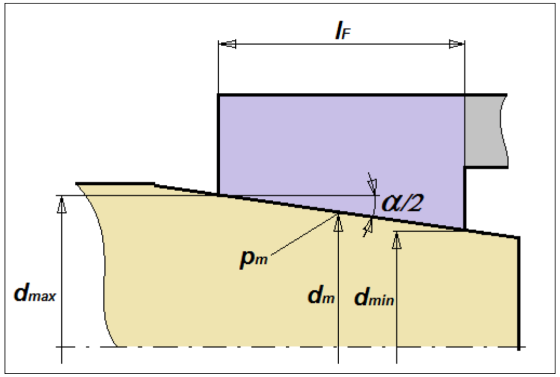
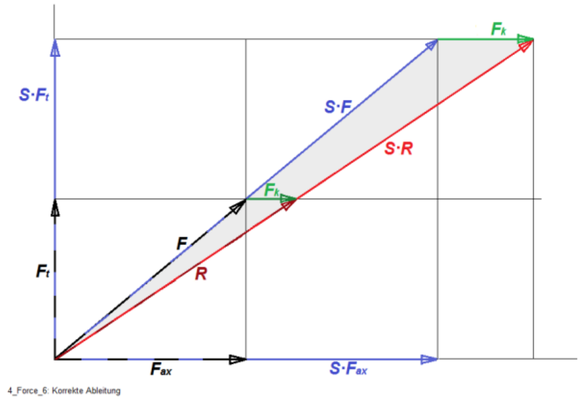
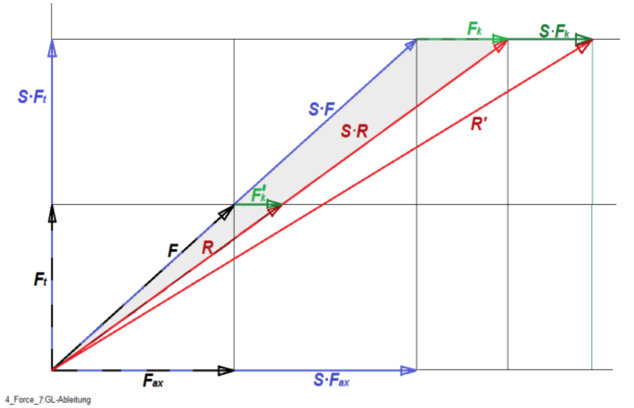
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Belastungsübertragung an einem Kegelpressverband** | | | | 1 |
| **Formelzeichen** | | | | 2 |
| Axialkraft | $F_{ax}$ [N] | | Axial force | 3 |
| Tangentialkraft | $F_t$ [N] | | Tangential force | 4 |
| Abtriebskraft am Kegels | $F_k$ [N] | | Slope force | 5 |
| Resultierende Kraft ohne Berücksichtigung der Sicherheiten u. ohne $F_k$ | $F$ [N] | | Resulting force without safety $S$ and $F_k$ | 6 |
| Effektive resultierende Kraft | $R$ [N] | | Effective resulting force | 7 |
| | | | | 8 |
| Sicherheit für die Kraftübertragung | $S$ [ - ] $\geq 1{,}0$ | | Safety for the force transmision | 9 |
| | | | | |
| Mittlere Pressung | $p_m$ [Nmm²] | | Mean pressure | 10 |
| Erforderliche Pressung | $p_{erf}$ [Nmm⁻²] | | Required pressure | 11 |
| | | | | 12 |
| Kleiner Fugendurchmesser (Kegeldurchmesser) | $d_{min}$ [mm] | | Minimum diameter | 13 |
| Mittlerer Fugendurchmesser (Kegeldurchmesser) | $d_m = D_S$[mm] | | Mean diameter | 14 |
| Großer Fugendurchmesser (Kegeldurchmesser | $d_{max}$ [mm] | | Maximum diameter | 15 |
| | | | | 16 |
| Effektive Pressungsfläche für Kraftübertragung | $A$ [mm²] | | Effective pressure area | 17 |
| Länge der Pressungsfläche / effektive Länge | $l_F = L$ [mm] | | | 18 |
| Effektivität der Pressungsfläche (Reduzierung durch Fasen, Nuten usw.) | $\eta$ [ - ] $\leq 1{,}0$ | | Effectivity of the pressure area | 19 |
| Kegelwinkel | $\alpha$ [rad] $\geq 0{,}0$ | | Cone angle | 20 |
| Reibungsbeiwert | $\mu$ [ - ] $> 0{,}0$ | | Friction coefficient | 21 |
| | | | | 22 |
| Leistung | $P$ [KW] | | Power | 23 |
| Drehmoment | $M_t$ [Nm] | | Torque | 24 |
| Drehzahl | $n$ [min⁻¹] | | Number of revolutions | 25 |
| Winkelgeschwindigkeit | $\omega$ [ s⁻¹] | | Angular velocity | 26 |
| | | | | 27 |



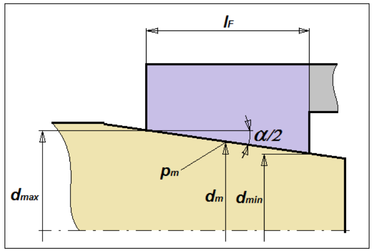

| a | b | c | 28 |
|---|---|---|---|
| $M_t = \frac{P}{\omega}$ $[kNm = 10^3 Nm = 10^6\ Nmm]$ | $F_t = \dfrac{2 \cdot M_t}{d_m} = \dfrac{4 \cdot M_t}{d_{max} + d_{min}} [N]$ | Mit $p_{erf} = p_m$ : $S \cdot R = \sqrt{(S \cdot F_{ax} + F_k)^2 + (S \cdot F_t)^2} = p_{erf} \cdot \mu \cdot A$ | 29 |
| $\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$ $[s^{-1}]$ | $F_{ax}$ [N] | Mit $p_{erf} = \frac{S \cdot R}{\mu \cdot A}$: $p_{erf} = \frac{\sqrt{(S \cdot F_{ax} + F_k)^2 + (S \cdot F_t)^2}}{\mu \cdot A}$ | 30 |
| $d_{min} = d_{max} - 2 \cdot \tan\alpha/2 \cdot l_F$ [mm] | $F_k = p_{erf} \cdot A \cdot \tan\alpha/2$ [N] | Mit $H = \frac{\tan\alpha/2}{\mu} < 1{,}0$ : $p_{erf} = \frac{S}{\mu \cdot A \cdot (1 - H^2)} \cdot \left[ H \cdot F_{ax} + \sqrt{F_{ax}^2 + F_t^2 \cdot (1 - H^2)} \right]$ | 31 |
| $\tan\alpha/2 = \frac{d_{max} - d_{min}}{2 \cdot l_F}$ $[-] \approx \alpha/2$ [rad] | $A = \pi \cdot \dfrac{d_{max} + d_{min}}{2} \cdot \eta \cdot l_F$ [mm²] | $0{,}06 < \mu < 0{,}35$ ($St/St: \mu \approx 0{,}08 \ldots \mathbf{0{,}12} \ldots 0{,}15$ ), $\tan\alpha = 1/10 \ldots 1/40$, $S = 2{,}0 \ldots 3{,}0$ , $\eta = 0{,}90 \ldots 0{,}95$ | 32 |
| | | Zylindrische Pressfuge / cylindrical joint : $\alpha = 0 \rightarrow H = 0$ bzw. $d_{max} = d_{min}$ | 33 |
| | | | |

## *Erforderliche mittlere Pressung zur Kraftübertragung durch eine Kegelverbindung - Required mean pressure for the force transmission by means of a cone friction clutch*

| **Wie hat es er GL gemacht?** | **G**ermanischer **L**loyd | *Ist hier der Reibwert nochmal abgesichert mit der Sicherheit S.* | |
|---|---|---|---|
| GL (2006)-Gleichung | $p_{GL}=\frac{\sqrt{\theta^2\cdot T^2+f(Q^2+T^2)}+\theta\cdot T}{A\cdot f}$ | $f=\left(\frac{\mu}{S}\right)^2-\theta^2=\left(\frac{\mu}{S}\right)^2-\left(tan\frac{\alpha}{2}\right)^2$ | |
| | *Diese Vorgehensweise führt zu wesentlich höheren erforderlichen Pressung* |  | |
| | $R'=p_{GL}\cdot\mu\cdot A=\sqrt{(S\cdot F_{ax}+S\cdot F_K)^2+S^2\cdot F_t^2}$ | $F_K=p_{GL}\cdot A\cdot tan\,\alpha/2$ | |
| | $p_{GL}^2\cdot\mu^2\cdot A^2=(S\cdot F_{ax}+S\cdot p_{GL}\cdot A\cdot tan\,\alpha/2)^2+S^2\cdot F_t^2$ | $p_{GL}^2\cdot\frac{\mu^2\cdot A^2}{S^2}=(F_{ax}+p_{GL}\cdot A\cdot tan\,\alpha/2)^2+S^2\cdot F_t^2$ | |
| $p_{GL}^2\cdot\frac{\mu^2\cdot A^2}{S^2}-F_{ax}^2-2\cdot p_{GL}\cdot F_{ax}\cdot A\cdot tan\,\alpha/2-p_{GL}^2\cdot A^2\cdot tan^2\,\alpha/2-F_t^2$ | | $p_{GL}^2\cdot\left(\frac{\mu^2\cdot A^2}{S^2}-A^2\cdot tan^2\,\alpha/2\right)-2\cdot p_{GL}\cdot F_{ax}\cdot A-F_{ax}-F_{ax}$ | |
| $p_{GL}^2-2\cdot p_{GL}\cdot\frac{F_{ax}\cdot A\cdot tan\alpha/2}{\frac{\mu^2\cdot A^2}{S^2}-A^2\cdot tan^2\alpha/2}-\frac{F_{ax}^2+F_t^2}{\frac{\mu^2\cdot A^2}{S^2}-A^2\cdot tan^2\alpha/2}$ | | $p=\frac{F_{ax}\cdot A\cdot tan\alpha/2}{\frac{\mu^2\cdot A^2}{S^2}-A^2\cdot tan^2\alpha/2}+\sqrt{\frac{F_{ax}^2\cdot A^2\cdot tan^2\alpha/2}{\left(\frac{\mu^2\cdot A^2}{S^2}-A^2\cdot tan^2\alpha/2\right)^2}+\frac{F_{ax}^2+F_t^2}{\frac{\mu^2\cdot A^2}{S^2}-A^2\cdot tan^2\alpha/2}}$ | |
| $p_{GL}=\frac{F_{ax}\cdot A}{\frac{\mu^2\cdot A^2}{S^2}-A^2\cdot tan^2\alpha/2}+\sqrt{\frac{F_{ax}^2\cdot A^2\cdot tan^2\alpha/2}{\left(\frac{\mu^2\cdot A^2}{S^2}-A^2\cdot tan^2\alpha/2\right)^2}+\frac{F_{ax}^2+F_t^2}{\frac{\mu^2\cdot A^2}{S^2}-A^2\cdot tan^2\alpha/2}}$ | | $p_{GL}=\frac{1}{A\cdot\left(\left(\frac{\mu}{S}\right)^2-tan^2\alpha/2\right)}\left[F_{ax}\cdot tan\,\alpha/2+\sqrt{F_{ax}^2\cdot tan^2\,\alpha/2+(F_{ax}^2+F_t^2)\cdot\frac{\frac{\mu^2\cdot A^2}{S^2}-A^2\cdot tan^2\alpha/2}{A^2}}\right]$ | |
| $p_{GL}=\frac{1}{A\cdot\left(\left(\frac{\mu}{S}\right)^2-tan^2\alpha/2\right)}\left[tan\,\alpha/2\cdot F_{ax}+\sqrt{tan^2\,\alpha/2\cdot F_{ax}^2+\text{ü}\left(\frac{\mu^2}{S^2}-tan^2\,\alpha/2\right)\cdot(F_{ax}^2+F_t^2)\cdot}\right]$ | | $p_{GL}=\frac{1}{A\cdot\left(\left(\frac{\mu}{S}\right)^2-\theta^2\right)}\left[\theta\cdot F_{ax}+\sqrt{\theta^2\cdot F_{ax}^2+\left(\frac{\mu^2}{S^2}-\theta^2\right)\cdot(F_{ax}^2+F_t^2)\cdot}\right]$ | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **DNV-ohne Eisklasse-2012** | ***D**et **N**orske **V**eritas* | | |
| | $p = \frac{\sqrt{\left(1-\frac{\theta^2}{\mu^2}\right)\cdot F_T^2+Fh^2}+Fh\cdot\frac{\theta}{\mu}}{\mu\cdot\pi\cdot D_S\cdot L\cdot\left(1-\frac{\theta^2}{\mu^2}\right)\cdot 10^3}\ [MPa]$ | | |
| Tangentialkraft | $F_t\,[kN]$ | | |
| Axialkraft | $F_{ax}\ [kN]$ | | |
| Reibwert | $\mu\ [-]$ | | |
| Effektive Länge | $L\ [m]$ | | |
| Kegellänge zw. $D_{max}$ und $D_{min}$ | $L'\ [m]$ | Zur Bestimmung des Kegelverhältnisses | |
| Mittlerer Durchmesser | $D_{max} - D_{min}$ | | |
| Halbes Kegelverhältnis | $tan\frac{\alpha}{2} = \frac{D_{max} - D_{min}}{2 \cdot L'}$ | | |
| Effektive Kegelfläche | $A = \pi \cdot D_S \cdot L$ | Ohne Fasen, Nuten u.ä | |
| **DNV-Ice-2013** | | | |
| ***Für Propeller*** | $p_{0°C} = \frac{2 \cdot 2{,}0 \cdot \boldsymbol{T_{peak}}}{\pi \cdot \mu \cdot D_S^2 \cdot L \cdot 10^3}\ [MPa]$ | Rules for Ships, July 2013 / Pt.5 Ch.1 Sec.8 – Page 151 | |
| Spitzenmoment | $T_{peak}\ [kNm]$ | Rules for Ships, July 2013 / Pt.5 Ch.1 Sec.8 – Page 146 | |
| Reibwert | $\mu\ [-]$ | $\mu = 0{,}14\ für\ Stahl : Stahl,\ \ \mu = 0{,}13\ für\ Stahl : Bronze,\ (Glyzerin + 0{,}04)$ | |
| mittlererDurchmesser | $D_S\ [m]$ | | |
| Effektive Kegellänge | $L\ [m]$ | | |
| ***Für Welle*** | $p = \frac{2 \cdot 1{,}8 \cdot \boldsymbol{T_{peak}}}{\pi \cdot \mu \cdot D_S^2 \cdot L \cdot 10^3}\ [MPa]$ | Rules for Ships, July 2013 / Pt.5 Ch.1 Sec.8 – Page 154 | |
| Spitzenmoment | $T_{peak}\ [kNm]$ | | |
| Reibwert | $\mu\ [-]$ | $\mu = 0{,}14\ für\ Stahl : Stahl\ \ (Glyzerin + 0{,}04)$ | |
| Mittlerer Durchmesser | $D_S\ [m] = (D_{max} + D_{min})/2$ | | |
| Effektive Kegellänge | $L\ [m]$ | Ohne Fasen | |
| Effektive Kegelfläche | $A = \pi \cdot D_S \cdot L$ | Ohne Fasen, Nuten u.ä. | |
| | | | |

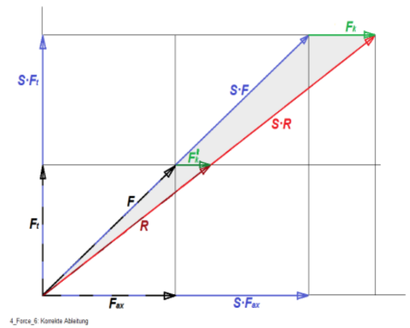
**Belastungsübertragung an einer Kegelverbindung**




Welche Basis haben die Gleichungen zur Ermittlung der erforderlichen Pressung?

**Eigene Rechnung**

$$p_{erf} = \frac{S \cdot \left[\sqrt{\left(1-\frac{\theta^2}{\mu^2}\right)\cdot F_t^2 + F_{ax}^2} + \frac{\theta}{\mu}\cdot F_{ax}\right]}{\mu \cdot A_{eff}\cdot\left(1-\frac{\theta^2}{\mu^2}\right)\cdot 10^3}\ [Mpa]$$




**DNV**
*Det Norske Veritas*
ohne Eis
(für Resonanzfall zusätzliche Berechnung)

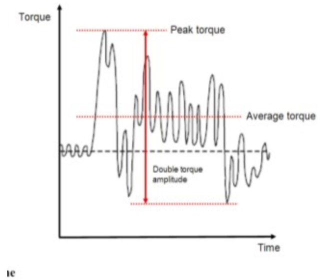
$$p_{DNV} = \frac{\sqrt{\left(1-\frac{\theta^2}{\mu^2}\right)\cdot F_t^2 + F_{ax}^2} + \frac{\theta}{\mu}\cdot F_{ax}}{\mu\cdot\pi\cdot D_S\cdot L\cdot\left(1-\frac{\theta^2}{\mu^2}\right)\cdot 10^3}\ [MPa]$$

besser $$p = \frac{\sqrt{\left(1-\frac{\theta^2}{\mu^2}\right)\cdot F_t^2 + F_{ax}^2} + \frac{\theta}{\mu}\cdot F_{ax}}{\mu\cdot A_{eff}\cdot\left(1-\frac{\theta^2}{\mu^2}\right)\cdot 10^3}\ [MPa]$$

**DNV**
mit Eisklasse für Welle

$$p_{DNV} = \frac{2\cdot 1{,}8\cdot T_{peak}}{\mu\cdot\pi\cdot D_S^2\cdot L\cdot 10^3}\ [MPa]$$

besser $$p = \frac{1{,}8\cdot T_{peak}}{\mu\cdot A_{eff}\cdot\frac{D_S}{2}\cdot 10^3}\ [MPa]$$



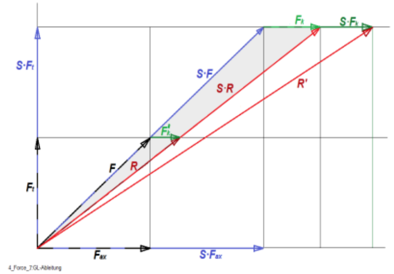

**DNV**
mit Eisklasse für Propeller

$$p_{DNV-0°C} = \frac{2\cdot 2{,}0\cdot T_{peak}}{\mu\cdot\pi\cdot D_S^2\cdot L\cdot 10^3}\ [MPa]$$

besser $$p = \frac{2{,}0\cdot T_{peak}}{\mu\cdot A_{eff}\cdot\frac{D_S}{2}\cdot 10^3}\ [MPa]$$

**GL**
*Germanischer Lloyd*

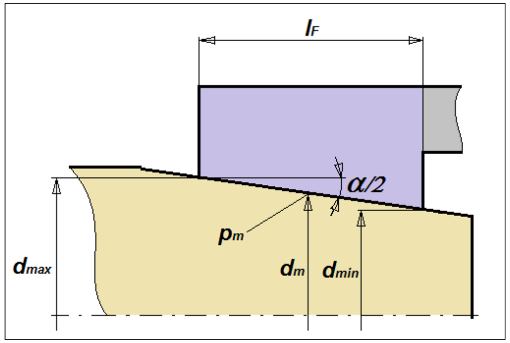
$$p_{GL} = \frac{1}{A_{eff}\cdot\left(\left(\frac{\mu}{S}\right)^2-\theta^2\right)\cdot 10^3}\cdot\left[\sqrt{\theta^2\cdot F_{ax}^2 + \left(\frac{\mu^2}{S^2}-\theta^2\right)\cdot\left(F_{ax}^2+F_t^2\right)} + \theta\cdot F_{ax}\right]$$

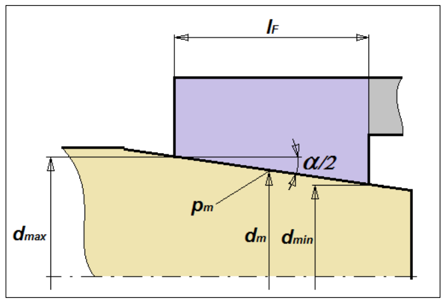



Kegelwinkel: $\alpha\ [rad]$
Tangentialkraft: $\theta = \tan\alpha/2$
Reibwert: $\mu\ [-]$

Effektive Kegelfläche: $A_{eff}\,[mm^2]$
Mittlerer Durchmesser: $D_S\ [mm]$
Effektive Kegellänge: $L\ [mm]$

Tangentialkraft: $F_t\ [kN]$
Axialkraft: $F_{ax}\ [kN]$
Spitzenmoment: $T_{peak}\ [kNm]$

| | | | |
|---|---|---|---|
| Bei Kegelpressverbindungen aus Materialien mit <u>gleichem</u> Wärmeausdehnungskoeffizienten spielt die Betriebstemperatur keine Rolle, wenn beim Fügungsprozess die Teile (Welle, Nabe) die gleiche Temperatur haben. Bei dieser Kegelverbindungen ist der Aufschubweg unabhängig von der Temperatur. | | |  |
| Bei Kegelpressverbindungen aus Materialien (z.B. Stahl / Bronze), die <u>nicht den gleichen</u> Wärmeausdehnungskoeffizienten haben, sollten die Teile (Welle, Nabe) beim Fügen die gleiche Temperatur haben. Der Aufschubweg hängt auf Grund der Unterschiedlichen Ausdehnung trotzdem von der gemeinsamen Fügetemperatur ab:<br>Die Verbindung muss die Belastung im vorgegebenen Arbeitsbereich / Temperaturbereich sicher übertragen aber auch den Festigkeitsansprüchen genügen. | | | |
| Beispiel | Nabe: Bronze: $\alpha_{Bz} = 18 \cdot 10^{-6} \frac{1}{C°}$ | Welle: $\alpha_{St} = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{C°}$ | $\alpha_{Bz} - \alpha_{St} = 6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{C°}$<br>$D = 300mm, \Delta t = 35°, \Delta D \approx 0{,}063mm, tan\frac{\alpha}{2} = 1/60, \Delta a \approx 1{,}9mm$ |
| | <u>Untere Grenztemperatur</u> (z.B. 0°C)<br>Aufschubweg maximal bei der Montage:<br>Hohe Fugenpressung →Relevant für Festigkeit | <u>Obere Grenztempetratur</u> (z.b. 35°C)<br>Aufschubweg minimal bei der Montage:<br>Geringe Fugenpressung → Relevant für Momentübertragung | <u>Also:</u> Bei Kegelpressverbänden muss für die Montage der Aufschubweg in Abhängigkeit von der Temperatur vorgegeben werden. |
| | Es muss immer die <u>gleiche Endlage</u> der Nabe auf dem Wellenkegel erreicht werden, um das Moment sicher zu übertragen! | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Aufschubweg: | $a = \frac{z}{2 \cdot tan\frac{\alpha}{2}} = \frac{(u + 2 \cdot (g_i \cdot R_{ti} + g_a \cdot R_{ta}))}{2 \cdot tan\frac{\alpha}{2}}$<br>berechnetes Übermaß<br>Übermaßverlust durch elastische und plastische Glättung der Rauheiten, führt zur Vergrößerung des Aufschubweges | Gesamtübermaß: $z\ [mm]$<br>berechnetes Übermaß: $u\ [mm]$<br>(effektives Übermaß)<br>Rauheit der Nabe: $R_{ti}$ [mm]<br>Rauheit der Welle: $R_{ta}\ [mm]$<br>Glättungsfaktor/Welle: $g_i\ [-]$<br>Glättungsfaktor/Nabe: $g_a [-]$ |  |
| | | | |