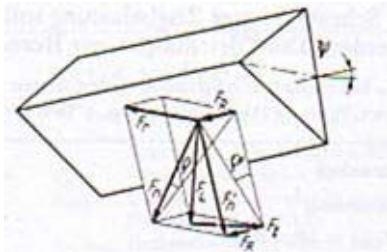


# Drehmoment-Berechnung



$M$  = Moment das auf die Stellmutter ausgeübt wird(Nmm)  
 $F$  = Hebelkraft (N)  
 $r$  = Hebelarm (mm)  
 $F_L$  = achsiale Kraft (N)

## Kräfte am metrischen Spitzgewinde:



$F_N$  = Normalkraft (N)  
 $F_R$  = Reibkraft (N)  
 $F_t$  = Tangentialkraft (N)

## Kenngrößen:

$d$  = Gewindenenn- $\varnothing$  (mm)

$p$  = Steigung (mm)

$d_2$  = Flanken- $\varnothing = d - 0.64952p$  (mm)  $\Rightarrow$  VSM

$\psi$  = Steigungswinkel =  $\arctan\left(\frac{p}{d_2\pi}\right) = \arctan\left(\frac{p}{(d - 0.64952p)\pi}\right)$  ( $^\circ$ )

$\beta$  = halber Flankenwinkel =  $30^\circ \Rightarrow$  VSM

$\mu$  = Reibungskoeffizient Stahl / Stahl geschliffen  $\sim 0.15$

$\rho$  = Reibwinkel am Spitzgewinde ( $^\circ$ )

$$\rho = \arctan\left(\frac{\mu}{\cos[\arctan(\tan \beta \cos \psi)]}\right)$$

$\Rightarrow \psi$  ist ein relativ kleiner Winkel

vereinfacht:  $\rho = \arctan\left(\frac{\mu}{\cos \beta}\right) = \arctan\left(\frac{0.15}{\cos 30^\circ}\right) = 9.826^\circ$

Weiter gilt:

$F_t = F_L \cdot \tan(\psi \pm \rho) \Rightarrow$  mit + für anziehen und - für lösen

## Berechnung der Momente $M_{A/L}$ und achsialen Kraft $F_L$ am Gewinde:

$$M_{A/L} = F \cdot r = F_t \cdot \frac{d_2}{2} = 0.5 \cdot d_2 \cdot F_L \cdot \tan(\psi \pm \rho)$$

$M_A$  = Anzugsmoment (Nmm)

$M_L$  = Lösemoment (Nmm)

Daraus folgt:

$$\Rightarrow F_L = \frac{M_{A/L}}{0.5 \cdot d_2 \cdot \tan(\psi \pm \rho)} = \frac{M_{A/L}}{0.5 \cdot d_2 \cdot \tan\left[\arctan\left(\frac{p}{d_2 \pi}\right) \pm 9.826^\circ\right]}$$

$$= \frac{M_{A/L}}{0.5(d - 0.64952p) \cdot \tan\left[\arctan\left(\frac{p}{(d - 0.64952p)\pi}\right) \pm 9.826^\circ\right]}$$

$\Rightarrow \psi$  ist ein relativ kleiner Winkel

Wir nehmen einen Mittelwert von  $0.9^\circ$  an (siehe Tabelle unten)

|             |              |              |               |               |               |               |               |               |
|-------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| M6x0.5      | M8x0.75      | M11x1        | M25x1         | M50x1.5       | M55x2         | M150x2        | M155x2        | M200x3        |
| $1.6^\circ$ | $1.82^\circ$ | $1.76^\circ$ | $0.749^\circ$ | $0.558^\circ$ | $0.679^\circ$ | $0.245^\circ$ | $0.357^\circ$ | $0.276^\circ$ |

$$F_L = \frac{M_{A/L}}{0.5(d - 0.64952p) \cdot \tan[0.9^\circ \pm 9.826^\circ]}$$

$\Rightarrow$  zur weiteren Vereinfachung setzen wir anstelle von  $(d - 0.64952p)$  nur  $d$  ein

$$F_L = \frac{M_{A/L}}{0.5 \cdot d \cdot \tan(0.9^\circ \pm 9.826^\circ)}$$

**Anziehen:**

$$F_L = \frac{M_A}{0.0947 \cdot d} \quad \Rightarrow M_A = 0.0947 \cdot F_L \cdot d$$

**Lösen:**

$$F_L = \frac{M_L}{-0.0785 \cdot d} \quad \Rightarrow M_L = -0.0785 \cdot F_L \cdot d$$

**Berechnung des Reibmoments Stellmutter – Auflagefläche  $M_R$ :**

$$M_R = F_L \cdot \mu \cdot \frac{d_M}{2} = F_L \cdot 0.15 \cdot \frac{d_M}{2} = 0.075 \cdot F_L \cdot d_M$$

$M_R$  = Reibmoment Stellmutter – Auflagefläche (Nmm)

Vereinfacht mit  $d_M \approx d$ :

$$M_R = 0.075 \cdot F_L \cdot d$$

$\mu$  = Reibkoeffizient  $\approx 0.15$

$d_M$  = mittlerer Auflage- $\varnothing$  Stellmutter

Bemerkung:

$M_R$  kommt erst zum Tragen, wenn sich die Stellmutter an die Auflagefläche presst.

**Moment das auf die Stellmutter ausgeübt wird:**

**Anziehen:**

$$M = M_A + M_R = 0.0947 \cdot F_L \cdot d + 0.075 \cdot F_L \cdot d = 0.17 \cdot F_L \cdot d$$

**Lösen:**

$$M = M_L + M_R + M_G = 0.0785 \cdot F_L \cdot d + 0.075 \cdot F_L \cdot d + n \cdot F_R \cdot \frac{d}{2} = 0.15 \cdot F_L \cdot d + n \cdot F_R \cdot \frac{d}{2}$$

Bemerkung: Herleitung von  $M_G$  siehe weiter unten

**Werte die es noch zu beachten gilt:**

Flächenpressung an den Gewindeflanken  $\Rightarrow$  max. achsiale Belastung

$$Pa = \frac{F_L}{A} = \frac{F_L}{\frac{m}{p} \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1} \leq Pa_{zul}$$

$Pa_{zul} = 80\text{-}150 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow$  Gieck Z18  
 $m/p =$  Anzahl Gewindegänge = Gewindel./Steigung  
 $d_2 =$  Flanken- $\varnothing = d - 0.64952p$  (mm)

$$F_L \leq Pa_{zul} \cdot \frac{m}{p} \cdot \pi \cdot (d - 0.64952p) \cdot 0.54126p$$

$F_L =$  achsiale Kraft (N)  
 $H_1 =$  Gewindetragtiefe (VSM) =  $0.54126p$  (mm)

Vereinfacht:

$$F_L \leq Pa_{zul} \cdot \frac{m}{p} \cdot \pi \cdot d \cdot 0.54126p$$

Und Scherspannung am Gewinde

$$\tau = \frac{F_L}{\pi \cdot d_2 \cdot m} \leq \tau_{zul}$$

$m =$  Stellmutterhöhe (mm)  
 $\tau_{zul} = 560 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow$  Metalltechnik S.39

$$F_L \leq \tau_{zul} \cdot \pi \cdot (d - 0.64952p) \cdot m$$

Vereinfacht:

$$F_L \leq \tau_{zul} \cdot \pi \cdot d \cdot m$$

### Bremswirkung des Lardon MRR/MRR-A (radial)

$$F_R = F_G \cdot \cos 60^\circ \cdot \mu$$

$M_{AI} =$  Anzugsmoment Gewindestift (Nmm)

Mit  $\psi = 3.23^\circ \Rightarrow$  Mittelwert der Gewinde M4-M12

$F_G =$  achsiale Kraft Gewindestift (N)

$F_R =$  Reibkraft des Lardon am Stellmuttergew. (N)

$\mu =$  Reibkoeffizient Gewindestift-Stellmutter  $\sim 0.2$

$d_{St} = \varnothing$ -Gewindestift (mm)

$$\text{Und } \rho = \arctan\left(\frac{\mu}{\cos \beta}\right) = \arctan\left(\frac{0.2}{\cos 30^\circ}\right) = 13^\circ$$

$$\Rightarrow F_G = \frac{M_{AI}}{0.5 \cdot d_{St} \cdot \tan(\psi + \rho)} = \frac{M_{AI}}{0.5 \cdot d_{St} \cdot \tan(3.23^\circ + 13^\circ)} \text{ mit der Vereinfachung } d_{2St} \approx d_{St}$$

Anziehen:

$$F_G = \frac{M_{AI}}{0.5 \cdot d_{St} \cdot \tan(3.23^\circ + 13^\circ)} = \frac{M_{AI}}{0.1455 \cdot d_{St}}$$

Somit:

$$F_R = \cos 60^\circ \cdot 0.2 \cdot F_G = 0.687 \cdot \frac{M_{AI}}{d_{St}}$$

Anzugsmomente  $M_{AI}$  (Nmm) der Gewindestifte gemäss Bossard T.037 für M4-M16:

| M4   | M5   | M6   | M8    | M10   | M12   | M14   | M16   |
|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1000 | 3000 | 5000 | 10000 | 20000 | 45000 | 45000 | 90000 |

Daraus folgt für  $F_R$  (N) für **einen** Lardon:

| M4     | M5    | M6    | M8     | M10  | M12     | M14    | M16     |
|--------|-------|-------|--------|------|---------|--------|---------|
| 171.75 | 412.2 | 572.5 | 858.75 | 1374 | 2576.25 | 2208.2 | 3864.37 |

Somit ergibt sich für das Reibmoment  $M_G$ :

$$M_G = n \cdot F_R \cdot \frac{d}{2} = n \cdot 0.687 \cdot \frac{M_{AI}}{d_{St}} \cdot \frac{d}{2}$$

$M_G =$  Bremsmoment des Lardon am Stellmuttergewinde (Nmm)

$d = \varnothing$  des Stellmuttergewindes (mm)

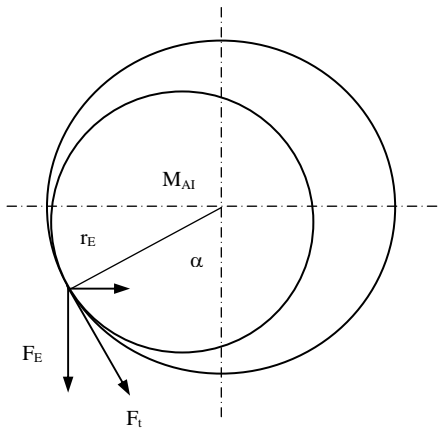
$d_{St} = \varnothing$ -Gewindestift (mm)

$n =$  Anzahl Lardon

$M_{AI} =$  Anzugsmoment Gewindestift (Nmm)

$$M_G = 0.343 \cdot n \cdot \frac{M_{AI}}{d_{St}} \cdot d$$

## Bremswirkung des Lardon MRA/MRA-A (achsial)



$F_E$  = Kraft des Exzenters auf den Lardon (N)  
 $F_t$  = Tangentialkraft am Exzenter (N)  
 $r_E$  = Radius auf Aussenfläche des Exzenters (mm)  
 $M_{AI}$  = Anzugsmoment am Exzenter (Nmm)  
 $\alpha$  = Winkel des Exzenters zum Lardon ( $^\circ$ )  
 $F_R$  = Reibkraft des Lardon am Stellmuttergew. (N)  
 $\mu$  = Reibkoeffizient Lardon – Stellmutter  $\approx 0.2$

$$F_E = \sin \alpha \cdot F_t \quad \text{mit } F_t = \frac{M_{AI}}{r_E}$$

$$F_E = \sin \alpha \cdot \frac{M_{AI}}{r_E}$$

Daraus folgt:

$$F_R = F_E \cdot \cos 60^\circ \cdot \mu \quad (\text{siehe oben})$$

$$F_R = F_E \cdot \cos 60^\circ \cdot \mu = \sin \alpha \cdot \frac{M_{AI}}{r_E} \cdot 0.5 \cdot 0.2 = \sin \alpha \cdot \frac{M_{AI}}{r_E} \cdot 0.1$$

Somit ergibt sich für das Reibmoment  $M_G$ :

$$M_G = n \cdot F_R \cdot \frac{d}{2}$$

$$M_G = 0.05 \cdot n \cdot \sin \alpha \cdot \frac{M_{AI}}{r_E} \cdot d$$

$M_G$  = Bremsmoment des Lardon am Stellmuttergewinde (Nmm)

$d$  =  $\emptyset$ -Stellmuttergewindes (mm)

$n$  = Anzahl Lardon

Bemerkung:

Der Winkel  $\alpha$  hängt davon ab, in welcher Lage der Lardon geschliffen wird. Die Toleranzen bei der Fertigung des Exzenters, sowie des Lardon haben ebenfalls einen grossen Einfluss auf den Winkel  $\alpha$ .

## Rechenbeispiel:

Annahme: Eine Stellmutter MRR 50x1.5 (2 Lardon mit M6) wird verwendet um eine Spindellagerung zu verspannen. Die maximale achsiale Last auf die Lager darf 10000 N nicht übersteigen. Welches sind das Anzugs- und Lösemoment ?

Anzugs- und Lösemoment der Stellmutter:

Anziehen:

---

$$M = M_A + M_R = 0.17 \cdot F_L \cdot d = 0.17 \cdot 10000 \cdot 50 = 85000 \text{ Nmm}$$

Lösen:

$$M = M_L + M_R + M_G = 0.0785 \cdot F_L \cdot d + 0.075 \cdot F_L \cdot d + n \cdot F_R \cdot \frac{d}{2} = 0.15 \cdot F_L \cdot d + n \cdot F_R \cdot \frac{d}{2}$$

$$M = 0.15 \cdot 10000 \cdot 50 + 2 \cdot 572.5 \cdot 25 = 103625 \text{ Nmm}$$

Kontrolle Flächenpressung / Scherspannung  $\Rightarrow$  max. achsiale Belastung:

$$F_L \leq Pa_{zul} \cdot \frac{m}{p} \cdot \pi \cdot d \cdot 0.54p = 150 \cdot \frac{14}{1.5} \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0.54 \cdot 1.5 = 178128 \text{ N} \quad \Rightarrow \text{i.O.}$$

$$F_L \leq \tau_{zul} \cdot \pi \cdot d \cdot m = 560 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 14 = 1231504 \text{ N} \quad \Rightarrow \text{i.O.}$$

Annahme: Eine Stellmutter MRR 100x2 (2 Lardon mit M8) wird verwendet um eine Spindellagerung zu verspannen.  
Die maximale achsiale Last auf die Lager darf 25000 N nicht übersteigen.  
Welches sind das Anzugs- und Lösemoment ?

Anzugs- und Lösemoment der Stellmutter:

Anziehen:

$$M = M_A + M_R = 0.17 \cdot F_L \cdot d = 0.17 \cdot 25000 \cdot 100 = 425000 \text{ Nmm}$$

Lösen:

$$M = M_L + M_R + M_G = 0.0785 \cdot F_L \cdot d + 0.075 \cdot F_L \cdot d + n \cdot F_R \cdot \frac{d}{2} = 0.15 \cdot F_L \cdot d + n \cdot F_R \cdot \frac{d}{2}$$

$$M = 0.15 \cdot 25000 \cdot 100 + 2 \cdot 858.75 \cdot 50 = 460875 \text{ Nmm}$$

Kontrolle Flächenpressung / Scherspannung  $\Rightarrow$  max. achsiale Belastung:

$$F_L \leq Pa_{zul} \cdot \frac{m}{p} \cdot \pi \cdot d \cdot 0.54p = 150 \cdot \frac{20}{2} \cdot \pi \cdot 100 \cdot 0.54 \cdot 2 = 508938 \text{ N} \quad \Rightarrow \text{i.O.}$$

$$F_L \leq \tau_{zul} \cdot \pi \cdot d \cdot m = 560 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 20 = 3518583 \text{ N} \quad \Rightarrow \text{i.O.}$$