

Formelsammlung Holzbau

Grundlage der Formelsammlung bildet die DIN 1052:2008-12

Allgemeines:

$$\gamma_{\text{Holz}} \approx 5 \text{ KN/m}^3$$

Zug in Faserrichtung nach DIN 1052:2008-12

Allgemein: $A_{\text{Netto}} = A_{\text{Brutto}} - \Delta A$ [cm²]

Dübel bes. Bauart: $A_{\text{Netto}} = A_{\text{Brutto}} - x \cdot \Delta A_{\text{Dü}} - \Delta A_{\text{Bolz}}$ [cm²]

x: Anzahl Dübel in Schnitt
 $\Delta A_{\text{Dü}}$: [cm²] siehe DIN 1052:2008-12 Seite 140
 ΔA_{Bolz} : [cm²] = ($d_{\text{Bolz}} + 0,1$) • (t - h_e) • n
h_e: [cm] Einlasstiefe → Skript II – 2/57
t: [cm] Dicke des Holzes
n: Anzahl der Bolzen

$$\sigma_{t,0,d} = \left| \frac{F_d}{A_{\text{netto}}} \right| [\text{KN/cm}^2]$$

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m} [\text{KN/cm}^2]$$

k_{mod}: Skript 1/26
f_{t,0,k}: Skript 1/29 & 1/31
γ_m: 1,3

Bei einseitig beanspruchten Laschen entsteht aufgrund der exzentrischen Lasteinleitung Zusatzmomente. Dies wird mit dem Beiwert k_{tE} berücksichtigt:

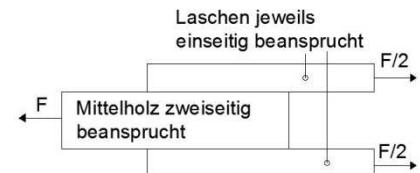
- Stabdübel, vorgebohrte Nägel & Dübel besonderer Bauart ohne ausziehfeste Verbindungsmittel: k_{tE} = 0,4
- Stabdübel, vorgebohrte Nägel & Dübel besonderer Bauart mit ausziehfesten Verbindungsmitteln: k_{tE} = 2/3
- Das ausziehfeste Verbindungsmittel wird in der letzten Verbindungsmittelreihe angeordnet und muss für die Zugkraft F_{t,d} bemessen werden:

$$F_{t,d} = \frac{F_d \cdot t}{2 \cdot n \cdot a} [\text{KN}]$$

F_d: Normalkraft in der einseitig beanspruchten Lasche
n: Anzahl der Verbindungsmittel, ohne ausziehfestes Verbindungsmittel
t: [cm] Dicke der einseitig beanspruchten Lasche
a: [cm] Abstand des auf herausziehen beanspruchten Verbindungsmittel von der nächsten Verbindungsmittelreihe (i.d.R = a₁)

→ Bolzen, Passbolzen, nicht vorgebohrte Nägel, Schrauben: k_{tE} = 2/3

Bei zweiseitig beanspruchtem Holz beträgt der k_{tE} – Wert 1,0



Nachweis: $\frac{\sigma_{t,0,d}}{k_{tE} \cdot f_{t,0,d}} \leq 1$

Zug unter einem Winkel α

$$\sigma_{t,\alpha,d} = \left| \frac{F_d}{A_{\text{netto}}} \right| [\text{KN/cm}^2]$$

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m} [\text{KN/cm}^2]$$

$$f_{t,90,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_m} [\text{KN/cm}^2]$$

k_{mod}: Skript 1/26
f_{t,0,k}: Skript 1/29 & 1/31
f_{t,90,k}: Skript 1/29 & 1/31
γ_m: 1,3

$$k_\alpha = \frac{1}{\frac{f_{t,0,d}}{f_{t,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \frac{f_{t,0,d}}{f_{v,d}} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \cos^2 \alpha}$$

α: Winkel zwischen Beanspruchungsrichtung & Faserrichtung

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{t,\alpha,d}}{k_\alpha \cdot f_{t,0,d}} \leq 1$$

Druck in Faserrichtung

$$\sigma_{c,0,d} = \left| \frac{F_{c,0,d}}{A_{\text{Netto}}} \right| [\text{KN/cm}^2]$$

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} [\text{KN/cm}^2]$$

k_{mod}: Skript 1/26
 f_{c,0,k}: Skript 1/29 & 1/31
 γ_m: 1,3

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

Druck rechtwinklig zur Faserrichtung

$$\sigma_{c,90,d} = \left| \frac{F_{c,90,d}}{A_{\text{ef}}} \right| [\text{KN/cm}^2]$$

A_{ef}: wirksame Querdruckfläche (darf in Faserrichtung um 3cm vergrößert werden)

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} [\text{KN/cm}^2]$$

k_{mod}: Skript 1/26
 f_{c,90,k}: Skript 1/29 & 1/31
 γ_M: 1,3

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \leq 1$$

k_{c,90}: siehe DIN 1052:2008-12 Seite 65

Druck unter einem Winkel zur Faserrichtung

Nachweis Fuge 1:

$$\sigma_{c,\alpha1,d} = \frac{F_{c,\alpha1,d}}{A_{\text{ef},1}} [\text{KN/cm}^2]$$

$$k_{c,\alpha1} = 1 + (k_{c,90} - 1) \cdot \sin \alpha_1$$

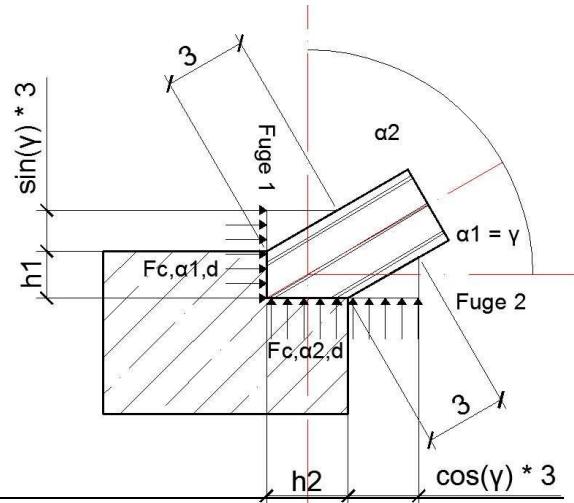
$$f_{c,\alpha1,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,\alpha1,k}}{\gamma_M} [\text{KN/cm}^2]$$

A_{ef1}: b • (h₁ + sin(γ) • 3)
 k_{c,90}: siehe DIN 1052:2008-12 Seite 65
 k_{mod}: siehe DIN 1052:2008-12 Seite 190
 f_{c,a,k}: siehe Beiblätter
 γ_M: 1,3
 α: Winkel zwischen Beanspruchungs- und Faserrichtung

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{c,\alpha1,d}}{k_{c,\alpha1} \cdot f_{c,\alpha1,d}} \leq 1$$

k_{c,a2}: Skript II - 1/55



Nachweis Fuge 2:¹

$$\sigma_{c,\alpha2,d} = \frac{F_{c,\alpha2,d}}{A_{\text{ef},2}} [\text{KN/cm}^2]$$

$$k_{c,\alpha2} = 1 + (k_{c,90} - 1) \cdot \sin \alpha_2$$

$$f_{c,\alpha2,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,\alpha2,k}}{\gamma_M} [\text{KN/cm}^2]$$

A_{ef2}: b • (h₂ + cos(γ) • 3)
 k_{c,90}: siehe DIN 1052:2008-12 Seite 65
 k_{mod}: siehe DIN 1052:2008-12 Seite 190
 f_{c,a,k}: siehe Beiblätter
 γ_M: 1,3
 α: Winkel zwischen Beanspruchungs- und Faserrichtung

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{c,\alpha2,d}}{k_{c,\alpha2} \cdot f_{c,\alpha2,d}} \leq 1$$

¹ wenn Auflager aus Holz und dieses rechtwinklig zur Faserrichtung beansprucht wird, ist der Druck rechtwinklig zur Faserrichtung maßgebend!

Reine Biegung

Allgemeiner Querschnitt:

$$W_y = \frac{I_y}{z} \text{ [cm}^3\text{]} \quad \text{bzw. } W_z = \frac{I_z}{y} \text{ [cm}^3\text{]}$$

Rechteckquerschnitt:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \text{ [cm}^3\text{]} \quad \text{bzw. } W_z = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h \text{ [cm}^3\text{]}$$

I_y: siehe Tabellenbuch bzw. für Rechteckquerschnitt:

$$I_y: \frac{b \cdot h^3}{12} + A \cdot z^2 \text{ [cm}^4\text{]}$$

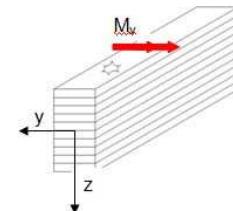
$$I_z: \frac{b^3 \cdot h}{12} + A \cdot y^2 \text{ [cm}^4\text{]}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \left| \frac{M_{y,d}}{W_y} \right| \quad \text{bzw. } \sigma_{m,z,d} = \left| \frac{M_{z,d}}{W_z} \right|$$

bei Flachkant-Biegebeanspruchung von Brettschichtholz mit $h > 60\text{cm}$:

$$k_l = 1,0$$

$$k_h = 1,0$$



bei Flachkant-Biegebeanspruchung von Brettschichtholz mit $h \leq 60\text{cm}$:

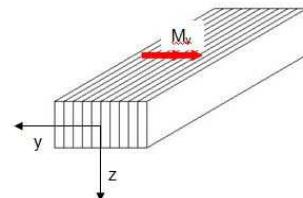
$$k_l = 1,0$$

$$k_h = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,1 \\ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,14} \end{array} \right.$$

Bei Hochkant-Biegebeanspruchung von Brettschichtholz aus mind. 4 Lamellen:

$$k_l = 1,2$$

$$k_h = 1,0$$



$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \cdot k_h \cdot k_l \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

k_{mod} : Skript 1/26
 $f_{m,k}$: Skript 1/29 & 1/31
 γ_m : 1,3

Nachweis:

Bei Biegung um eine Achse:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad \text{bzw. } \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad *1$$

$\sigma_{m,y,d}$: siehe oben [KN/cm²]
 $f_{m,d}$: siehe oben [KN/cm²]

Bei Biegung um zwei Achsen:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{und}$$

$$k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$\sigma_{m,y,d}$: siehe oben [KN/cm²]
 $f_{m,d}$: siehe oben [KN/cm²]
 k_{red} : 0,7 für Rechteckquerschnitte mit $h/b \leq 4$
1,0 für andere Querschnitte

*1 bei Biegung um nur eine Achse gibt es keine Spannungsspitze, sondern konstante Spannung über gesamten Querschnitt → kein k_{re}

Biegung & Zug

Allgemeiner Querschnitt:

$$W_y = \frac{I_y}{z} \text{ [cm}^3\text{]} \quad \text{bzw. } W_z = \frac{I_z}{y} \text{ [cm}^3\text{]}$$

Rechteckquerschnitt:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \text{ [cm}^3\text{]} \quad \text{bzw. } W_z = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h \text{ [cm}^3\text{]}$$

I_y : siehe Tabellenbuch bzw. für Rechteckquerschnitt:

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} + A \cdot z^2 \text{ [cm}^4\text{]}$$

$$I_z = \frac{b^3 \cdot h}{12} + A \cdot y^2 \text{ [cm}^4\text{]}$$

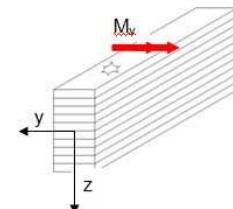
$$\sigma_{m,y,d} = \left| \frac{M_{y,d}}{W_y} \right| \text{ [KN/cm}^2\text{]} \quad \text{bzw. } \sigma_{m,z,d} = \left| \frac{M_{z,d}}{W_z} \right| \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \left| \frac{F_d}{A_{\text{netto}}} \right| \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

bei Flachkant-Biegebeanspruchung von Brettschichtholz mit $h > 60\text{cm}$:

$$k_l = 1,0$$

$$k_h = 1,0$$



bei Flachkant-Biegebeanspruchung von Brettschichtholz mit $h \leq 60\text{cm}$:

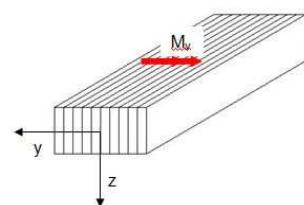
$$k_l = 1,0$$

$$k_h = \min \begin{cases} 1,1 \\ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,14} \end{cases}$$

Bei Hochkant-Biegebeanspruchung von Brettschichtholz aus mind. 4 Lamellen:

$$k_l = 1,2$$

$$k_h = 1,0$$



$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \cdot k_h \cdot k_l \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

k_{mod} : Skript 1/26
 $f_{m,k}$: Skript 1/29 & 1/31
 γ_m : 1,3

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m} \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

k_{mod} : Skript 1/26
 $f_{t,0,k}$: Skript 1/29 & 1/31
 γ_m : 1,3

Nachweis:

Bei Biegung um eine Achse:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad \text{bzw. } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad ^{*1}$$

$\sigma_{m,y,d}$: siehe oben [KN/cm²]
 $f_{m,d}$: siehe oben [KN/cm²]

Bei Biegung um zwei Achsen:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_{\text{red}} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

und

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_{\text{red}} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$\sigma_{t,0,d}$: siehe oben [KN/cm²]
 $f_{t,0,d}$: siehe oben [KN/cm²]
 $\sigma_{m,y,d}$: siehe oben [KN/cm²]
 $f_{m,d}$: siehe oben [KN/cm²]
 k_{red} : 0,7 für Rechteckquerschnitte mit $h/b \leq 4$
 1,0 für andere Querschnitte

^{*1} bei Biegung um nur eine Achse gibt es keine Spannungsspitze, sondern konstante Spannung über gesamten Querschnitt → kein k_{red}

Biegung & Druck

Allgemeiner Querschnitt:

$$W_y = \frac{I_y}{z} \text{ [cm}^3\text{]} \quad \text{bzw. } W_z = \frac{I_z}{y} \text{ [cm}^3\text{]}$$

Rechteckquerschnitt:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \text{ [cm}^3\text{]} \quad \text{bzw. } W_z = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h \text{ [cm}^3\text{]}$$

I_y : siehe Tabellenbuch bzw. für Rechteckquerschnitt:

$$I_y: \frac{b \cdot h^3}{12} + A \cdot z^2 \text{ [cm}^4\text{]}$$

$$I_z: \frac{b^3 \cdot h}{12} + A \cdot y^2 \text{ [cm}^4\text{]}$$

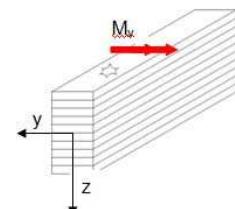
$$\sigma_{m,y,d} = \left| \frac{M_{y,d}}{W_y} \right| \text{ [KN/cm}^2\text{]} \quad \text{bzw. } \sigma_{m,z,d} = \left| \frac{M_{z,d}}{W_z} \right| \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \left| \frac{F_{c,90,d}}{A_{Netto}} \right| \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

bei Flachkant-Biegebeanspruchung von Brettschichtholz mit $h > 60\text{cm}$:

$$k_l = 1,0$$

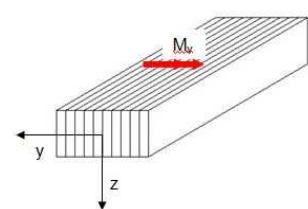
$$k_h = 1,0$$



bei Flachkant-Biegebeanspruchung von Brettschichtholz mit $h \leq 60\text{cm}$:

$$k_l = 1,0$$

$$k_h = \min \begin{cases} 1,1 \\ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,14} \end{cases}$$



Bei Hochkant-Biegebeanspruchung von Brettschichtholz aus mind. 4 Lamellen:

$$k_l = 1,2$$

$$k_h = 1,0$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \cdot k_h \cdot k_l \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

k_{mod} : Skript 1/26
 $f_{m,k}$: Skript 1/29 & 1/31
 γ_m : 1,3

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

k_{mod} : Skript 1/26
 $f_{c,0,k}$: Skript 1/29 & 1/31
 γ_m : 1,3

Nachweis (bei Biegung um eine Achse):

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad \text{bzw. } \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad *1$$

$\sigma_{m,y,d}$: siehe oben [KN/cm²]
 $f_{m,d}$: siehe oben [KN/cm²]

Nachweise (bei Biegung um 2 Achsen):

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

und

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$\sigma_{c,0,d}$: siehe oben [KN/cm²]
 $f_{c,0,d}$: siehe oben [KN/cm²]
 $\sigma_{m,y,d}$: siehe oben [KN/cm²]
 $f_{m,d}$: siehe oben [KN/cm²]
 k_{red} : 0,7 für Rechteckquerschnitte mit $h/b \leq 4$
 1,0 für andere Querschnitte

*1 bei Biegung um nur eine Achse gibt es keine Spannungsspitze, sondern konstante Spannung über gesamten Querschnitt → kein k_{red}

Schub einfache Biegung

Wenn Angriffspunkt von $F_i > 2,5 \cdot h$:

$$V_{d,red} = |extrV_d| - f_d \cdot h$$

f_d : in [KN/m]

x_v in [m]

Wenn Angriffspunkt von $F_i \leq 2,5 \cdot h$

→ siehe Skript 1/58 & 1/67

Allgemein:

$$\tau_d = \frac{V_{d,red} \cdot S_y}{I_y \cdot b} \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

Für Rechteckquerschnitte ^{*1}:

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_{d,red}}{A} \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

k_{mod} : Skript 1/26

$f_{v,k}$: Skript 1/29 & 1/31

γ_m : 1,3

Nachweis:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

^{*1} $S_y = \frac{1}{8} \cdot b \cdot h^3$; und $I_y = \frac{b \cdot h^3}{12}$ in allgemeine Formel eingesetzt

Schub bei Doppelbiegung

Wenn Angriffspunkt von $F_i > 2,5 \cdot h$:

$$V_{d,red} = |extrV_d| - f_d \cdot h$$

F_d : in [KN/m]

x_v in [m]

Wenn Angriffspunkt von $F_i \leq 2,5 \cdot h$

→ siehe Skript 1/58

Für Rechteckquerschnitte:

$$\tau_{z,d} = 1,5 \cdot \frac{V_z}{A} \text{ [KN/cm}^2\text{]} \quad \tau_{z,d} 1,5 \cdot \frac{V_z}{A} \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

Allgemein:

$$\tau_{z,d} = \frac{V_{z,d} \cdot S_y}{I_y \cdot b} \text{ [KN/cm}^2\text{]} \quad \tau_{y,d} = \frac{V_{y,d} \cdot S_z}{I_z \cdot b} \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

k_{mod} : Skript 1/26

$f_{v,k}$: Skript 1/29 & 1/31

γ_m : 1,3

Nachweis:

$$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1$$

Torsion

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} \text{ [KN/cm}^2]$$

k_{mod}: Skript 1/26
f_{v,k}: Skript 1/29 & 1/31
γ_m: 1,3

Nachweis:

$$\frac{T_{tor,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

Torsion und Schub aus Querkraft

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} \text{ [KN/cm}^2]$$

k_{mod}: Skript 1/26
f_{v,k}: Skript 1/29 & 1/31
γ_m: 1,3

Nachweis:

$$\frac{T_{tor,d}}{f_{v,d}} + \left(\frac{T_{y,d}}{f_{v,d}} \right)^2 + \left(\frac{T_{z,d}}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1$$

Nachweis Knicken nach Ersatzstabverfahren

$$\sigma_{c,0,d} = \left| \frac{F_{c,d}}{A} \right| \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

F_{c,d}: [KN]
A: [cm²]

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

f_{c,0,k}: Skript 1/29 & 1/31
γ_M: 1,3

Trägheitsradius für Rechteckquerschnitte:

$$i_y = 0,289 \cdot h \text{ [cm]} \quad h \text{ bzw. } b \text{ ist rechtwinklig zur Bezugsachse}$$

$$i_z = 0,289 \cdot b \text{ [cm]}$$

h: Höhe des Querschnittes [cm]
h: Breite des Querschnittes [cm]

Trägheitsradius für sonstige Querschnitte:

$$i_y = \sqrt{\frac{i_y}{A}} \text{ [cm]} \quad \text{bzw. } i_z = \sqrt{\frac{i_z}{A}} \text{ [cm]}$$

$$i_y: (b \cdot h^3)/12 + A \cdot z^2 \text{ [cm}^4\text{]}$$

$$i_z: (b^3 \cdot h)/12 + A \cdot y^2 \text{ [cm}^4\text{]}$$

Knicken in z – Richtung: I_{ef,y} = β • I_y

β: siehe Skript II - 1/72 ff.
I_{z/y}: Länge eines Stabes

Knicken in y – Richtung: I_{ef,z} = β • I_z

$$\lambda_y = \frac{I_{ef,y}}{I_y} \quad [\lambda] \quad \text{bzw. } \lambda_z = \frac{I_{ef,z}}{I_z} \quad [\lambda]$$

i_{y/z}: siehe oben
I_{ef}: siehe oben
ausführliche Berechnung siehe Skript II – 1/70

mit λ_y den k_{c,y} bzw. mit λ_z den k_{c,z} Wert aus Tab. Skript Seite A10/4ff. ablesen

$$\text{Interpolation: } k_{c,min} + \frac{k_{c,max} - k_{c,min}}{\lambda_{min} - \lambda_{max}} \cdot (\lambda_{geg.} - \lambda_{max})$$

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad \text{kleineres } k_c \text{ ist maßgebend}$$

Stabilitätsnachweis Kippen nach Ersatzstabverfahren

$$\sigma_{m,y,d} = \left| \frac{M_{y,d} \cdot 100}{W_y} \right| \text{ [KN/cm}^2]$$

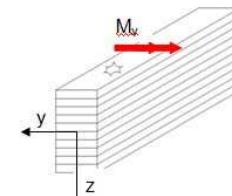
$M_{y,d}$: [KNm]
 W_y : für Rechteckquerschnitt --> $(b \cdot h^2)/6$ [cm³]

bei Querschnitten mit linear veränderlichem Querschnitt → Biegedruckspannung analog Abschnitt „Nachweis bei Trägern mit veränderlicher Höhe“ ermitteln

bei Flachkant-Biegebeanspruchung von Brettschichtholz mit $h > 60\text{cm}$:

$$k_l = 1,0$$

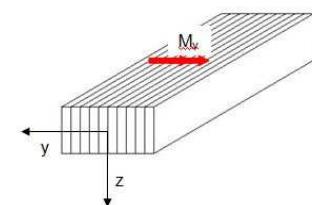
$$k_h = 1,0$$



bei Flachkant-Biegebeanspruchung von Brettschichtholz mit $h \leq 60\text{cm}$:

$$k_l = 1,0$$

$$k_h = \min \begin{cases} 1,1 \\ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,14} \end{cases}$$



Bei Hochkant-Biegebeanspruchung von Brettschichtholz aus mind. 4 Lamellen:

$$k_l = 1,2$$

$$k_h = 1,0$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \cdot k_h \cdot k_l \text{ [KN/cm}^2]$$

k_{mod} : Skript 1/26
 $f_{m,k}$: Skript 1/29 & 1/31
 γ_m : 1,3

bei Querschnitten mit linear veränderlichem Querschnitt → Biegefestigkeit analog Abschnitt „Nachweis bei Trägern mit veränderlicher Höhe“ ermitteln

Kippbeiwert für Rechteckquerschnitte:

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} \leq 140 \rightarrow k_m = 1$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} > 140 \rightarrow k_m \text{ aus Tabelle im Skript ablesen.}$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} > 990 \rightarrow \text{siehe Formeln Skript II - 1/77}$$

Interpolation:

$$k_m = k_{m,min} + \frac{k_{m,max} - k_{m,min}}{x_{min} - x_{max}} \cdot (x_{geg.} - x_{max})$$

$$\text{mit } x = (l_{ef} \cdot h) / b^2$$

l_{ef} : [cm] Länge auf der der Träger kippen kann
 h : Querschnittshöhe
 bei Querschnitten mit linear veränderlicher Querschnittshöhe
 $h = h^* = h_{min} + 0,65 \cdot (h_m - h_{min})$
 h_{min} : [cm] minimale Trägerhöhe
 h_m : [cm] Trägerhöhe an der Stelle des maximalen Momentes

Kippbeiwert für sonstige Querschnitte: → siehe Formeln Skript II - 1/77

Wenn seitlich ausgesteift oder Kippen vernachlässigt werden kann → $k_m = 1,0$

Nachweis:

Kippen bei einachsiger Biegung:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} \leq 1$$

Kippen bei zweiachsiger Biegung:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{und} \quad k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Stabilitätsnachweis Kippen + Knicken nach Ersatzstabverfahren

$$\sigma_{m,y,d} = \left| \frac{M_{y,d} \cdot 100}{W_y} \right| \text{ [KN/cm}^2]$$

M_{y,d}: [KNm]
W_y: für Rechteckquerschnitt --> (b•h²)/6 [cm³]
F_{c,d}: [KN]
A: [cm²]

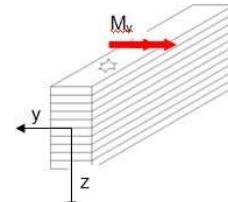
$$\sigma_{c,0,d} = \left| \frac{F_{c,d}}{A} \right| \text{ [KN/cm}^2]$$

bei Querschnitten mit linear veränderlichem Querschnitt → Biegedruckspannung analog Abschnitt „Nachweis bei Trägern mit veränderlicher Höhe“ ermitteln

bei Flachkant-Biegebeanspruchung von Brettschichtholz mit h > 60cm:

$$k_l = 1,0$$

$$k_h = 1,0$$

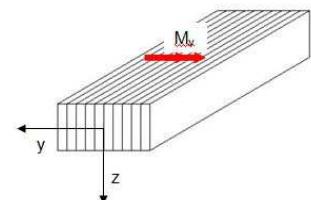


bei Flachkant-Biegebeanspruchung von Brettschichtholz mit h ≤ 60cm:

$$k_l = 1,0$$

$$k_h = \min \begin{cases} 1,1 \\ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,14} \end{cases}$$

h: [mm]



Bei Hochkant-Biegebeanspruchung von Brettschichtholz aus mind. 4 Lamellen:

$$k_l = 1,2$$

$$k_h = 1,0$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \cdot k_h \cdot k_l \text{ [KN/cm}^2]$$

k_{mod}: Skript 1/26 (größeres k_{mod} maßgebend)
f_{m,k}: Skript 1/29 & 1/31
f_{c,0,k}: Skript 1/29 & 1/31
γ_m: 1,3

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} \text{ [KN/cm}^2]$$

bei Querschnitten mit linear veränderlichem Querschnitt → Biegefestigkeit analog Abschnitt „Nachweis bei Trägern mit veränderlicher Höhe“ ermitteln

Kippbeiwert für Rechteckquerschnitte:

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} \leq 140 \rightarrow k_m = 1$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} > 140 \rightarrow k_m \text{ aus Tabelle im Skript ablesen.}$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} > 990 \rightarrow \text{siehe Formeln Skript II - 1/77}$$

Interpolation:

$$k_m = k_{m,min} + \frac{k_{m,max} - k_{m,min}}{x_{min} - x_{max}} \cdot (x_{geg.} - x_{max})$$

mit x = (l_{ef} • h) / b²

l_{ef}: [cm] Länge auf der der Träger kippen kann
h: Querschnittshöhe
bei Querschnitten mit linear veränderlicher Querschnittshöhe
h = h* = h_{min} + 0,65 • (h_m-h_{min})
h_{min}: [cm] minimale Trägerhöhe
h_m: [cm] Trägerhöhe an der Stelle des maximalen Momentes

Kippbeiwert für sonstige Querschnitte: → siehe Formeln Skript II - 1/77

Wenn seitlich ausgesteift oder Kippen vernachlässigt werden kann → k_m = 1,0

Trägheitsradius für Rechteckquerschnitte:

$$i_y = 0,289 \cdot h \text{ [cm]} \quad h \text{ bzw. } b \text{ ist rechtwinklig zur Bezugssachse}$$

h: bzw. h* Höhe des Querschnittes [cm]
b: Breite des Querschnittes [cm]

Trägheitsradius für sonstige Querschnitte:

$$i_y = \sqrt{\frac{l_y}{A}} \text{ bzw. } i_z = \sqrt{\frac{l_z}{A}}$$

$$l_y: (b \cdot h^3)/12 + A \cdot z^2 \text{ [cm}^4]$$

$$l_z: (b^3 \cdot h)/12 + A \cdot y^2 \text{ [cm}^4]$$

Knicken in z – Richtung: l_{ef,y} = β • i_y
Knicken in y – Richtung: l_{ef,z} = β • i_z

β: siehe Skript II - 1/72 ff.
l_{ef,y}: Länge eines Stabes

i_{y/z}: siehe oben

l_{ef}: siehe oben

ausführliche Berechnung siehe Skript II - 1/70

zu Stabilitätsnachweis Kippen + Knicken nach Ersatzstabverfahren

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} \quad [] \quad \text{bzw.} \quad \lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} \quad []$$

mit λ_y den $k_{c,y}$ bzw. mit λ_z den $k_{c,z}$ Wert aus Tabellen im Anhang ablesen

$$\text{Interpolation: } k_{c,min} + \frac{k_{c,max} - k_{c,min}}{\lambda_{min} - \lambda_{max}} \cdot (\lambda_{geg.} - \lambda_{max})$$

Nachweise:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

und

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$\sigma_{c,0,d}$: siehe oben [KN/cm^2]
 $f_{c,0,d}$: siehe oben [KN/cm^2]
 $\sigma_{m,y,d}$: siehe oben [KN/cm^2]
 $f_{m,y,d}$: siehe oben [KN/cm^2]
 $\sigma_{m,z,d}$: siehe oben [KN/cm^2]
 k_{red} : 0,7 für Rechteckquerschnitte mit $h/b \leq 4$
 1,0 für andere Querschnitte oder $h/b > 4$

Immer beide Nachweise führen. Wenn Träger seitlich ausgesteift ist $k_{c,z}$ & k_m jeweils 1,0

*1 bei Trägern mit linear veränderlicher Querschnittshöhe (Pulldach, Satteldach) darf der Kippnachweis analog geführt werden. Als Querschnittswerte sind die Werte im Abstand der 0,65 fachen Stablänge von dem Stabende mit dem kleineren Stabquerschnitt zu verwenden. $h_{0,65} = h_{min} + 0,65 \cdot (h_{max} - h_{min})$
 h_{max} : Trägerhöhe an der Stelle des maximalen Momentes

Gebrauchstauglichkeit

1.) Seltene Bemessungssituation:

1.1) Nachweis der elastischen Anfangsdurchbiegung (ohne Kriechen) infolge Q

Berechnen der Verformungen $w_{q,i,inst,z}$ und (wenn vorhanden) $w_{q,i,inst,y}$
 (wenn mehrere Veränderliche Einwirkungen vorhanden sind, muss für jede Einwirkung die Verformung berechnet werden)

bei mehreren Einwirkungen → Kombinationen bilden

$$w_{q,inst,z} = w_{q1,inst,z} + \sum (\psi_{0,i} \cdot w_{q,i,inst,z}) \text{ [cm]} \quad w_{q,inst,y} = w_{q1,inst,y} + \sum (\psi_{0,i} \cdot w_{q,i,inst,y}) \text{ [cm]}$$

(bei mehreren Einwirkungen ist einmal q_1 vorherrschend und einmal q_i)

$$w_{q,inst} = \sqrt{(w_{q,inst,z})^2 + (w_{q,inst,y})^2} \text{ [cm]}$$

(maßgebende Werte aus den Einwirkungen einsetzen)

$w_{q,i,inst,z}$: berechnete Durchbiegung siehe Extrablatt
 ψ_0 : Teilsicherheitsbeiwert
 → siehe DIN 1055-100 Tabelle A.2 (bzw. Anhang)

Nachweis

$$w_{q,inst} \leq l/300 \text{ (Kragträger } l_k/150)$$

1.2) Nachweis der Enddurchbiegung (mit Kriechen)

Berechnen der Verformungen $w_{g,inst,z}$ und (wenn vorhanden) $w_{g,inst,y}$

Berechnen der Verformungen $w_{q,i,inst,z}$ und (wenn vorhanden) $w_{q,i,inst,y}$

(wenn mehrere Veränderliche Einwirkungen vorhanden sind, muss für jede Einwirkung die Verformung berechnet werden)

Endverformung infolge ständiger Einwirkung:

$$w_{g,fin,z} = w_{g,inst,z} \cdot (1 + k_{def}) \text{ [cm]}$$

$$w_{g,fin,y} = w_{g,inst,y} \cdot (1 + k_{def}) \text{ [cm]}$$

k_{def} : Verformungsbeiwert (berücksichtigt Kriechen)
 bei unterschiedlichen Einwirkungen ist die Einwirkung mit der kürzesten Dauer maßgebend
 → siehe DIN1052:2008-12 Seite 191

Endverformung infolge veränderlicher Einwirkung:

$$w_{q,fin,z} = w_{q,1,inst,z} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) + \sum [w_{q,i,inst,z} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})]$$

$$w_{q,fin,y} = w_{q,1,inst,y} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) + \sum [w_{q,i,inst,y} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})]$$

k_{def} : Verformungsbeiwert (berücksichtigt Kriechen)
 → siehe DIN1052:2008-12 Seite 191
 ψ_2 : Teilsicherheitsbeiwert
 → siehe DIN 1055-100 Tabelle A.2 (bzw. Anhang)

(bei mehreren Einwirkungen ist einmal q_1 vorherrschend und einmal q_i)

Endverformung:

$$w_{fin,z} = w_{g,fin,z} + w_{q,fin,z} \text{ [cm]}$$

$$w_{fin,y} = w_{g,fin,y} + w_{q,fin,y} \text{ [cm]}$$

Nachweis:

$$\sqrt{(w_{fin,z} - w_{g,inst,z})^2 + (w_{fin,y} - w_{g,inst,y})^2} \leq l/200 \text{ (Kragträger } l_k/100)$$

Der Nachweis der Enddurchbiegung dient der Sicherheit für das Ausbaugewerk. Der Ausbau findet statt wenn sich die Balken infolge g bereits verformt haben. Erst die Verformungsdifferenz (aus Kriechen & Verkehr) kann zu Schäden führen.

zu Gebrauchstauglichkeit

2.) Quasiständige Bemessungssituation:

Berechnen der Verformungen $w_{g,inst,z}$ und (wenn vorhanden) $w_{g,inst,y}$

Berechnen der Verformungen $w_{q,inst,z}$ und (wenn vorhanden) $w_{q,inst,y}$

(wenn mehrere Veränderliche Einwirkungen vorhanden sind, muss für jede Einwirkung die Verformung berechnet werden)

Endverformung infolge ständiger Einwirkung:

$$w_{g,fin,z} = w_{g,inst,z} \cdot (1 + k_{def}) \text{ [cm]}$$

$$w_{g,fin,y} = w_{g,inst,y} \cdot (1 + k_{def}) \text{ [cm]}$$

Endverformung infolge veränderlicher Einwirkung:

$$w_{q,fin,z} = \sum [\psi_{2,i} \cdot w_{q,i,inst,z} \cdot (1+k_{def})]$$

$$w_{q,fin,y} = \sum [\psi_{2,i} \cdot w_{q,i,inst,y} \cdot (1+k_{def})]$$

Endverformung:

$$w_{fin,z} = w_{g,fin,z} + w_{q,fin,z} \text{ [cm]}$$

$$w_{fin,y} = w_{g,fin,y} + w_{q,fin,y} \text{ [cm]}$$

Nachweis:

$$\sqrt{(w_{fin,z} - w_{0,z})^2 + (w_{fin,y} - w_{0,y})^2} \leq l/200$$

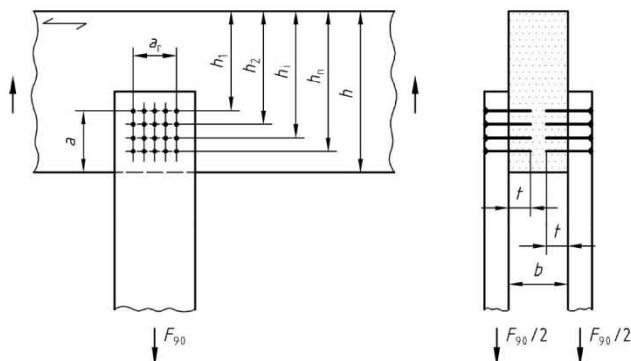
$w_{0,z}$: Anfangsüberhöhung im Normalfall = 0
 $w_{0,y}$: Anfangsüberhöhung im Normalfall = 0

Queranschluss

$a / h > 0,7 \rightarrow$ Kein Nachweis erforderlich

$a / h \leq 0,7 \rightarrow$ Nachweis erforderlich

$a / h < 0,2 \rightarrow$ Nachweis nur für kurze Lasteinwirkung (Windsog)



$$a_r \leq 0,5 \cdot h$$

Wirksame Anschlusstiefe:

Bei beidseitigem oder mittigem Queranschluss gilt:

$$t_{ef} = \min \begin{cases} b \\ 2t \\ 24d \end{cases} \rightarrow \text{Holz-Holz- oder Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen mit Nägeln oder Holzschrauben}$$

$$t_{ef} = \min \begin{cases} b \\ 2t \\ 30d \end{cases} \rightarrow \text{Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen}$$

t: [mm] Eindringtiefe ins Holz

$$t_{ef} = \min \begin{cases} b \\ 12d \end{cases} \rightarrow \text{Stabdübel- und Bolzenverbindungen}$$

$$t_{ef} = \min \begin{cases} b \\ 100 \text{ mm} \end{cases} \rightarrow \text{Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart}$$

$$t_{ef} = \min \begin{cases} b \\ 6d \end{cases} \rightarrow \text{Verbindungen mit eingeklebten Stahlstäben}$$

Bei einseitigem Queranschluss gilt:

$$t_{ef} = \min \begin{cases} b \\ t \\ 12d \end{cases} \rightarrow \text{Holz-Holz- oder Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen mit Nägeln oder Holzschrauben}$$

$$t_{ef} = \min \begin{cases} b \\ t \\ 15d \end{cases} \rightarrow \text{Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen}$$

$$t_{ef} = \min \begin{cases} b \\ t \\ 6d \end{cases} \rightarrow \text{Stabdübel- und Bolzenverbindungen}$$

$$t_{ef} = \min \begin{cases} b \\ 50 \text{ mm} \end{cases} \rightarrow \text{Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart}$$

Zu Queranschluss

Beiwert zur Berücksichtigung mehrerer nebeneinander angeordneter Verbindungsmitte:

$$k_s = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ 0,7 + \frac{1,4 \cdot a_r}{h} \end{array} \right.$$

a_r : [cm] siehe Bild

$$k_r = \frac{n}{\left(\frac{h_1}{h_1}\right)^2 + \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^2 + \left(\frac{h_1}{h_i}\right)^2}$$

n = Anzahl der Verbindungsmitteleihen vertikal

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_m} \text{ [N/mm}^2]$$

k_{mod} = Skript 1/26
 $f_{t,90,k}$ [N/mm²] = Skript 1/29 & 1/31
 $\gamma_m = 1,3$

$$R_{90,d} = k_s \cdot k_r \cdot \left(6,5 + \frac{18 \cdot a^2}{h^2} \right) \cdot (t_{ef} \cdot h)^{0,8} \cdot f_{t,90,d} \text{ [N]}$$

a : [mm] siehe Bild
 t_{ef} : [mm]

Werte in mm einsetzen!!

$$\text{NW: } \eta = \frac{F_{90d}}{R_{90d}} \leq 1,0 \rightarrow \text{keine Verstärkung erf.}$$

$$\eta > 1,0 \rightarrow \text{Verstärkung erf.}$$

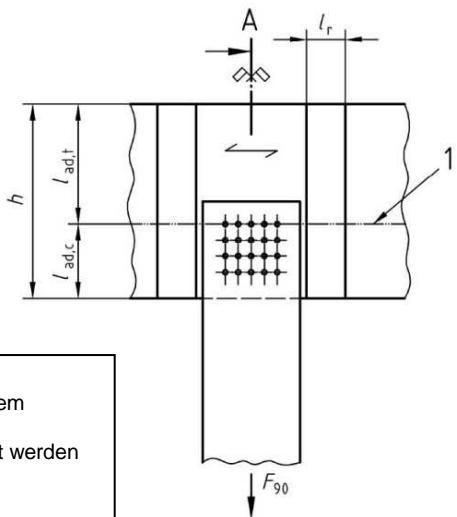
Queranschluss - mit Verstärkung

$$F_{t,90,d} = [1 - 3 \cdot \alpha^2 + 2 \cdot \alpha^3] \cdot F_{90,d} \text{ [KN]}$$

$\alpha = a / h$
 $F_{90,d}$ = Einwirkungslast

$$l_{ad} = \min \left\{ l_{ad,c}, l_{ad,t} \right\}$$

$l_{ad,c}$ = siehe Bild 2
 $l_{ad,t}$ = siehe Bild 2



Aufnahme der Zugkraft F_{t90d} über eingeklebte Stahlstäbe:

$$T_{ef,d} = \frac{F_{t,90,d} \cdot 1000}{n \cdot d_r \cdot \pi \cdot l_{ad}} \text{ [N/mm}^2]$$

$F_{t90,d}$: [KN] siehe oben
n: Anzahl der Stahlstäbe. Links und rechts neben dem Durchbruch darf nur ein in Trägerlängsrichtung angeordneter Stab oder eine Stabreihe angesetzt werden
 d_r : [mm] = Stabdurchmesser
 l_{ad} : [mm] siehe oben

$$f_{k1,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{k,1,k}}{\gamma_m} \text{ [N/mm}^2]$$

$f_{k,1,k}$: [N/mm²] → siehe Tabelle
 $\gamma_m = 1,3$

Nachweis: $\eta = \frac{T_{ef,d}}{f_{k1,d}} \leq 1,0$

Wirksame Einklebelänge l_{ad} des Stahlstabes			
	$\leq 250\text{mm}$	$250\text{mm} < l_{ad} \leq 500\text{mm}$	$500\text{mm} < l_{ad} \leq 10000\text{mm}$
f_{k1k}	4,0	$5,25 - 0,005 \cdot l_{ad}$	$3,5 - 0,0015 \cdot l_{ad}$

Aufnahme der Zugkraft F_{t90d} über seitlich aufgeklebte Verstärkungsplatten

Klebefugenspannung:

$$T_{ef,d} = \frac{F_{t,90,d}}{4 \cdot l_{ad} \cdot l_r} \text{ [N/mm}^2]$$

$$f_{k2,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{k,2,k}}{\gamma_m} \text{ [N/mm}^2]$$

$F_{t90,d}$: [N] siehe oben
 l_{ad} : [mm] siehe oben
 l_r : [m] Breite der Verstärkungsplatte
 γ_m : Sicherheitsbeiwert = 1,3
 f_{k2k} : [N/mm²] = 0,75

NW: $\eta = \frac{T_{ef,d}}{f_{k2,d}} \leq 1,0$

Zugspannung in Verstärkungsplatten:

$$\sigma_{t,d} = \frac{F_{t,90,d}}{n_r \cdot t_r \cdot l_r} \text{ [N/mm}^2]$$

$$f_{t,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,k}}{\gamma_m} \text{ [N/mm}^2]$$

$F_{t90,d}$: [N] siehe oben
Nr: Anzahl der Verstärkungsplatten
 l_r : [m] Breite der Verstärkungsplatte
 t_r : [mm] Dicke der Verstärkungsplatte
 γ_m : Sicherheitsbeiwert = 1,3
 f_{tk} : [N/mm²] Zugfestigkeit des Plattenwerkstoffes in Richtung der Zugkraft

NW: $\eta = k_k \cdot \frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,d}} \leq 1,0$

k_k : Beiwert = 1,5

Aufnahme der Zugkraft F_{t90d} über Holzschrauben

→ siehe Verbindungsmitte Holzschrauben mit $l_{ef} = l_{ad} = \min (l_{ad,c}; l_{ad,t})$

Ausklinkungen

Träger mit Ausklinkung auf der belasteten Seite

1.) $\frac{h_e}{h} \geq 1,0,5 \rightarrow$ wenn nicht eingehalten: siehe DIN 1052 Seite 96

$\frac{c}{h} \leq 1,0,4 \rightarrow$ wenn nicht eingehalten: siehe DIN 1052 Seite 96

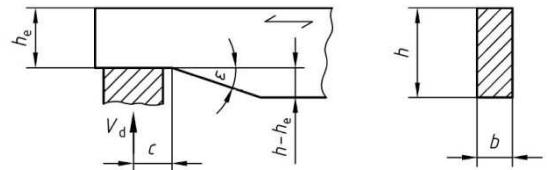


Bild 33 — Ausklinkung auf der belasteten Seite

$$k_{90} = \frac{k_n}{\sqrt{h} \cdot \left(\sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha)} + 0,8 \cdot \frac{c}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \quad []$$

Einheiten!!

c: [mm] Abstand zwischen Kraftwirkungslinie der Auflagerkraft und Ausklinkungsecke
h: [mm] Trägerhöhe
 $\alpha: [] \frac{h_e}{h}$
 $k_n:$ Vollholz = 5
Brettschichtholz = 6,5
Balkenschichtholz = 5
Funierschichtholz = 4,5

$$k_\varepsilon = 1 + \frac{1,1}{\tan(\varepsilon) \cdot \sqrt{h \cdot \tan(\varepsilon)}}$$

h: [mm] Trägerhöhe
 $\varepsilon:$ [°] Steigungswinkel des Anschnitts

$$\varepsilon = 90^\circ \rightarrow k_\varepsilon = 1,0$$

$$k_v = \min \begin{cases} 1,0 \\ k_{90} \cdot k_\varepsilon \end{cases}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_{d,\text{red}}}{b \cdot h_e} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$k_{\text{mod}}:$ Skript 1/26
 $f_{v,k}:$ Skript 1/29 & 1/31
 $\gamma_m: 1,3$

$$\text{NW: } \eta = \frac{\tau_d}{k_v \cdot f_{vd}} \leq 1,0 \rightarrow \text{keine Verstärkung erf.}$$

Träger mit Ausklinkung auf der unbelasteten Seite

$$c < h_e \rightarrow k_v = \left(\frac{h}{h_e} \right) \cdot \left[1 - \frac{(h - h_e) \cdot c}{h \cdot h_e} \right] \quad []$$

$$c \geq h_e \rightarrow k_v = 1,0$$

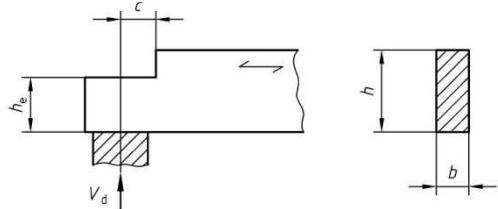


Bild 34 — Ausklinkung auf der unbelasteten Seite

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_{d,\text{red}}}{b \cdot h_e} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$k_{\text{mod}}:$ Skript 1/26
 $f_{v,k}:$ Skript 1/29 & 1/31
 $\gamma_m: 1,3$

$$\text{NW: } \eta = \frac{\tau_d}{k_v \cdot f_{vd}} \leq 1,0 \rightarrow \text{keine Verstärkung erf.}$$

Ausklinkungen – Nachweis der Verstärkung

$$F_{t90,d} = 1,3 \cdot V_d \cdot [3 \cdot (1 - \alpha)^2 - 2 \cdot (1 - \alpha)^3] \quad [\text{KN}]$$

V_d : [KN] Bemessungswert der Querkraft
 α : $\frac{h_e}{h}$
 h_e : [mm] verbleibende Höhe
 h : [mm] Trägerhöhe

Aufnahme der Zugkraft $F_{t90,d}$ über eingeklebte Stahlstäbe:

$$\tau_{ef,d} = \frac{F_{t90,d} \cdot 1000}{n \cdot d_r \cdot \pi \cdot l_{ad}} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$F_{t90,d}$: [KN] siehe oben
 n : Anzahl der Stahlstäbe. Links und rechts neben dem Durchbruch darf nur ein in Trägerlängsrichtung angeordneter Stab oder eine Stabreihe angesetzt werden
 d_r : [mm] = Stabdurchmesser $\leq 20\text{mm}$
 l_{ad} : [mm] wirksame Verankerungslänge → siehe Bild

$$f_{k1,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{k,1,k}}{\gamma_m} \quad [\text{N/mm}^2]$$

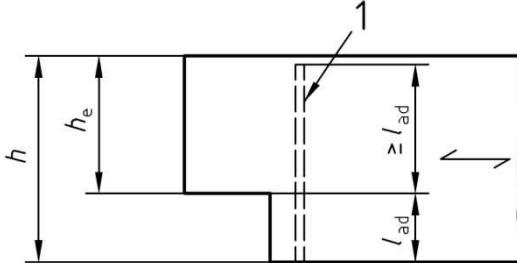
$f_{k,1,k}$: [N/mm²] → siehe Tabelle
 $\gamma_m = 1,3$

$$\text{Nachweis: } \eta = \frac{\tau_{ef,d}}{f_{k1,d}} \leq 1,0$$

	Wirksame Einklebelänge l_{ad} des Stahlstabes		
	$\leq 250\text{mm}$	$250\text{mm} < l_{ad} \leq 500\text{mm}$	$500\text{mm} < l_{ad} \leq 10000\text{mm}$
f_{k1k}	4,0	$5,25 - 0,005 \cdot l_{ad}$	$3,5 - 0,0015 \cdot l_{ad}$

Abstände:

$$\begin{aligned} a_{1c} &\geq 2,5 \cdot d_r \\ a_{2c} &\geq 2,5 \cdot d_r \\ a_2 &\geq 3,0 \cdot d_r \end{aligned}$$



Aufnahme der Zugkraft $F_{t90,d}$ über seitlich aufgeklebte Verstärkungsplatten

Klebefugenspannung:

$$\tau_{ef,d} = \frac{F_{t90,d} \cdot 1000}{2 \cdot (h - h_e) \cdot l_r} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$f_{k2,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{k,2,k}}{\gamma_m} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$F_{t90,d}$: [N] siehe oben
 l_{ad} : [mm] siehe oben
 l_r : [m] Breite der Verstärkungsplatte
 γ_m : Sicherheitsbeiwert = 1,3
 f_{k2k} : [N/mm²] = 0,75

$$\text{NW: } \eta = \frac{\tau_{ef,d}}{f_{k2,d}} \leq 1,0$$

Zugspannung in Verstärkungsplatten:

$$\sigma_{t,d} = \frac{F_{t90,d} \cdot 1000}{2 \cdot t_r \cdot l_r} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$f_{t,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,k}}{\gamma_m} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$F_{t90,d}$: [KN] siehe oben
 l_r : [m] Breite der Verstärkungsplatte
 t_r : [mm] Dicke der Verstärkungsplatte
 γ_m : Sicherheitsbeiwert = 1,3
 f_{tk} : [N/mm²] Zugfestigkeit des Plattenwerkstoffes in Richtung der Zugkraft

$$\text{NW: } \eta = k_k \cdot \frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,d}} \leq 1,0$$

k_k : Beiwert. Ohne genaueren NW = 2,0

Aufnahme der Zugkraft $F_{t90,d}$ über Holzschrauben

→ siehe Verbindungsmittel Holzschrauben mit $l_{ef} = l_{ad} = \min(h_e; h - h_e)$

Durchbrüche

Randbedingungen die eingehalten werden müssen:

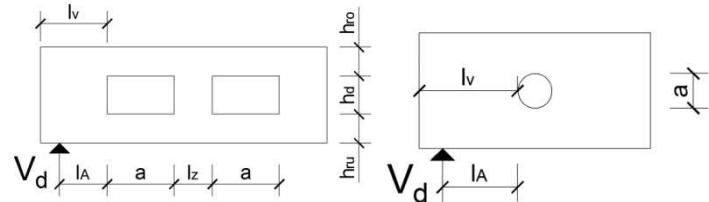
- $l_v > h$
- $h_{ro} = h_{ru} > 0,25 \cdot h$
- $l_A > 0,5 \cdot h$
- $a < H$
- $h_d < 0,4 \cdot h$

wenn $h_d > 0,15 \cdot h$ ist muss verstärkt werden!

wenn $h_d > \max [50\text{mm}; h/20]$ muss verstärkt werden!

Bei rechteckigen Durchbrüchen den Nachweis für den linken und den rechten Rand führen.
Bei runden Durchbrüchen werden die Schnittgrößen nur in Durchbruchsmitte berechnet.

Rechteckige Durchbrüche: $h_r = \min \begin{cases} h_{ro} \\ h_{ru} \end{cases}$



Kreisförmige Durchbrüche: $h_r = \min \begin{cases} h_{ro} + 0,15 \cdot h_d \\ h_{ru} + 0,15 \cdot h_d \end{cases}$

Bei unsymmetrisch angeordneten Durchbrüchen ist der kleinere Wert von h_{ro} bzw. h_{ru} einzusetzen.

Rechteckiger Durchbruch: $k_a = \frac{\alpha}{4} \cdot (3 - \alpha^2)$

Runder Durchbruch: $k_a = \frac{0,7 \cdot \alpha}{4} \cdot [3 - (0,7 \cdot \alpha)^2]$

Bemessungswert der Zugkraft

$$F_{t,M,d} = 0,008 \cdot \frac{|M_d|}{h_r} \quad [\text{KN}]$$

$$F_{t,V,d} = |V_d| \cdot k_a \quad [\text{KN}]$$

$$F_{t,90,d} = F_{t,M,d} + F_{t,V,d} \quad [\text{KN}]$$

M_d : [KNm] Biegemoment am Durchbruchrand

V_d : [KN] Querkraft am Durchbruchrand

h_r : [m] siehe oben

h_d : [m] Höhe des Durchbruchs → siehe Bild 35

Bei runden Durchbrüchen kann hier h_d durch $0,7 \cdot h_d$ ersetzt werden

h : [m] Trägerhöhe

Rechteckige Durchbrüche: $l_{t90} = 0,5 \cdot (h_d + h) \quad [\text{m}]$

Kreisförmige Durchbrüche: $l_{t90} = 0,353 \cdot h_d + 0,5 \cdot h \quad [\text{m}]$

$$k_{t,90} = \min \begin{cases} 1,0 \\ \left(\frac{450}{h} \right)^{0,5} \end{cases}$$

h : [mm] Trägerhöhe

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_m} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$f_{t,90,k}$: [KN/cm²] Zugfestigkeit rechtwinklig zu Faser
 $\gamma_m = 1,3$

$$\text{NW: } \eta = \frac{F_{t,90,d}}{0,5 \cdot l_{t90} \cdot b \cdot k_{t,90} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1,0 \rightarrow \text{keine Verstärkung erf.}$$

$F_{t90,d}$: [KN] siehe oben

l_{t90} : [cm] siehe oben

b : [cm] Breite des Trägers

$k_{t,90}$: [] siehe oben

$f_{t,90,d}$: [KN/cm²] Zugfestigkeit rechtwinklig zu Faser

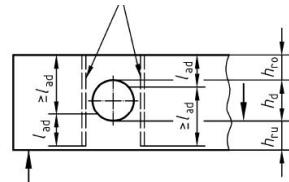
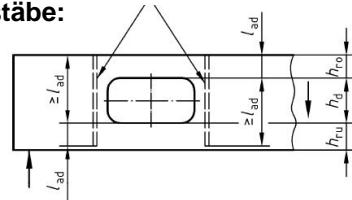
Durchbrüche - Nachweis der Verstärkung

Ü: [mm] Holzüberdeckung = $h - l_d$
 l_d : [mm] Länge der Gewindestange/ Stahlstab

Aufnahme der Zugkraft $F_{t90,d}$ über eingeklebte Stahlstäbe:

Kreisförmige Durchbrüche: $l_{ad} = h_{ru} + 0,15 \cdot h_d - ü$ [mm]
 $h_{ro} + 0,15 \cdot h_d - ü$ [mm]

Rechteckförmige Durchbrüche: $l_{ad} = h_{ru}$ oder h_{ro} [mm]



Bei unsymmetrisch angeordneten Durchbrüchen ist für h_{ru} bzw. h_{ro} jeweils der kleinere Wert einzusetzen.

$$T_{ef,d} = \frac{F_{t,90,d} \cdot 1000}{n \cdot d_r \cdot \pi \cdot l_{ad}} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$F_{t,90,d}$: [KN] siehe unter „Durchbrüche“

n: Anzahl der Stahlstäbe. Links und rechts neben dem Durchbruch darf nur ein in Trägerlängsrichtung angeordneter Stab oder eine Stabreihe angesetzt werden
 d_r : [mm] Stabdurchmesser
 l_{ad} : [mm] siehe oben

$$f_{k1,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{k,1,k}}{\gamma_m} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$f_{k,1,k}$: [N/mm²] → siehe Tabelle F.23
 $\gamma_m = 1,3$

	Wirksame Einklebelänge l_{ad} des Stahlstabes		
	$\leq 250\text{mm}$	$250\text{mm} < l_{ad} \leq 500\text{mm}$	$500\text{mm} < l_{ad} \leq 10000\text{mm}$
f_{k1k}	4,0	$5,25 - 0,005 \cdot l_{ad}$	$3,5 - 0,0015 \cdot l_{ad}$

Abstände:
 $a_2 \geq 3,0 \cdot d_r$
 $a_{1c} \geq 2,5 \cdot d_r$
 $a_{2c} \geq 2,5 \cdot d_r$

Nachweis: $\eta = \frac{T_{ef,d}}{f_{k1,d}} \leq 1,0$

Aufnahme der Zugkraft $F_{t90,d}$ über seitlich aufgeklebte Verstärkungsplatten

Klebefugenspannung:

$$T_{ef,d} = \frac{F_{t,90,d}}{2 \cdot a_r \cdot h_{ad}} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$F_{t,90,d}$: [N] siehe unter „Durchbrüche“
 a_r : [mm] siehe nebenstehendes Bild
 h_{ad} : [cm] rechteckige Durchbrüche → $= h_1$
kreisförmige Durchbrüche → $= h_1 + 0,15 \cdot h_d$
 h_1 : [cm] siehe nebenstehendes Bild

$$f_{k2,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{k,2,k}}{\gamma_m} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

γ_m : Sicherheitsbeiwert = 1,3
 f_{k2k} : [N/mm²] = 0,75

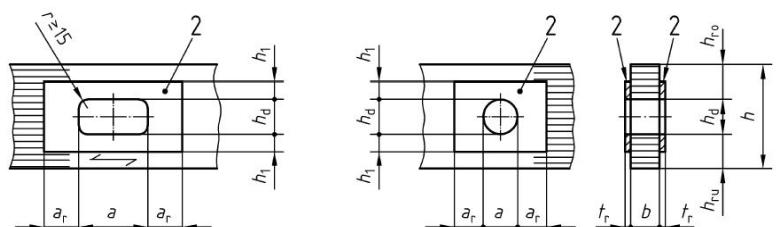
NW: $\eta = \frac{T_{ef,d}}{f_{k2,d}} \leq 1,0$

Zugspannung in Verstärkungsplatten:

$$\sigma_{t,d} = \frac{F_{t,90,d}}{2 \cdot a_r \cdot t_r} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$f_{t,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,k}}{\gamma_m} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

NW: $\eta = k_k \cdot \frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,d}} \leq 1,0$



$F_{t,90,d}$: [N] siehe unter „Durchbrüche“
 a_r : [mm] siehe nebenstehendes Bild
 t_r : [mm] Dicke der Verstärkungsplatte
 γ_m : Sicherheitsbeiwert = 1,3
 $f_{t,k}$: [N/mm²] Zugfestigkeit des Plattenwerkstoffes in Richtung der Zugkraft
 k_k : Beiwert = 2,0

Aufnahme der Zugkraft $F_{t90,d}$ durch Schrauben

→ siehe Verbindungsmittel „Schrauben“

Durchbrüche - Nachweis der erhöhten Biegespannung bei rechteckigen Durchbrüchen

Durchbruch exzentrisch

$$1.) W_{ro} = \frac{b \cdot h_{ro}^2}{6} \text{ [cm}^3\text{]} \quad W_{ru} = \frac{b \cdot h_{ru}^2}{6} \text{ [cm}^3\text{]} \quad W_{netto} = b \cdot \frac{h^3 - h_d^3}{6 \cdot h} \text{ [cm}^3\text{]}$$

b: [cm] Breite des Trägers
 h_{ro}: [cm] verbleibende Steghöhe oben
 h_{ru}: [cm] verbleibende Steghöhe unten
 h: [cm] Trägerhöhe
 h_d: [cm] Höhe des Durchbruchs

$$2.) V_{o,d} = V_{mi,d} \cdot \frac{h_{r,o}}{h_{r,o} + h_{r,u}} \text{ [KN]} \quad V_{u,d} = V_{mi,d} \cdot \frac{h_{r,u}}{h_{r,o} + h_{r,u}} \text{ [KN]}$$

$$3.) \Delta M_{o,d} = V_{o,d} \cdot \frac{a}{2} \text{ [KNm]} \quad \Delta M_{u,d} = V_{u,d} \cdot \frac{a}{2} \text{ [KNm]}$$

a: [m] Länge des Durchbruchs

$$5.) \sigma_{mod} = \frac{M_{mi,d} \cdot 100}{W_{netto}} + \frac{\Delta M_{do} \cdot 100}{W_{r,o}} \text{ [KN/cm}^2\text{]} \quad \sigma_{mud} = \frac{M_{mi,d} \cdot 100}{W_{netto}} + \frac{\Delta M_{du} \cdot 100}{W_{r,u}} \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

$$6.) f_{md} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

k_{mod}: siehe DIN 1052:2008-12 Seite
 γ_m: Sicherheitsbeiwert = 1,3

$$7.) \text{Nachweis: } \eta = \frac{\sigma_{mod}}{f_{md}} \leq 1,0 \text{ und } \eta = \frac{\sigma_{mud}}{f_{md}} \leq 1,0$$

Durchbruch in Trägermitte

$$1.) W_{netto} = b \cdot \frac{h^3 - h_d^3}{6 \cdot h} \text{ [cm}^3\text{]} \quad W_r = \frac{b \cdot h_{ru/ro}^2}{6} \text{ [cm}^3\text{]}$$

b: [cm] Breite des Trägers
 h_{ro}: [cm] verbleibende Steghöhe oben
 h_{ru}: [cm] verbleibende Steghöhe unten
 h: [cm] Trägerhöhe
 h_d: [cm] Höhe des Durchbruchs

$$2.) \sigma_{md} = \frac{M_{mi,d} \cdot 100}{W_{netto}} + \frac{V_{mi,d} \cdot a}{4 \cdot W_r} \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

M_{mi,d}: [KNm] Biegemoment in der Mitte des Durchbruchs
 V_{mi,d}: [KNm] Querkraft in der Mitte des Durchbruchs
 a: [cm] Länge des Durchbruchs
 W_r: [cm³] siehe oben

$$3.) f_{md} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

k_{mod}: siehe DIN 1052:2008-12 Seite
 γ_m: Sicherheitsbeiwert = 1,3

$$4.) \text{Nachweis: } \eta = \frac{\sigma_{md}}{f_{md}} \leq 1,0$$

Durchbrüche - Nachweis der erhöhten Biegespannung bei runden Durchbrüchen

$$1.) W_{netto} = b \cdot \frac{h^3 - h_d^3}{6 \cdot h} \text{ [cm}^3\text{]}$$

b: [cm] Breite des Trägers
 h: [cm] Trägerhöhe
 h_d: [cm] Höhe des Durchbruchs

$$2.) \sigma_{md} = \frac{M_{mi,d} \cdot 100}{W_{netto}} \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

M_{mi,d}: [KNm] Biegemoment in der Mitte des Durchbruchs
 W_{netto}: [cm³] siehe oben

$$3.) f_{md} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

k_{mod}: siehe DIN 1052:2008-12 Seite
 γ_m: Sicherheitsbeiwert = 1,3

$$4.) \text{Nachweis: } \eta = \frac{\sigma_{md}}{f_{md}} \leq 1,0$$

Durchbrüche - Nachweis der erhöhten Schubspannungen

Nachweis ist an der Kante des Durchbruchs an der die größte Querkraft vorhanden ist zu führen

$$1.) k_{\max T} = 1,84 \cdot \left(1 + \frac{a}{h}\right) \cdot \left(\frac{h_d}{h}\right)^{0,2} \quad []$$

Mit $\begin{cases} 0,1 \leq \frac{a}{h} \leq 1,0 \\ 0,1 \leq \frac{h_d}{h} \leq 0,4 \end{cases}$

$$2.) A_{\text{netto}} = b \cdot (h - h_d) \quad [\text{cm}^2]$$

b: [cm] Breite des Trägers
h: [cm] Höhe des Trägers
h_d: [cm] Höhe des Durchbruchs

$$3.) f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

k_{mod}: siehe DIN 1052:2008-12 Seite
γ_m: Sicherheitsbeiwert = 1,3

$$4.) \max \tau_d = 1,5 \cdot k_{\max T} \cdot \frac{V_d}{A_{\text{netto}}} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

V_d: [KN] maximale Querkraft am Durchbruchsrand
(im Abstand l_A vom Auflager)

Erforderlicher Abstand l_A vom Auflager damit Durchbruchsnachweis eingehalten ist

$$\text{erf. } l_A = \frac{V_{A,d}}{q_d} - \frac{f_{v,d} \cdot A_{\text{netto}}}{k_{\max T} \cdot 1,5 \cdot q_d} \quad [\text{cm}]$$

Verbindungsmitte

Kräfte in den Verbindungsmitte

$$F_{x,i,d}^M = \frac{M_d \cdot 100}{l_p} \cdot z_i \cdot \frac{1}{s} \quad [\text{KN/Scherfuge}]$$

n: Anzahl der Verbindungsmitte
s: Anzahl der Scherfugen

$$F_{z,i,d}^M = \frac{M_d \cdot 100}{l_p} \cdot x_i \cdot \frac{1}{s} \quad [\text{KN/Scherfuge}]$$

$$F_{x,i,d}^N = \frac{x_d}{n \cdot s} \quad [\text{KN/Scherfuge}]$$

$$F_{z,i,d}^N = \frac{z_d}{n \cdot s} \quad [\text{KN/Scherfuge}]$$

$$F_{i,d} = \sqrt{(F_{x,i,d}^M + F_{x,i,d}^N)^2 + (F_{z,i,d}^M + F_{z,i,d}^N)^2} \quad [\text{KN}]$$

*¹ Kräfteplan zeichnen und α ermitteln. Zunächst die Stabachse zeichnen und dann die Kräfte in Stabachse bzw. rechtwinklig dazu einzeichnen.

Zusammenwirken von verbindungsmitte

- berücksichtigt indem die Tragfähigkeit des Verbindungsmitte, auf das rechnerisch der kleinere Teil der zur übertragenden Kraft entfällt, mit 2/3 abgemindert wird.
- Kleber und mechanische Verbindungsmitte dürfen nicht gemeinsam in Rechnung gestellt werden

Vorgehen bei Knotenpunkten mit mehrer Kräften

- Die Summe aller Kräfte in einem Knoten ergibt 0
- Entweder werden alle Momente um den Schwerpunkt des untersuchten Anschlusses und die Kraft in dem durch das Verbindungsmitte angeschlossenem Holz zu einer Resultierenden zusammengefasst.
- Oder alle Kräfte und Momente die am Knotenblech angreifen (nicht die Kraft in dem durch das Verbindungsmitte angeschlossene Holz) werden zu einer Resultierenden zusammengefasst.

Holzschrauben

Ausziehwiderstand:

$$R_{ax,k} = \min \left\{ \frac{f_{1k} \cdot d \cdot l_{ef}}{\sin^2 \alpha + \frac{4}{3} \cdot \cos^2 \alpha} [N], f_{2k} \cdot d_k^2 [N] \right\}$$

f_{1k} : [N/mm²] charakteristischer Wert des Ausziehparameters → siehe Tabelle 15
 f_{2k} : [N/mm²] charakteristischer Wert des Kopfdurchziehparameters → siehe Tabelle 15
 l_{ef} : [mm] Gewindelänge im Holzteil mit der Schraubenspitze
 d : [mm] Nenndurchmesser der Holzschraube
 d_k : [mm] Außendurchmesser des Schraubenkopfes
 α : [°] Kraft-Faser-Winkel

f_{2k} nur wenn Problem des Kopfdurchziehens besteht.

Tabelle 15 — Charakteristische Werte für die Ausziehparameter $f_{1,k}$ und die Kopfdurchziehparameter $f_{2,k}$ in N/mm² für Holzschrauben

	1	2	3	4
1	Tragfähigkeitsklasse	$f_{1,k}$	Tragfähigkeitsklasse	$f_{2,k}$
2	1	$60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	A	$60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
3	2	$70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	B	$80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
4	3	$80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	C	$100 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$

Charakteristische Rohdichte ρ_k in kg/m³, jedoch höchstens 500 kg/m³.

Zugtragfähigkeit der Schraube:

$$R_{ax,k} = 300 \cdot \pi \cdot \frac{d_{kern}^2}{4} [N]$$

d_{kern} : [mm] Kerndurchmesser der Schraube

Bemessungswert

$$R_{ax,d} = k_{mod} \cdot \frac{R_{ax,k} \cdot n}{\gamma_m} [N]$$

k_{mod} : siehe Anhang
 γ_m : Sicherheitsbeiwert = 1,3
 n : Anzahl der Schrauben die auf herausziehen beansprucht sind

Stabdübel- und Passbolzenverbindung (Holz-Holz) nach DIN 1052:2008

Ermittlung von R_k pro Scherfuge:

- 1. Möglichkeit: ablesen aus Tabelle im Anhang zum Skript. (eventuell Interpolieren)
- 2. Möglichkeit: aufwändig mit Formeln berechnen *¹

Mindestabstände von Stabdübeln und Passbolzen:

a_1	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$
a_2	$3 \cdot d$
a_{1t}	$\min(7 \cdot d; 80\text{mm})$
a_{1c}	$\min(7 \cdot d \cdot \sin \alpha; 3 \cdot d)$
a_{2t}	$3 \cdot d$
a_{2c}	$3 \cdot d$

a_1 : [mm] Stabdübelabstand in Faserrichtung
 a_2 : [mm] Stabdübelabstand rechtwinklig zur Faserrichtung
 a_{1t} [mm] beanspruchter Randabstand zum Hirnholzende
 a_{1c} [mm] unbeanspruchter Randabstand zum Hirnholzende
 a_{2t} [mm] beanspruchter Randabstand rechtwinklig zur Faserrichtung
 a_{2c} [mm] unbeanspruchter Randabstand rechtwinklig zur Faserrichtung
 α : Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung

Tragfähigkeit eines StabdüBELS auf abscheren

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad [\text{N/mm}^2] \quad ^{*2}$$

d : [mm] Durchmesser Stabdübel
 ρ_k : [kg/m^3]

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad [\text{N/mm}^2]$$

mit: Nadelholz $k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d$

Laubholz $k_{90} = 0,9 + 0,015 \cdot d$

für Stabdübel $d \leq 8\text{mm} \rightarrow k_{90} = 1,0$

k_{90} : gilt für Vollholz und für Brettschichtholz
 d : [mm] Durchmesser

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \quad [\text{Nm}]$$

$f_{u,k}$: S235 → 360 N/mm²
 S275 → 430 N/mm²
 S355 → 510 N/mm²

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

$f_{h,2,k}$: [N/mm²] Lochleibungsfestigkeit des Mittelholzes
 $f_{h,1,k}$: [N/mm²] Lochleibungsfestigkeit des Seitenholzes

bei einschnittiger Verbindung ist es egal welches Holz Seitenholz bzw. Mittelholz ist

$$R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \cdot \frac{1}{1000} \quad [\text{KN}]$$

$M_{y,k}$: [Nm] siehe unter der Verbindungsart
 $f_{h,1,k}$: [N/mm²] Lochleibungsfestigkeit des Seitenholzes
 d : [mm] Durchmesser

Mindestholzdicken

$$t_{1,req.} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1 + \beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$$

$$\text{Einschnittige Verbindung: } t_{2,req.} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}}$$

$$\text{Zweischnittige Verbindung: } t_{2,req.} = 1,15 \cdot \left(\frac{4}{\sqrt{1 + \beta}} \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}}$$

Mindestholzdicken müssen eingehalten werden, damit das Verbindungsmittel ins Fließen kommt und die obere Formel für R_k verwendet werden darf.

$$\left. \begin{array}{l} t_{vorh.} < t_{req.} : R'_k = R_k \cdot \frac{t_{vorh.}}{t_{req.}} \quad [\text{KN}] \\ t_{vorh.} \geq t_{req.} : R'_k = R_k \quad [\text{KN}] \end{array} \right\} \Rightarrow R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_k}{1,1} \quad [\text{KN}]$$

Zu Stabdübel- und Passbolzenverbindung (Holz-Holz) nach DIN 1052:2008

Effektive Schraubenanzahl pro Reihe (n_{ef}):

$$n_{ef} = \min \left\{ n \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90}, \left[n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} \right\}$$

$$\Sigma n_{ef} = n_{ef} \cdot r^{*3}$$

r: Anzahl der Stabdübelreihen in Kraftrichtung
 n: Anzahl der vorhandenen Stabdübel
 α: Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung

Bei einem Stabdübelkreis $n_{ef} = n$

Bei mehreren Stabdübelkreisen $n_{ef} = 0,85 \cdot n$

Aufnehmbare Kraft der gesamten Verbindung

$$R_{j,d} = \Sigma n_{ef} \cdot s \cdot R_d$$

s: Schnittigkeit
 R_d: siehe oben

*¹ lohnt sich z.B. nur bei Holz-Holz Verbindungen bei denen sich die Dichte unterscheidet. Oder bei Winkeln die nicht in Tab. gegeben sind.

*² bei Holz-Holz-Verbindungen muss das $f_{h,0,k}$ für das Seitenholz und für das Mittelholz berechnet werden.

*³ n_{ef} für Seitenholz und für Mittelholz berechnen. Und bei Reihen mit jeweils unterschiedlicher Anzahl von Schrauben, muss für jede Reihe ein eigenes n_{ef} berechnet werden. Maßgebend ist das kleinere Σn_{ef}

*⁴ bei Stabdübelverbindungen die zusätzlich durch ein Moment beansprucht werden, sind die maximalen Kräfte i.d.R in den äußersten Dübeln vorhanden. Die Vorhandene Kraft wird unter „Kräfte in Verbindungsmittern“ ermittelt. Anstatt die gesamte Aufnehmbare Kraft mit der gesamten Einwirkung zu vergleichen, wird stattdessen die maximale Schraubenkraft mit der Widerstandskraft einer Schraube (R_d) verglichen.

Stabdübel- und Passbolzenverbindung (Stahlblech-Holz) nach DIN 1052:2008

Ermittlung von R_k pro Scherfuge:

- 1. Möglichkeit: ablesen aus Tabelle im Anhang zum Skript. (eventuell Interpolieren)
- 2. Möglichkeit: aufwändig mit Formeln berechnen

Tragfähigkeit eines Stabdübelns auf abscheren

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \text{ [N/mm}^2]$$

d: [mm] Durchmesser Stabdübel
 ρ_k : [kg/m³]

$$f_{h,a,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2\alpha + \cos^2\alpha} \text{ [N/mm}^2]$$

mit: Nadelholz $k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d$

Laubholz $k_{90} = 0,9 + 0,015 \cdot d$

für Stabdübel $d \leq 8\text{mm} \rightarrow k_{90} = 1,0$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \text{ [Nm]}$$

k_{90} : gilt für Vollholz und für Brettschichtholz
d: [mm] Durchmesser

$f_{u,k}$: S235 → 360 N/mm²
S275 → 430 N/mm²
S355 → 510 N/mm²

innen liegendes Stahlblech und außen liegende dicke Stahlbleche ($t_s \geq d$):

$$R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,a,k} \cdot d} \cdot \frac{1}{1000} \text{ [KN]}$$

außen liegende dünne Stahlbleche:

$$R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,a,k} \cdot d} \cdot \frac{1}{1000} \text{ [KN]}$$

Mindestholzdicken

innen liegendes Stahlblech und außen liegende dicke Stahlbleche ($t_s \geq d$):

$$t_{req.} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}}$$

außen liegende dünne Stahlbleche ($t_s \leq 0,5 \cdot d$):

$$\text{Zweischnittige Verbindung: } t_{req.} = 1,15 \cdot (2\sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}} \text{ [mm]}$$

$$\text{Einschnittige Verbindung: } t_{req.} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d}} \text{ [mm]}$$

Effektive Schraubenanzahl pro Reihe (n_{ef}):

$$n_{ef} = \min \left\{ n \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90}, \left[n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} \right\}$$

r: Anzahl der Stabdübelreihen in Kraftrichtung
n: Anzahl der vorhandenen Stabdübel
α: Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung

$$\Sigma n_{ef} = n_{ef} \cdot r$$

Bei einem Stabdübelkreis $n_{ef} = n$

Bei mehreren Stabdübelkreisen $n_{ef} = 0,85 \cdot n$

Aufnehmbare Kraft der gesamten Verbindung

$$R'_k = R_k \cdot \frac{t_{vorh.}}{t_{req.}} \text{ [KN]} \quad \rightarrow \quad R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_k}{1,1} \text{ [KN]}$$

s: Schnittigkeit
R_d: siehe oben

$$R_{j,d} = \Sigma n_{ef} \cdot s \cdot R_d$$

Nagelverbindung (Holz-Holz) nach DIN 1052:2008

Tragfähigkeit eines Nagels auf abscheren

nicht vorgebohrt: $f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}$ [N/mm²]

d: [mm] Durchmesser des Nagels
 ρ_k : [kg/m³] Rohdichte
 (größerer Wert maßgebend!)

vorgebohrt: $f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$ [N/mm²]
 (bei Nagelverbindungen wird der Kraft-Faser-Winkel nicht berücksichtigt)

Sonder- und runde Nägel: $M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$ [Nm]

$f_{u,k} := 600\text{N/mm}^2$

rechteckige Nägel: $M_{y,k} = 0,45 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$ [Nm]

$M_{y,k}$: [Nm]
 $f_{h,1,k}$: [N/mm²] Lochleibungsfestigkeit
 (größerer Wert der verbundenen Bauteile einsetzen)
 d: [mm]

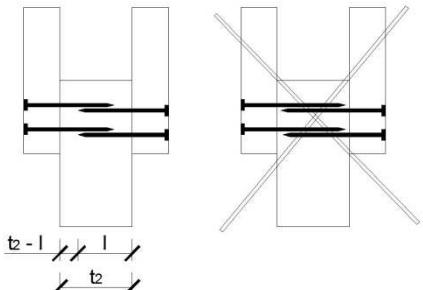
$R_{la,k} = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \cdot \frac{1}{1000}$ [KN]

Nagelabstände

Mindestabstände:

		Nicht vorgebohrt		vorgebohrt
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k < 500 \text{ kg/m}^3$	
a_1	$d < 5\text{mm}:$	$(5 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(7 + 8 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$
	$d \geq 5\text{mm}:$	$(5 + 7 \cdot \cos \alpha) \cdot d$		
a_2	$d < 5\text{mm}:$	$5 \cdot d$	$7 \cdot d$	$3 \cdot d$
	$d \geq 5\text{mm}:$			
$a_{1,t}$	$d < 5\text{mm}:$	$(7 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(15 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(7 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$
	$d \geq 5\text{mm}:$	$(10 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$		
$a_{1,c}$	$d < 5\text{mm}:$	$7 \cdot d$	$15 \cdot d$	$7 \cdot d$
	$d \geq 5\text{mm}:$	$10 \cdot d$		
$a_{2,t}$	$d < 5\text{mm}:$	$(5 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	$(7 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d$	$(3 + 4 \cdot \sin \alpha) \cdot d$
	$d \geq 5\text{mm}:$	$(5 + 5 \cdot \sin \alpha) \cdot d$		
$a_{2,c}$	$d < 5\text{mm}:$	$5 \cdot d$	$7 \cdot d$	$3 \cdot d$
	$d \geq 5\text{mm}:$			

a_1 : [mm] Nagelabstand in Faserrichtung
 a_2 : [mm] Nagelabstand rechtwinklig zur Faserrichtung
 $a_{1,t}$: [mm] beanspruchter Randabstand zum Hirnholzende
 $a_{1,c}$: [mm] unbeanspruchter Randabstand zum Hirnholzende
 $a_{2,t}$: [mm] beanspruchter Randabstand rechtwinklig zur Faserrichtung
 $a_{2,c}$: [mm] unbeanspruchter Randabstand rechtwinklig zur Faserrichtung
 α : Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung



Maximalabstände:

Holz: $a_1 = 40 \cdot d$ [mm]
 $a_2 = 20 \cdot d$ [mm]

Holzwerkstoff: allgemein $\rightarrow a_1/a_2 \leq 40 \cdot d$
 aussteifend $\rightarrow a_1/a_2 \leq 80 \cdot d$

Hinweis: Übergreifen der Nägel im Mittelholz nur wenn $t_2 - l > 4d$ (siehe Skizze)

Mindestholzdicken

allgemein: $t_{req} = 9 \cdot d$ [mm]

nicht vorgebohrt Vollholz: $t_{req} = \max [14 \cdot d ; (13 \cdot d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{200}]$ [mm]

ρ_k : [kg/m³] Rohdichte
 d: [mm]

nicht vorgebohrt Kiefernholz: $t_{req} = \max [7 \cdot d ; (13 \cdot d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{400}]$ [mm]

Effektive Schraubenanzahl pro Reihe (n_{ef}):

Nageldurchmesser $\leq 6\text{mm} \rightarrow n_{ef} = n$

Nageldurchmesser $> 6\text{mm} \rightarrow n_{ef} = \min \left\{ n \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90}, \left[n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} \right\}$

$\Sigma n_{ef} = n_{ef} \cdot r$

n: Anzahl der in Faserrichtung hintereinander angeordneten Nägel
 a_1 : [mm] Abstand der Nägel in Faserrichtung

r: Anzahl der Nagelreihen in Krafrichtung

zu Nagelverbindung (Holz-Holz) nach DIN 1052:2008

Aufnehmbare Lochleibungskraft der gesamten Verbindung

$$x_1 = \min [t_{1,li}; t_{E,li}]$$

t_{E,li}: [mm] Einschlagtiefe → siehe Zeichnung
t_{1,li}: [mm] Dicke linkes Seitenholz → siehe Zeichnung

$$x_2 = \min [t_{1,re}; t_{E,re}]$$

$$\text{Fuge 1: } R'_{la,k1} = R_{la,k} \cdot \min \left\{ 1,0, \frac{x_1}{t_{req.}} \right\}$$

t_{E,re}: [mm] Einschlagtiefe → siehe Zeichnung
t_{1,re}: [mm] Dicke rechtes Seitenholz = l - t_{1,li} - t₂
l: [mm] Länge Nagel

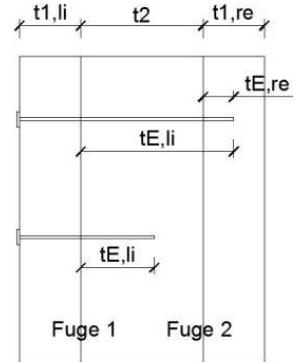
$$\text{Fuge 2: } R'_{la,k2} = R_{la,k} \cdot \min \left\{ 1,0, \frac{x_2}{t_{req.}} \right\} \quad !! \text{ Fuge 2 darf nur angesetzt werden wenn } t_E > 4 \cdot d !!$$

$$R'_{la,k} = R'_{la,k1} + R'_{la,k2} \quad [\text{KN}]$$

$$R_{i,d} = k_{mod} \cdot \frac{R'_{la,k}}{1,1} \quad [\text{KN}]$$

$$R_{la,d} = \sum n_{ef} \cdot R_d \quad [\text{KN}]$$

Ein R_{la,d} für Seitenholz und ein R_{la,d} für das Mittelholz berechnen. Kleineres R_{la,d} ist maßgebend



Tragfähigkeit eines Nagels auf herausziehen

$$R_{ax,k} = \min \left\{ (0,6^{*2}) \cdot f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot 0,001 \quad [\text{KN}], f_{2,k} \cdot d_k^2 \cdot 0,001 \quad [\text{KN}] \right\}$$

$$R_{ax,d} = k_{mod} \cdot \frac{R'_{ax,k}}{1,3} \quad [\text{KN}]$$

*¹: bei Koppelpfettenanschlüssen mit einer Dachneigung ≤ 30°
*²: bei glattschaftigen Nägeln & Nägeln der Kl. 1
f_{1,k}: [N/mm²] Ausziehparameter (siehe Tabelle)
f_{2,k}: [N/mm²] Kopfdurchziehparameter (siehe Tabelle)
d: [mm] Durchmesser des Nagels
l_{ef}: [mm] wirksame Nagleinschlagtiefe
d_k: [mm] Außendurchmesser des Nagelkopfes

	f _{1,k} [N/mm ²]		f _{2,k} [N/mm ²]
Glattschaftige Nägel	18 · 10 ⁻⁶ · p _k ²	Glattschaftige Nägel	60 · 10 ⁻⁶ · p _k ²
Sondernagel Kl. 1	30 · 10 ⁻⁶ · p _k ²	Sondernagel Kl. A	60 · 10 ⁻⁶ · p _k ²
Sondernagel Kl. 2	40 · 10 ⁻⁶ · p _k ²	Sondernagel Kl. B	80 · 10 ⁻⁶ · p _k ²
Sondernagel Kl. 3	50 · 10 ⁻⁶ · p _k ²	Sondernagel Kl. C	100 · 10 ⁻⁶ · p _k ²

!! Bei Verbindung mit Sondernägeln und vorgebohrten Löchern mit $\varnothing \leq d \rightarrow f_{1,k} = 0,7 \cdot f_{1,k} !!$
p_k des Holzes welches auf herausziehen bzw. auf Kopfdurchziehen beansprucht ist

Einschlagtiefe (l_{ef})

Glattschaftige Nägel: $12 \cdot d \leq l_{ef} \leq 20 \cdot d$

l: [mm] Länge des profilierten Schafteils

Sondernägel Kl. 1: $12 \cdot d \leq l_{ef} \leq l_x$

Sondernägel Kl. 2 & 3: $8 \cdot d \leq l_{ef} \leq l_x$

Nachweis bei kombinierter Beanspruchung

$$\left(\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} \right)^m + \left(\frac{F_{la,d}}{R_{la,d}} \right)^m \leq 1,0$$

F_{ax,d}: [KN] Beanspruchung in Richtung der Stiftachse
R_{ax,d}: [KN] Ausziehwiderstand
F_{la,d}: [KN] Beanspruchung auf Lochleibung
R_{la,d}: [KN] Lochleibungswiderstand
m: glattschaftige Nägel und Sondernägel Kl. 1 → 1,0
Sondernägel Kl. 2 & 3 → 2,0
Koppelpfettenanschlüsse mit gl. Nägeln → 1,5

Nagelverbindung (Stahlblech – Holz) nach DIN 1052:2008

tragfähigkeit eines Nagels auf abscheren

nicht vorgebohrt: $f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}$ [N/mm²]

d: [mm] Durchmesser des Nagels
 ρ_k : [kg/m³] Rohdichte

vorgebohrt: $f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$ [N/mm²]

runde glattschaftige Nägel & Sondernägel: $M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$ [Nmm]

$f_{u,k} = 600$ N/mm²

rechteckige Nägel: $M_{y,k} = 0,45 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$ [Nmm]

$$R_k = A \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d} \cdot \frac{1}{1000}$$
 [KN]

A: siehe unten in Tabelle
 $M_{y,k}$: [Nmm]
 $f_{h,k}$: [N/mm²] Lochleibungsfestigkeit
d: [mm]

Nagelabstände

Mindestabstände:

		Nicht vorgebohrt		vorgebohrt
		$\rho_k \leq 420$ kg/m ³	420 kg/m ³ < $\rho_k < 500$ kg/m ³	
a_1	$d < 5$ mm:	$\max \left\{ \begin{array}{l} (2,5 + 2,5 \cdot \cos \alpha) \cdot d \\ 5 \cdot d \end{array} \right.$	$\max \left\{ \begin{array}{l} (3,5 + 4 \cdot \cos \alpha) \cdot d \\ 5 \cdot d \end{array} \right.$	$\max \left\{ \begin{array}{l} (1,5 + \cos \alpha) \cdot d \\ 5 \cdot d \end{array} \right.$
	$d \geq 5$ mm:	$\max \left\{ \begin{array}{l} (2,5 + 3,5 \cdot \cos \alpha) \cdot d \\ 5 \cdot d \end{array} \right.$		
a_2	$d < 5$ mm:	$2,5 \cdot d$	$3,5 \cdot d$	$1,5 \cdot d$
	$d \geq 5$ mm:			
$a_{1,t}$	$d < 5$ mm:	$(3,5 + 2,5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(7,5 + 2,5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	$(3,5 + 2,5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$
	$d \geq 5$ mm:	$(5 + 2,5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$		
$a_{1,c}$	$d < 5$ mm:	$3,5 \cdot d$	$7,5 \cdot d$	$3,5 \cdot d$
	$d \geq 5$ mm:	$5 \cdot d$		
$a_{2,t}$	$d < 5$ mm:	$(2,5 + \sin \alpha) \cdot d$	$(3,5 + \sin \alpha) \cdot d$	$(1,5 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d$
	$d \geq 5$ mm:	$(2,5 + 2,5 \cdot \sin \alpha) \cdot d$		
$a_{2,c}$	$d < 5$ mm:	$2,5 \cdot d$	$3,5 \cdot d$	$1,5 \cdot d$
	$d \geq 5$ mm:			

Die Werte aus der Norm (Tabelle 10) wurden mit 0,5 multipliziert

a_1 : [mm] Nagelabstand in Faserrichtung
 a_2 : [mm] Nagelabstand rechtwinklig zur Faserrichtung
 $a_{1,t}$: [mm] beanspruchter Randabstand zum Hirnholzende
 $a_{1,c}$: [mm] unbeanspruchter Randabstand zum Hirnholzende
 $a_{2,t}$: [mm] beanspruchter Randabstand rechtwinklig zur Faserrichtung
 $a_{2,c}$: [mm] unbeanspruchter Randabstand rechtwinklig zur Faserrichtung
 α : Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung

Mindestholzdicken

	Faktor A	$t_{req.}$ (zweischnittig)	$t_{req.}$ (alle anderen Fälle)
Stahlblech innen liegend	1,4	$10 \cdot d$	$10 \cdot d$
dickes Stahlblech außen liegend ($t_s \geq d$)	1,4	$10 \cdot d$	$10 \cdot d$
dünnes Stahlblech außen liegend ($t_s \leq 0,5 \cdot d$)	1,0	$7 \cdot d$	$9 \cdot d$

Effektive Schraubenanzahl pro Reihe (n_{ef}):

Nageldurchmesser ≤ 6 mm $\rightarrow n_{ef} = n$

Nageldurchmesser > 6 mm $\rightarrow n_{ef} = \min \left\{ n \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90}, \left[n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} \right\}$

$\Sigma n_{ef} = n_{ef} \cdot r$

n: Anzahl der in Faserrichtung hintereinander angeordneten Nägel
 a_1 : [mm] Abstand der Nägel in Faserrichtung

r: Anzahl der Nagelreihen in Krafrichtung

zu Nagelverbindung (Stahlblech – Holz) nach DIN 1052:2008

Aufnehmbare Lochleibungskraft der gesamten Verbindung

$$R'_k = R_k \cdot \min \left\{ 1,0, \frac{l}{t_{req.}} \right\}$$

l: [cm] Länge des Nagels

Bei einschnittigen Stahlblech-Holz-Verbindungen mit Sondernägeln (z.B. Rillennägel) der Tragfähigkeitsklasse 3 darf R_k um einen Anteil ΔR_k erhöht werden:

$$\Delta R_k = \min \left\{ 0,5 \cdot R'_k, 0,25 \cdot R_{ax,k} \right\}$$

$$R_{la,d} = \sum n_{ef} \cdot k_{mod} \cdot \frac{(R'_k + \Delta R_k)}{1,1} \text{ [KN]}$$

Tragfähigkeit eines Nagels auf herausziehen

$$R_{ax,k} = \min \left\{ f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot 0,001 \text{ [KN]}, f_{2,k} \cdot d_k^2 \cdot 0,001 \text{ [KN]} \right\}$$

$$R_{ax,d} = k_{mod} \cdot n \cdot \frac{R_{ax,k}}{1,3} \text{ [KN]}$$

*¹: bei Koppelpfettenanschlüssen mit einer Dachneigung $\leq 30^\circ$
 $f_{1,k}$: [N/mm²] Ausziehparameter (siehe Tabelle)
 $f_{2,k}$: [N/mm²] Kopfdurchziehparameter (siehe Tabelle)
d: [mm] Durchmesser des Nagels
 l_{ef} : [mm] wirksame Nageleinschlagtiefe
= l_g bei Rillennägeln
 d_k : [mm] Außendurchmesser des Nagelkopfes
n: Anzahl der Nägel

	$f_{1,k}$ [N/mm ²]		$f_{2,k}$ [N/mm ²]
Glattschaftige Nägel	$18 \cdot 10^{-6} \cdot p_k^2$	Glattschaftige Nägel	$60 \cdot 10^{-6} \cdot p_k^2$
Sondernagel Kl. 1	$30 \cdot 10^{-6} \cdot p_k^2$	Sondernagel Kl. A	$60 \cdot 10^{-6} \cdot p_k^2$
Sondernagel Kl. 2	$40 \cdot 10^{-6} \cdot p_k^2$	Sondernagel Kl. B	$80 \cdot 10^{-6} \cdot p_k^2$
Sondernagel Kl. 3	$50 \cdot 10^{-6} \cdot p_k^2$	Sondernagel Kl. C	$100 \cdot 10^{-6} \cdot p_k^2$

!! Bei Verbindung mit Sondernägeln und vorgebohrten Löchern mit $\phi \leq d \rightarrow f_{1,k} = 0,7 \cdot f_{1,k} !!$

Einschlagtiefe (l_{ef})

Glattschaftige Nägel: $12 \cdot d \leq l_{ef} \leq 20 \cdot d$

Sondernägel Kl. 1: $12 \cdot d \leq l_{ef} \leq l_x$

Sondernägel Kl. 2 & 3: $8 \cdot d \leq l_{ef} \leq l_x$

l_x : [mm] Länge des profilierten Schafteils

Nachweis bei kombinierter Beanspruchung

$$\left(\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} \right)^m + \left(\frac{F_{la,d}}{R_{la,d}} \right)^m \leq 1,0$$

$F_{ax,d}$: [KN] Beanspruchung in Richtung der Stiftachse
 $R_{ax,d}$: [KN] Ausziehwiederstand
 $F_{la,d}$: [KN] Beanspruchung auf Lochleibung
 $R_{la,d}$: [KN] Lochleibungswiederstand
m: glattschaftige Nägel und Sondernägel Kl.1 $\rightarrow 1,0$
Sondernägel Kl.2 & 3 $\rightarrow 2,0$
Koppelpfettenanschlüsse mit gl. Nägeln $\rightarrow 1,5$

Ring- und Scheibendübel

Vereinfacht wird nur ein k_a mit dem größeren α berechnet:

$$\text{wenn } \alpha \neq 0 \quad k_a = \frac{1}{(1,3 + 0,001 \cdot d_c) \cdot \sin^2\alpha + \cos^2\alpha}$$

d_c: [mm] Durchmesser Stabdübel
 α : [°] größter Kraft-Faser Winkel

Vereinfacht wird k_p mit der kleineren Rohdichte von den verbundenen Bauteilen ermittelt:

$$\rho_k \text{ eines der verbundenen Bauteile} < 350 \text{ kg/m}^3 \rightarrow k_p = \frac{\rho_k}{350}$$

$$\rho_k \text{ eines der verbundenen Bauteile} > 350 \text{ kg/m}^3 \rightarrow k_p = \min \left\{ \frac{1,75}{\frac{\rho_k}{350}} \right\}$$

Vereinfacht wird k_{a1} mit dem kleineren α ermittelt:

- Bei Dübelverbindungen mit nur einem Verbindungselement $\alpha \leq 30^\circ$ und $a_{1,t} > 2 \cdot d_c \rightarrow k_{a1} = \min \left\{ \frac{1,25}{\frac{a_{1,t}}{2 \cdot d_c}} \right\}$
- Bei Dübelverbindungen mit mehreren Verbindungselementen $\alpha \leq 30^\circ$ und $a_{1,t} > 2 \cdot d_c \rightarrow k_{a1} = 1,0$
- Verbindungseinheiten mit $\alpha \leq 30^\circ$ und $a_{1,t} < 2 \cdot d_c$ müssen mit dem Faktor $k_{a1} = \frac{a_{1,t}}{2 \cdot d_c}$ reduziert werden.

Alle anderen Verbindungseinheiten müssen nicht abgemindert werden. Jedes Verbindungselement hat dann ein eigenes R_{cak} !

Bei Dübelverbindungen ist i.d.R immer ein Winkel $\leq 30^\circ$ (Seitenholz oder Mittelholz)
 k_{a1} im Bereich: $0,75 \leq k_{a1} \leq 1,25$

Wenn t_1 oder $t_2 \leq t_{1,\text{req.}}$ bzw. $t_{2,\text{req.}}$

$$k_t = \min \left\{ \frac{1,0}{t_1}, \frac{t_1}{3 \cdot h_e}, \frac{t_2}{5 \cdot h_e} \right\}$$

t_1 : [mm] Dicke des Seitenholzes
 t_2 : [mm] Dicke des Mittelholzes
 $t_{1,\text{req.}}$: [mm] $3 \cdot h_e$
 $t_{2,\text{req.}}$: [mm] $5 \cdot h_e$
 h_e : Einlasstiefe → siehe DIN 1052:2008-12 Seite 220ff.

Tragfähigkeit pro Dübel:

$$R_{c,a,k} = k_a \cdot k_p \cdot k_{a1} \cdot k_t \cdot \frac{1}{1000} \cdot \min \left\{ 35 \cdot d_c^{1,5} [\text{KN}], 31,5 \cdot d_c \cdot h_e [\text{KN}] \right\}$$

d_c : [mm] Ø des DüBELS (Skript II – 2/57)
 h_e : Einlasstiefe → siehe DIN 1052:2008-12 Seite 220ff.

$$R_{c,a,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{R_{c,a,k}}{\gamma_M} [\text{KN}]$$

$\gamma_M = 1,3$

$\sum n_{\text{ef}}$ für Seitenholz und für Mittelholz berechnen. Kleineres $\sum n_{\text{ef}}$ ist maßgebend.

$$n_{\text{ef}} = \left[2 + \left(1 - \frac{n}{20} \right) \cdot (n - 2) \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} \quad (\text{nur für } n > 2 !!)^2$$

n: Anzahl der in Faserrichtung hintereinander angeordneten Stabdübel max n = 10!!

$$\sum n_{\text{ef}} = n_{\text{ef}} \cdot r$$

r: Anzahl der Reihen

$$R_{j,d} = \sum n_{\text{ef}} \cdot R_{c,a,d} [\text{KN}]$$

a_1	$(1,2 + 0,8 \cdot \cos\alpha) \cdot d_c$
a_2	$1,2 \cdot d_c$
$a_{1,t}$	$2 \cdot d_c$
$a_{1,c}$	$\alpha \leq 30^\circ: 1,2 \cdot d_c$ $\alpha > 30^\circ: (0,4 + 1,6 \cdot \sin\alpha) \cdot d_c$
$a_{2,t}$	$(0,6 + 0,2 \cdot \sin\alpha) \cdot d_c$
$a_{2,c}$	$0,6 \cdot d_c$

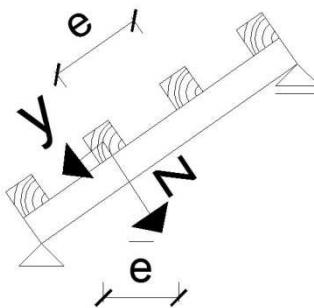
In der Tabelle im Anhang ist nur der Faktor k_a und k_p enthalten

Abstände:

Pfettenquerschnitt bestimmen:

Belastung:

$$\begin{aligned} g_{z,k} &= g_k \cdot e \cdot \cos \alpha [\text{KN/m}] \\ g_{y,k} &= g_k \cdot e \cdot \sin \alpha [\text{KN/m}] \\ s_{z,k} &= s_k \cdot e \cdot \cos^2 \alpha [\text{KN/m}] \\ s_{y,k} &= s_k \cdot e \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha [\text{KN/m}] \\ w_{z,k} &= w_k \cdot e [\text{KN/m}] \\ w_{y,k} &= 0 [\text{KN/m}] \end{aligned}$$



α : [°] Dachneigungswinkel
 e : [m] Pfettenabstand
 g_k [KN/m²] Eigengewicht der Konstruktion
 s_k [KN/m²] Schneelast
 w_k [KN/m²] Windlast

- Bemessungswerte bilden $\rightarrow (g + s)_{z,d} \dots$
- Momente im Endfeld und in einem Innenfeld berechnen (siehe Biegebemessung Tafel T.1) $\rightarrow M_{y,d}; M_{z,d} \dots$
- Querschnitt der Koppelpfetten wählen
- Biegebemessung (siehe Seite 3 ff.) im Endfeld und im Innenfeld durchführen
- prüfen ob gewählter Querschnitt im End- und Innenfeld passt
- Gebrauchstauglichkeitsbemessung (siehe Seite 8 ff.) im Endfeld und im Innenfeld durchführen. Für die Verformungsberechnung die Werte aus der Tafel T.2 verwenden.

Ermittlung des Pfettenquerschnittes

- zunächst vertikale Belastung (f_{vd}) der Pfetten ermitteln.
- mit f_{vd} das Moment $M_{vd} = \text{Tafelwert} \cdot q \cdot l^2$ ermitteln

$$f_{vd} = k_{mod} \cdot (f_{mk}/\gamma_m)$$

$$3.) W_{erf.} = \frac{M_{vd} \cdot 100}{f_{m,d}} [\text{cm}^3]$$

- mit $W_{erf.}$ die Pfettenabmessungen aus nebenstehender Tabelle ablesen
- zur Orientierung: $h \approx l/30 - l/35$

b	h	10	12	15	20	22	25	30
8		133,33	192	300	533,33	645,33	833,33	1200
10		166,67	240	375	666,67	806,67	1042	1500
12	-		288	450	800	968	1250	1800
15	-		-	562,5	1000	1210	1562,5	2250

Koppelpfetten

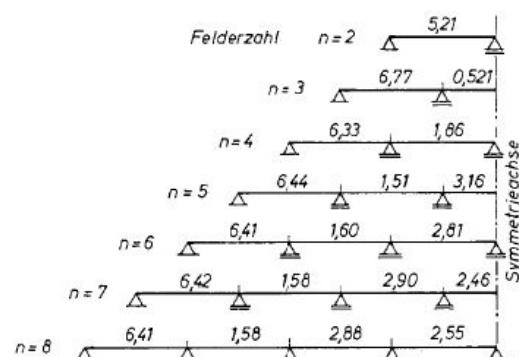
Biegemomente für Durchlaufträger mit Gleichstreckenlast

		Größte Biegemomente $M_i = \text{Tafelwert} \cdot q \cdot l^2$							
n	M ₁	M _b	M ₂	M _c	M ₃	M _d	M ₄	M _c	
2	0,0703	-0,1250	0,0703	-	-	-	-	-	
3	0,0800	-0,1000	0,0250			-	-	-	
4	0,0772	-0,1071	0,0364	-0,0714				-	
5	0,0779	-0,1053	0,0332	-0,0789	0,0461				
6	0,0777	-0,1058	0,0340	-0,0769	0,0433	-0,0865			
7	0,0778	-0,1056	0,0338	-0,0775	0,0440	-0,0845	0,0405		
8	0,0777	-0,1057	0,0339	-0,0773	0,0438	-0,0850	0,0412	-0,0825	

Durchbiegungswerte für Feldmitten

$$f = \text{Tafelwert} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I} \cdot 10^3 [\text{cm}]$$

q : [KN/m]
 L : [m] Feldlänge
 I : [cm^4] Flächenträgheitsmoment
 E : [KN/cm²] E-Modul



zu Koppelpfetten

Überkopplungslängen & Koppelkräfte

- Ermittlung der zulässigen Beanspruchung (siehe Verbindungsmitte)

Tafel T.2 Überkopplungslängen nach Seitz:

n	K = Tafelwert • q • l					Ü = Tafelwert • l				
	K _{bl}	K _{br}	K _{cl}	K _{cr}	K _{dl}	Ü _{bl}	Ü _{br}	Ü _{cl}	Ü _{cr}	Ü _{dl}
2	0,625	0,625	-	-	-	0,10	0,10	-	-	-
3	0,250	0,420	0,420	0,250	-	0,10	0,18	0,18	0,1	-
4	0,360	0,442	0,354	0,354	0,442	0,10	0,16	0,10	0,10	0,16
5	0,330	0,425	0,460	0,330	0,330	0,10	0,17	0,10	0,10	0,10
6	0,340	0,423	0,430	0,340	0,430	0,10	0,17	0,10	0,10	0,10
≥7	Weitere Innenfelder: 0,430					0,10	0,17	Weitere Innenfelder: 0,10		

In der Praxis werden unabhängig von der Feldanzahl folgende Näherungen angesetzt:

$$\text{Endfeld: } M_e = 0,08 \cdot q_d \cdot l^2 \text{ [KNm]}$$

$$\text{Innenfeld: } M_i = 0,046 \cdot q_d \cdot l^2 \text{ [KNm]}$$

$$\text{Zweifeldträger: } K_d = 0,625 \cdot q_d \cdot l \text{ [KN]}$$

$$\text{Mehrfeldträger (} \geq 3 \text{): } K_d = 0,46 \cdot q_d \cdot l \text{ [KN]}$$

Koppelpfetten mit Beiholz:

1) Momente, Querkräfte und Auflagerkräfte werden analog zu einem Durchlaufträger ermittelt.

2) Momente an der Stelle 1,2,3,... ermitteln

3) Koppelkräfte berechnen:

$$K_{1,1} = \frac{|V_1|}{2} + \frac{|M_1|}{a} \text{ [KN]} \quad K_{2,1} = \frac{|V_1|}{2} - \frac{|M_1|}{a} \text{ [KN]}$$

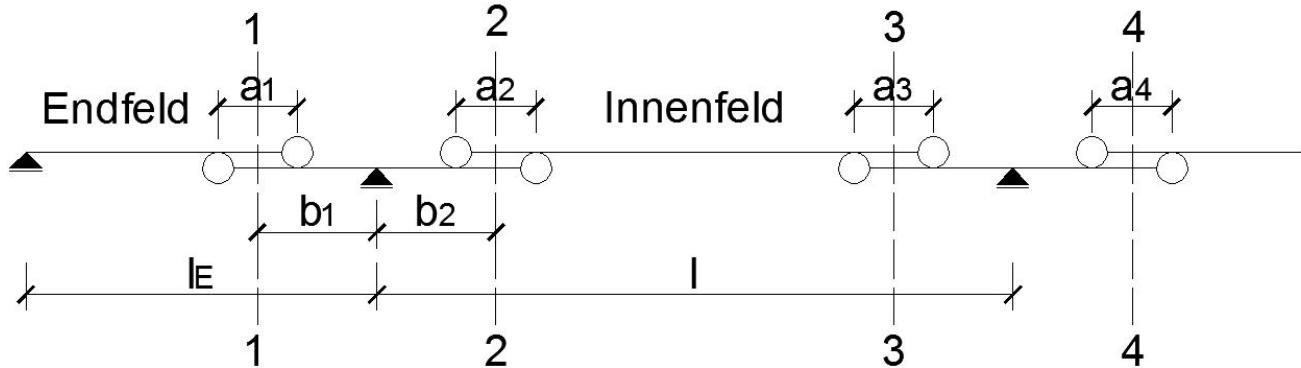
$$a := 0,1 \cdot l$$

$$K_{2,1} = \frac{|V_2|}{2} + \frac{|M_2|}{a} \text{ [KN]} \quad K_{2,2} = \frac{|V_2|}{2} - \frac{|M_2|}{a} \text{ [KN]}$$

$$K_{1,n} = \frac{|V_n|}{2} + \frac{|M_n|}{a} \text{ [KN]} \quad K_{2,n} = \frac{|V_n|}{2} - \frac{|M_n|}{a} \text{ [KN]}$$

....

(erster Index steht für Koppelkraftnummer. Zweiter Index steht für die Stelle der Verbindung)



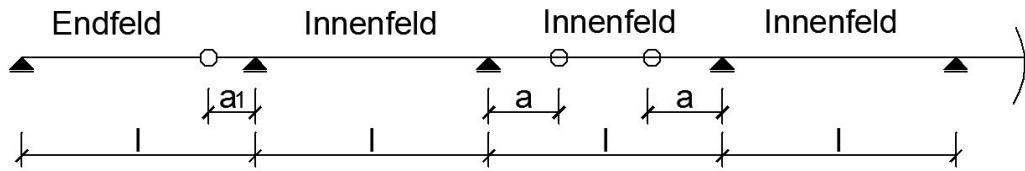
Gelenkpfetten:

Innenfeldmoment & Stützmoment: $M_2 = \frac{q \cdot l^2}{16}$ [KNm]

Endfeld: $M_1 = 0,0957 \cdot q \cdot l^2$ [KNm]

$a = 0,1465 \cdot l$ [m]

$a_1 = 0,125 \cdot l$ [m]

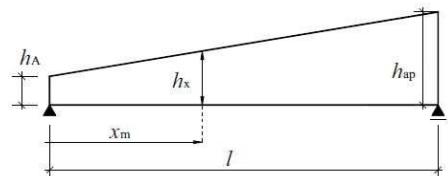


Stelle x mit maximaler Biegespannung

Pultdachträger

$$x = \frac{l_0 \cdot h_{01}}{h_{01} + h_{02}} \quad [m]$$

l_0 : [m] Länge zwischen Momentennullpunkten
 h_{01} : [m] Trägerhöhe an der Stelle des ersten Momentennullpunkts = h_A bei Einfeldträger
 h_{02} : [m] Trägerhöhe an der Stelle des zweiten Momentennullpunkts = h_{ap} bei Einfeldträger

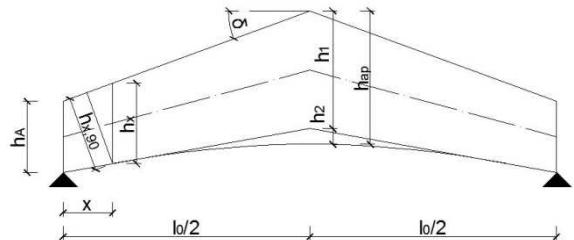


Satteldachträger

$$x^* = \frac{l_0 \cdot h_{01}}{2 \cdot h_1} \quad [m]$$

$$x = x^* + x_0 \quad [m]$$

l_0 : [m] Länge zwischen Momentennullpunkten
 h_{01} : [m] Trägerhöhe an der Stelle des ersten Momentennullpunkts = h_A bei Einfeldträger
 x^* : [m] Stelle mit max σ vom Momentennullpunkt aus
 x_0 : [m] Stelle des Momentennullpunktes

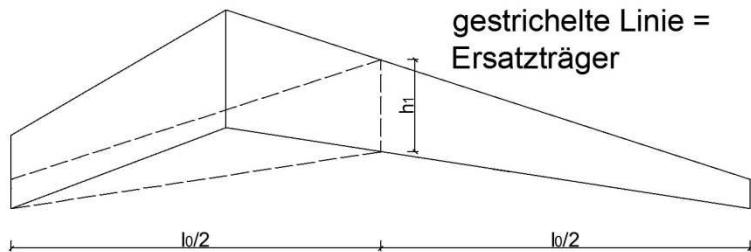


Unsymmetrischer Satteldachträger

$$x = \frac{l_{ap}}{\left(\frac{h_{ap}}{h_{01}}\right) + \left(\frac{2 \cdot l_0}{l_0 - 1}\right)} \quad [m]$$

l_0 : [m] Länge zwischen Momentennullpunkten
 h_{01} : [m] Trägerhöhe an der Stelle des ersten Momentennullpunkts = h_A bei Einfeldträger
 l_{ap} : [m] Länge vom Nullpunkt bis h_{ap}

wenn ein unsymmetrische Träger vorliegt → Ersatzsatteldachträger bilden:

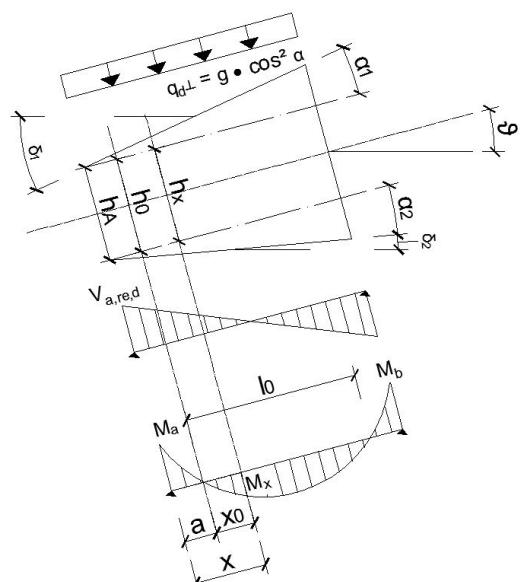


Alternativ mit eigener Formel → aus $\sigma'(x) = M(x)/W(x)$

$$x = \frac{V_{A,re,d} \cdot h_A + 2 \cdot (\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2) \cdot |M_{A,re,d}|}{V_{A,re,d} \cdot (\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2) + q_d \cdot h_A} \quad [m]$$

α : Faseranschnittwinkel = $\alpha_1 + \alpha_2$
 α_1 : [$^\circ$] Aufweitungswinkel oben = ($\delta_1 - \vartheta$)
 α_2 : [$^\circ$] Aufweitungswinkel unten = ($\vartheta - \delta_2$)
 δ : [$^\circ$] Differenzwinkel zw. oberem und unterem Trägerrand = $\delta_1 - \delta_2$
 ϑ : Neigungswinkel der Achse

l_0 : [m] Länge zwischen Momentennullpunkten
 h_A : [cm] Binderhöhe am Auflager A
 h_{min} : [cm] minimale Trägerhöhe (Trägerende)
 l_k : [m] Kragarmlänge (bei Einfeldträger $l_k = 0$)



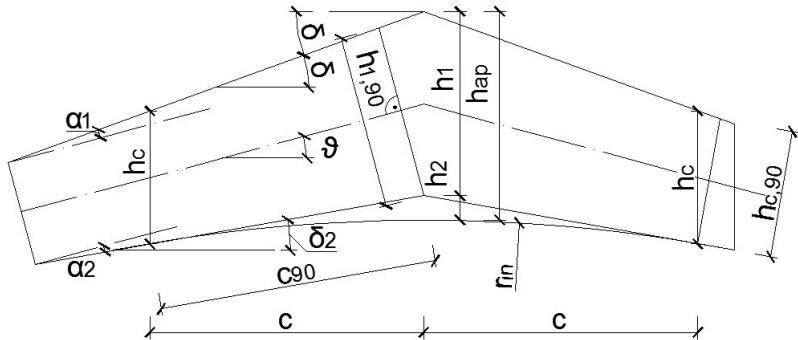
Geometriewerte:

Allgemein:

$$r = r_{in} + 0,5 \cdot h_{ap} \quad [\text{cm}]$$

$$c = r_{in} \cdot \sin \delta_2 \quad [\text{cm}]$$

$$c_{90} = \frac{c}{\cos \delta_2} \quad [\text{cm}]$$



Mit Sattel:

$$h_1 = h_A + 0,5 \cdot l_0 \cdot (\tan \delta - \tan \delta_2) \quad [\text{cm}]$$

$$h_1 = h_{ap} - h_2 \quad [\text{cm}]$$

$$h_{1,90} = h_1 \cdot \cos \vartheta \quad [\text{cm}]$$

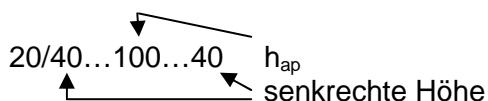
$$h_{c,90} = h_{1,90} - c_{90} \cdot (\tan \delta - \tan \delta_2) \quad [\text{cm}]$$

$$h_2 = \frac{r_{in}}{\cos \delta_2} - r_{in} \quad [\text{m}] \quad (\text{bei gerader Unterkante } h_2 = 0)$$

$$h_x = h_A + x \cdot (\tan \delta - \tan \delta_2) \quad [\text{cm}]$$

ohne Sattel:

$$h_{ap} = \cos(\delta - \delta_2) \cdot \left[h_A + \left(\frac{l}{2} - c \right) \cdot (\tan \delta - \tan \delta_2) \right] \quad [\text{cm}]$$



Nachweise bei Trägern mit veränderlicher Höhe

Geometriewerte

$$h_{\text{erf.}} = \frac{1,5 \cdot \max V_d}{b \cdot f_{vd}} \quad [\text{m}]$$

$$h_b = h_a + l_{\text{eff.}} \cdot (\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2) \quad [\text{m}]$$

$$h_{90} = h \cdot \cos \vartheta \quad [\text{m}]$$

$$W_{y,x} = \frac{b \cdot (h_{x,90})^2}{6} \quad [\text{cm}^3]$$

$$M_{x,d} = - |M_{A,\text{re},d}| + V_{A,\text{re},d} \cdot x - q_{L,d} \cdot x^2 \cdot 0,5 \quad [\text{KNm}]$$

(vereinfacht können die Schnittgrößen bei einem leicht geneigten Träger wie bei einem horizontalen Träger ermittelt werden)

$h_{\text{erf.}}$: [m] erf. Binderhöhe an den Auflagern
 h : [m] senkrechte Höhe
 h_{90} [m]: Trägerhöhe im 90° Winkel zu Trägerachse
 $h_{x,90}$ [cm]: Trägerhöhe an der Stelle x
 ϑ : [°] Winkel der Systemachse = $0,5 \cdot (\delta + \beta)$
 β : [°] Winkel des unteren Randes
 b : [cm] Trägerbreite

Nachweise am faserparallelen Rand

$$\sigma_{m,0,d} = \frac{M_{x,d} \cdot 100}{W_{y,x}} \cdot (1 + 4 \cdot \tan^2 \alpha) \quad [\text{KN/cm}^2] \quad \sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_x} \quad [\text{KN/cm}^2] \quad \sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_x} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

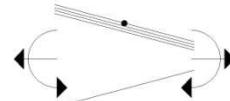
$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

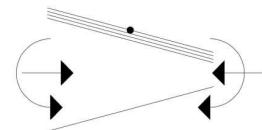
$$f_{m,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \cdot k_h \cdot k_i \quad [\text{KN/cm}^2]$$

α : [°] Faseranschnittswinkel
 k_{mod} : Skript 1/26
 $f_{c,0,k}$: Beiblatt
 $f_{t,0,k}$: Beiblatt
 $f_{m,0,k}$: Beiblatt
 γ_m : 1,3
 k_h : siehe Biegebemessung
 k_i : siehe Biegebemessung

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,0,d} > 0 \\ \sigma_{t,0,d} > 0 \end{array} \right\} \left| \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,0,d}}{f_{m,0,d}} \right| \leq 1,0$$

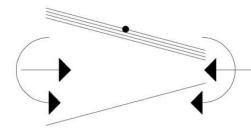


$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,0,d} > 0 \\ |\sigma_{c,0,d}| < |\sigma_{m,0,d}| \end{array} \right\} \left| \frac{-\sigma_{c,0,d} + \sigma_{m,0,d}}{f_{m,0,d}} \right| \leq 1,0$$

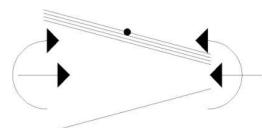


$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,0,d} > 0 \\ |\sigma_{c,0,d}| > |\sigma_{m,0,d}| \end{array} \right\} - \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{|\sigma_{m,0,d}|}{f_{m,0,d}} \leq 1,0$$

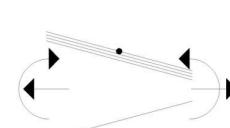
→ maßgebend wird i.d.R der gegenüberliegende Rand



$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,0,d} < 0 \\ \sigma_{c,0,d} < 0 \end{array} \right\} \left| - \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 - \frac{|\sigma_{m,0,d}|}{f_{m,0,d}} \right| \leq 1,0$$

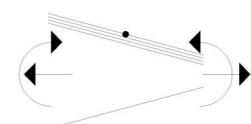


$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,0,d} < 0 \\ |\sigma_{t,0,d}| < |\sigma_{m,0,d}| \end{array} \right\} \left| \frac{\sigma_{t,0,d} - \sigma_{m,0,d}}{f_{m,0,d}} \right| \leq 1,0$$



$$\left. \begin{array}{l} |\sigma_{m,0,d}| < 0 \\ |\sigma_{t,0,d}| > |\sigma_{m,0,d}| \end{array} \right\} \left| \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} - \frac{\sigma_{m,0,d}}{f_{m,0,d}} \right| \leq 1,0$$

→ maßgebend wird i.d.R der gegenüberliegende Rand



Nachweise am fasergeneigten Rand

$$\sigma_{m,a,d} = \frac{M_{x,d} \cdot 100}{W_{y,x}} [\text{KN/cm}^2] \quad \sigma_{c,a,d} = \frac{N_d}{A_x} [\text{KN/cm}^2] \quad \sigma_{t,a,d} = \frac{N_d}{A_x} [\text{KN/cm}^2]$$

N_d : [KN] größte Druckkraft

$$f_{c,a,d} = k_{a,c} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} [\text{KN/cm}^2]$$

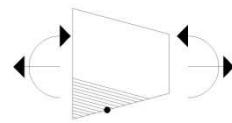
$$f_{t,a,d} = k_{a,t} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m} [\text{KN/cm}^2]$$

$$f_{m,c,a,d} = k_{a,c} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \cdot k_h \cdot k_l [\text{KN/cm}^2]$$

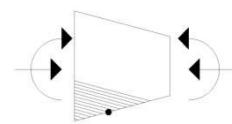
$$f_{m,t,a,d} = k_{a,t} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \cdot k_h \cdot k_l [\text{KN/cm}^2]$$

k_{mod} : Skript 1/26
 $k_{a,c}$: Beiwert zum Einfluss des Faseranschnittwinkels
 Skript Kap 3 / Seite 6
 mit α : Faseranschnittwinkel
 $f_{c,0,k}$: Beiblatt
 $f_{t,0,k}$: Beiblatt
 $f_{m,0,k}$: Beiblatt
 γ_m : 1,3
 k_h : siehe Biegebemessung
 k_l : siehe Biegebemessung

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,a,d} > 0 \\ \sigma_{t,a,d} > 0 \end{array} \right\} \left| \frac{|\sigma_{t,a,d}|}{f_{t,a,d}} + \frac{|\sigma_{m,a,d}|}{f_{m,t,a,d}} \right| \leq 1,0$$

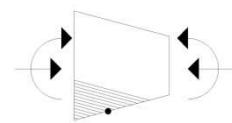


$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,a,d} > 0 \\ |\sigma_{c,a,d}| < |\sigma_{m,0,d}| \end{array} \right\} \left| \frac{-|\sigma_{c,a,d}| + |\sigma_{m,a,d}|}{f_{m,t,a,d}} \right| \leq 1,0$$

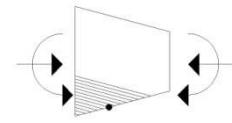


$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,a,d} > 0 \\ |\sigma_{c,a,d}| > |\sigma_{m,0,d}| \end{array} \right\} - \left(\frac{|\sigma_{c,0,d}|}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{|\sigma_{m,0,d}|}{f_{m,t,0,d}} \leq 1,0$$

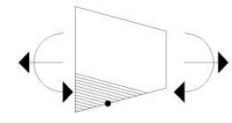
→ maßgebend wird i.d.R der gegenüberliegende Rand



$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,a,d} < 0 \\ \sigma_{c,a,d} < 0 \end{array} \right\} \left| \frac{|\sigma_{c,a,d}|}{f_{c,a,d}} - \frac{|\sigma_{m,a,d}|}{f_{m,c,a,d}} \right| \leq 1,0$$



$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,a,d} < 0 \\ |\sigma_{t,a,d}| < |\sigma_{m,a,d}| \end{array} \right\} \left| \frac{|\sigma_{t,a,d}| - |\sigma_{m,a,d}|}{f_{m,c,a,d}} \right| \leq 1,0$$



$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,a,d} < 0 \\ |\sigma_{t,a,d}| > |\sigma_{m,a,d}| \end{array} \right\} \left| \frac{|\sigma_{t,a,d}| - |\sigma_{m,a,d}|}{f_{t,a,d}} \right| \leq 1,0$$

→ maßgebend wird i.d.R der gegenüberliegende Rand

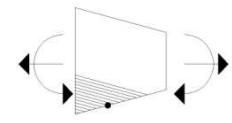


Tabelle 3/1: Werte $k_{a,t}$ für den Biegezugbereich

	Randneigung α [°]										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GL24 h,c	1	0,986	0,948	0,890	0,819	0,743	0,667	0,595	0,529	0,470	0,418
GL28 h,c	1	0,982	0,931	0,857	0,773	0,688	0,608	0,535	0,470	0,414	0,366
GL32 h,c	1	0,976	0,912	0,824	0,729	0,638	0,556	0,484	0,422	0,370	0,325
GL36 h,c	1	0,970	0,892	0,791	0,687	0,593	0,510	0,441	0,382	0,333	0,292

Tabelle 3/2: Werte $k_{a,c}$ für den Biegedruckbereich

	Randneigung α [°]									
	0 - 3	(>) 3,0	4	5	6	7	8	9	10	
GL24 h	1	0,972	0,952	0,927	0,899	0,869	0,837	0,803	0,770	
GL28 h	1	0,962	0,935	0,903	0,868	0,831	0,793	0,755	0,719	
GL32 h	1	0,950	0,916	0,877	0,836	0,793	0,751	0,710	0,671	
GL36 h	1	0,938	0,897	0,851	0,803	0,756	0,710	0,667	0,627	
GL24 c	1	0,972	0,952	0,927	0,898	0,867	0,834	0,800	0,766	
GL28 c	1	0,962	0,935	0,903	0,867	0,830	0,791	0,753	0,715	
GL32 c	1	0,950	0,916	0,877	0,835	0,792	0,749	0,708	0,668	
GL36 c	1	0,938	0,897	0,850	0,803	0,755	0,709	0,665	0,624	

Interpolation:

$$k_{a,t} = k_{a,t,min} + \frac{k_{a,t,max} - k_{a,t,min}}{\alpha_{min} - \alpha_{max}} \cdot (\alpha_{geg} - \alpha_{max})$$

$$k_{a,c} = k_{a,c,min} + \frac{k_{a,c,max} - k_{a,c,min}}{\alpha_{min} - \alpha_{max}} \cdot (\alpha_{geg} - \alpha_{max})$$

Nachweise Firstquerschnitt – Satteldachträger gerader unterer Rand

Nachweis Längsrandspannung am unteren faserparallelen Rand

$$W_{y,ap} = \frac{b \cdot (h_{ap})^2}{6} [\text{cm}^3]$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \cdot k_h \cdot k_l [\text{KN/cm}^2]$$

k_{mod} : Skript 1/26
 $f_{m,k}$: Skript 1/29 & 1/31
 γ_M : 1,3
 k_h : siehe Biegebemessung
 k_l : siehe Biegebemessung

$$k_l = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha + 5,4 \cdot \tan^2 \alpha$$

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{y,ap}} [\text{KN/cm}^2]$$

α : Faseranschnittwinkel
 (entspricht hier dem Dachneigungswinkel)

$$\text{NW: } \eta = \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

Nachweis Querzugsspannung - DIN 1052:2008

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_m} [\text{KN/cm}^2]$$

k_{mod} : Beiblatt
 $f_{t,90,k}$: Beiblatt
 γ_M : 1,3

$$f_{t,90,d}^* = k_{dis} \cdot \left(\frac{h_0}{h_{ap}} \right)^{0,3} \cdot f_{t,90,d} [\text{KN/cm}^2]$$

k_{dis} : Verteilungsfaktor = 1,3
 (berücksichtigt ungleichförmige Spannungsverteilung in Trägerlängsrichtung)

$$k_p = 0,2 \cdot \tan \alpha$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{y,ap}} [\text{KN/cm}^2]$$

$$\text{NW: } \eta = \frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}^*} + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \right)^2$$

$\eta \leq 0,6 \rightarrow$ keine konstruktiven Verstärkungen

$\eta > 0,6 \rightarrow$ konstruktive Verstärkung erf.

$\eta > 1,0 \rightarrow$ Verstärkungen zur vollständigen Aufnahme von Querzugsspannungen erf.

Nachweis Längsrandspannungen gekrümmter innerer Rand - DIN 1052:2008

$$k_{ap} = \frac{h_{ap}}{r} \quad []$$

$$\frac{r_{in}}{t} \geq 240 \rightarrow k_{r,in} = 1,0$$

$$\frac{r_{in}}{t} < 240 \rightarrow k_{r,in} = 0,76 + 0,001 \cdot \frac{r_{in}}{t}$$

r: Radius → siehe Geometriewerte

t: [m] Lamellendicke z.B. 0,04

$k_{r,in}$: Abminderungsfaktor

(berücksichtigt Spannungen die beim biegen auftreten)

Spannungen

$$\sigma_{c,0,d} = k_l^N \cdot \frac{N_d}{A_{ap}} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$\sigma_{t,0,d} = k_l^N \cdot \frac{N_d}{A_{ap}} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$\sigma_{m,d} = k_l^M \cdot \frac{M_{ap,d} \cdot 100}{W_{y,ap}} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$k_l^N = 1 + 0,875 \cdot k_{ap} - 0,675 \cdot k_{ap}^2$$

k_l^M : Erhöhungsfaktor Skript Kap. 3/ Seite 23
(abhängig vom Radius und Faseranschnittwinkel)

δ: Dachneigungswinkel

$$W_{y,ap} = \frac{b \cdot (h_{ap})^2}{6} \quad [\text{cm}^3]$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

k_{mod} : Skript 1/26

$f_{c,0,k}$: Beiblatt

$f_{t,0,k}$: Beiblatt

$f_{m,0,k}$: Beiblatt

γ_m : 1,3

Nachweise

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,d} > 0 \\ \sigma_{t,0,d} > 0 \end{array} \right\} \left| \frac{|\sigma_{t,0,d}|}{k_r^{in} \cdot f_{t,0,d}} + \frac{|\sigma_{m,d}|}{k_r^{in} \cdot f_{m,d}} \right| \leq 1,0$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,d} > 0 \\ |\sigma_{c,0,d}| < |\sigma_{m,0,d}| \end{array} \right\} \left| \frac{-|\sigma_{c,0,d}| + |\sigma_{m,d}|}{k_r^{in} \cdot f_{m,d}} \right| \leq 1,0$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,d} < 0 \\ \sigma_{c,0,d} < 0 \end{array} \right\} \left| -\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_r^{in} \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 - \frac{|\sigma_{m,d}|}{k_r^{in} \cdot f_{m,d}} \right| \leq 1,0$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,d} < 0 \\ |\sigma_{t,0,d}| < |\sigma_{m,d}| \end{array} \right\} \left| \frac{|\sigma_{t,0,d}| - |\sigma_{m,d}|}{k_r^{in} \cdot f_{m,d}} \right| \leq 1,0$$

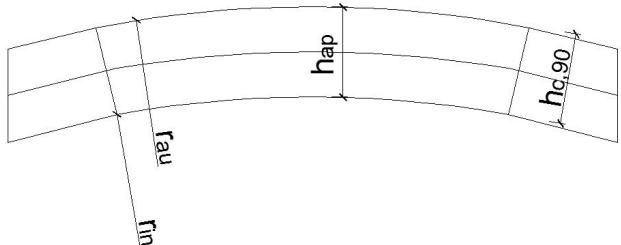
Nachweis Längsrandspannungen gekrümmter äußerer Rand - DIN 1052:2008

$$k_{ap} = \frac{h_{ap}}{r} \quad []$$

$$\frac{r_{au}}{t} \geq 240 \rightarrow k_{r,au} = 1,0$$

$$\frac{r_{au}}{t} < 240 \rightarrow k_{r,au} = 0,76 + 0,001 \cdot \frac{r_{au}}{t}$$

$\delta: [{}^\circ] = 0$
 r: [m] Radius \rightarrow siehe Geometriewerte
 t: [m] Lamellendicke z.B. 0,04
 $k_{r,au}$: Abminderungsfaktor
 (berücksichtigt Spannungen die beim biegen auftreten)



Spannungen

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{ap}} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_{ap}} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{ap,d} \cdot 100}{W_{y,ap}} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$W_{y,ap} = \frac{b \cdot (h_{ap})^2}{6} \quad [\text{cm}^3]$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

k_{mod} : Skript 1/26
 $f_{c,0,k}$: Beiblatt
 $f_{t,0,k}$: Beiblatt
 $f_{m,0,k}$: Beiblatt
 γ_m : 1,3

Nachweise

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,d} > 0 \\ \sigma_{t,0,d} > 0 \end{array} \right\} \left| \frac{|\sigma_{t,0,d}|}{k_r^{au} \cdot f_{t,0,d}} + \frac{|\sigma_{m,d}|}{k_r^{au} \cdot f_{m,d}} \right| \leq 1,0$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,d} > 0 \\ |\sigma_{c,0,d}| < |\sigma_{m,0,d}| \end{array} \right\} \left| \frac{-|\sigma_{c,0,d}| + |\sigma_{m,d}|}{k_r^{au} \cdot f_{m,d}} \right| \leq 1,0$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,d} < 0 \\ \sigma_{c,0,d} < 0 \end{array} \right\} \left| -\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_r^{au} \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 - \frac{|\sigma_{m,d}|}{k_r^{au} \cdot f_{m,d}} \right| \leq 1,0$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{m,d} < 0 \\ |\sigma_{t,0,d}| < |\sigma_{m,d}| \end{array} \right\} \left| \frac{|\sigma_{t,0,d}| - |\sigma_{m,d}|}{k_r^{au} \cdot f_{m,d}} \right| \leq 1,0$$

Nachweis Querzugsspannung - DIN 1052:2008

Querzugsspannungen treten auf wenn am Knickpunkt ein positives Moment vorhanden ist.

$$k_{ap} = \frac{h_{ap}}{r} \quad []$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_m} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$f_{t90,d}^* = k_{dis} \cdot \left(\frac{h_0}{h_{ap}} \right)^{0,3} \cdot f_{t,90,d} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

α : Faseranschnittwinkel = $\alpha_1 + \alpha_2$
 α_1 : [$^\circ$] Aufweitungswinkel oben = $(\delta - \vartheta)$
 α_2 : [$^\circ$] Aufweitungswinkel unten = $(\vartheta - \delta_2)$
 δ : [$^\circ$] im First = Dachneigungswinkel
 ϑ : Neigungswinkel der Achse = $(\delta + \delta_2) \cdot 0,5$

r: Radius → siehe Geometriewerte

k_{mod} : Modifikationsbeiwert (siehe Beiblatt)
 berücksichtigt Lasteinwirkungsdauer & Holzfeuchte
 $f_{t,90,k}$: [KN/cm^2] Zugfestigkeit quer zur Faser
 $f_{v,k}$: [KN/cm^2] Schubfestigkeit
 γ_m : Sicherheitsfaktor = 1,3
 k_{dis} : Satteldachträger = 1,3
 gekrümmte Träger mit konst. Höhe = 1,15
 h_0 : [mm] Bezugshöhe = 600
 h_{ap} : [mm] maximale Höhe im Firstquerschnitt

Spannungen

$$k_p^N = -0,075 \cdot k_{ap} - 0,2 \cdot k_{ap}^2$$

$$\tau_d \approx 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$\sigma_{t,90,d}^M = k_p^M \cdot \frac{M_{ap,d} \cdot 100}{W_{y,ap}} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$\sigma_{t,90,d}^N = k_p^N \cdot \frac{N_d}{A} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$\sigma_{t,90,d} = \sigma_{t,90,d}^M + \sigma_{t,90,d}^N \quad [\text{KN/cm}^2]$$

k_p^N : Erhöhungsfaktor (abhängig vom Radius)

δ : Dachneigungswinkel

k_p^M : Erhöhungsfaktor Skript Kap. 3/ Seite 23
 (abhängig vom Radius und Faseranschnittwinkel)

δ : Dachneigungswinkel

A: [cm^2] Firstquerschnittsfläche

N_d : [KN] Normalkraft im Firstquerschnitt

k_p^N : Erhöhungsfaktor Skript Kap. 3/ Seite 62

$$\eta = \frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}^*} + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1 \rightarrow \text{keine Verstärkung erforderlich}$$

$$\eta = \frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}^*} + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \right)^2 > 1 \rightarrow \text{Verstärkungen zur vollständigen Aufnahme von Querzugsspannungen erf.}$$

$$\eta = \frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}^*} \leq 0,6 \rightarrow \text{keine konstruktiven Verstärkungen}$$

Konstruktive Verstärkungen (0,6 < η < 1) – Satteldachträger mit gekrümmten unterem Rand

Nachweis Klebefuge

$$F_{t,90,d} = \frac{\sigma_{t,90,d} \cdot b^2 \cdot a_1}{64 \cdot n} \quad [\text{KN}]$$

$\sigma_{t,90,d}$: [KN/cm²]
b: [cm]
a₁: [cm] Abstand der Verstärkungen in Trägerlängsrichtung
z.B.: 100cm
n: Anzahl der Verstärkungselemente im Bereich a₁
z.B.: 1

$$l_{ad} \approx 0,5 \cdot h_{c,90} - 5\text{cm} \quad [\text{cm}]$$

$h_{c,90}$: [m] siehe Geometriewerte

$$T_{ef,d} = \frac{2 \cdot F_{t,90,d}}{\pi \cdot l_{ad} \cdot d_r} \quad [\text{N/mm}^2]$$

l_{ad}: [mm] wirksame Verankerungslänge
d_r: [mm] Stahlstabdurchmesser

$$f_{k1,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{k1,k}}{\gamma_m} \quad [\text{N/mm}^2]$$

k_{mod}: Modifikationsbeiwert (siehe Beiblatt)
(berücksichtigt Lasteinwirkungsdauer & Holzfeuchte)
f_{k1,k}: [N/mm²] Skript Kap3 /Seite 34
γ_m: Sicherheitsfaktor = 1,3

$$\frac{T_{ef,d}}{f_{k1,d}} \leq 1$$

Nachweis Bolzen – DIN 18800

$$\eta = \frac{F_{t,90,d}}{F_d} \leq 1$$

F_{t,90,d}: [N] Zugkraft im Bolzen
F_d: [N] Grenzzugkräfte (siehe Tab.)

	4.6	5.6	8.8	10.9
M12	16,7	20,9	44,6	61,3
M16	31,1	38,9	83	114
M20	48,6	60,7	130	178
M22	60,1	75,1	160	220
M24	70	87,5	187	257

Kontrolle Längsrandspannungen – DIN 1052 Abschn. 11.4.1

$$I_{ap,netto} \approx \frac{b \cdot h_{ap}^3}{12} - \frac{d \cdot l_{ad}^3}{12} - d \cdot l_{ad} \cdot (0,5 \cdot l_{ad})^2 \quad [\text{cm}^4]$$

b: [cm] Breite des Trägers
h_{ap}: [cm] maximale Trägerhöhe

$$W_{y,ap,netto} = \frac{I_{ap,netto}}{0,5 \cdot h_{ap}} \quad [\text{cm}^3]$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

k_i: Erhöhungsfaktor Skript Kap. 3/ Seite 23
(abhängig vom Radius und Faseranschnittswinkel)
δ: Dachneigungswinkel

$$\sigma_{m,d} = k_i \cdot \frac{M_{ap,d} \cdot 100}{W_{y,ap,netto}} \quad [\text{KN/cm}^2]$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

k_i: Erhöhungsfaktor Skript Kap. 3/ Seite 23
(abhängig vom Radius und Faseranschnittswinkel)
δ: Dachneigungswinkel
k_r: Abminderungsfaktor (siehe oben)
(berücksichtigt Spannungen die beim biegen auftreten)

Verstärkungen ($\eta > 1$) – Satteldachträger mit gekrümmten unterem Rand

$$l^* \approx r \cdot \pi \cdot \frac{2 \cdot \beta}{180} \text{ [m]}$$

$$1 \text{ Verstärkungselement pro Firstviertel: } a_1 = \frac{l^*}{4} \text{ [m]}$$

$$2 \text{ Verstärkungselemente pro Firstviertel: } a_1 = \frac{l^*}{8} \text{ [m]}$$

→ a_1 auf sinnvolles Maß runden (sinnvolle Abrunden).

Dabei soll folgende Empfehlung gelten: $0,25m \leq a_1 \leq 0,75 \cdot h_{ap}$

l^* : [m] Länge des gekrümmten Bereichs
 r : [m] Biegeradius der Trägerachse = $r_{in} + 0,5 \cdot h_{ap}$
 β : [$^\circ$] Winkel des unteren Randes
 a_1 : [m] Abstand der Verstärkungsdübel

$$F_{t,90,d} = \frac{\sigma_{t,90,d} \cdot b \cdot a_1}{n} \text{ [KN]}$$

$$F_{t,90,d} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_{t,90,d} \cdot b \cdot a_1}{n} \text{ [KN]} \quad (= \text{Kraft in äußeren Vierteln})$$

$\sigma_{t,90,d}$: [KN/cm²]
 b : [cm]
 a_1 : [cm] Abstand der Verstärkungen in Trägerlängsrichtung
 n : Anzahl der Verstärkungselemente im Bereich a_1 z.B.: 1
 (= Anzahl nebeneinander liegenden Reihen)

2 Verstärkungsreihen sind nur möglich wenn Bolzenabstände eingehalten sind: $a_2 \geq 3 \cdot d_r$ $a_{2c} \geq 2,5 \cdot d_r$

Nachweis der Klebefuge

$h_{c,90}$: [m] siehe Geometriewerte

$$l_{ad} \approx 0,5 \cdot h_{c,90} - 5\text{cm} \text{ [cm]}$$

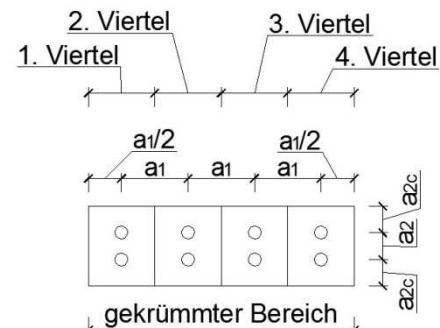
$$T_{ef,d} = \frac{2 \cdot F_{t,90,d}}{\pi \cdot l_{ad} \cdot d_r} \text{ [N/mm²]$$

$$f_{k1,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{k1,k}}{\gamma_m} \text{ [N/mm²]$$

l_{ad} : [mm] wirksame Verankerungslänge
 d_r : [mm] Stahlstabdurchmesser

k_{mod} : Modifikationsbeiwert (siehe Beiblatt)
 (berücksichtigt Lasteinwirkungsdauer & Holzfeuchte)
 $f_{k1,k}$: [N/mm²] Skript Kap3 /Seite 34
 γ_m : Sicherheitsfaktor = 1,3

$$\frac{T_{ef,d}}{f_{k1,d}} \leq 1$$



Nachweis Bolzen – DIN 18800

$$\eta = \frac{F_{t,90,d}}{F_d} \leq 1$$

[KN]	4.6	5.6	8.8	10.9
M12	16,7	20,9	44,6	61,3
M16	31,1	38,9	83	114
M20	48,6	60,7	130	178
M22	60,1	75,1	160	220
M24	70	87,5	187	257

$F_{t,90,d}$: [KN] Zugkraft im Bolzen
 F_d : [KN] Grenzzugkräfte (siehe Tab.)

Kontrolle Längsrandspannungen – DIN 1052 Abschn. 11.4.1

$$I_{ap,netto} \approx \frac{b \cdot h_{ap}^3}{12} - \frac{d \cdot l_{ad}^3}{12} \cdot x - d \cdot x \cdot l_{ad} \cdot (0,5 \cdot l_{ad})^2 \text{ [cm}^4\text{]}$$

$$W_{y,ap,netto} = \frac{I_{ap,netto}}{0,5 \cdot h_{ap}} \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{M_{ap,d} \cdot 100}{W_{y,ap,netto}} \text{ [KN/cm}^2\text{]}$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

b : [cm] Breite des Trägers
 h_{ap} : [cm] maximale Trägerhöhe
 x : Anzahl der Dübel in einer Reihe

k : Erhöhungsfaktor Skript Kap. 3/ Seite 23
 (abhängig vom Radius und Faseranschnittswinkel)
 δ : Dachneigungswinkel

k : Erhöhungsfaktor Skript Kap. 3/ Seite 23
 (abhängig vom Radius und Faseranschnittswinkel)
 δ : Dachneigungswinkel
 k : Abminderungsfaktor (siehe oben)
 (berücksichtigt Spannungen die beim biegen auftreten)

Durchbiegungen (Einfeldträger)

$w = \frac{\max M_d \cdot \ell^2}{9,6 \cdot E_{0,\text{mean}} \cdot I^* \cdot \cos\left(\frac{\delta + \beta}{2}\right)}$ $I^* = k_l \cdot I_{ap}$ bzw. $I^* = k_l \cdot I_l$	$\max M_d = q_d \cdot \ell^2 / 8$ $I^* =$ Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) eines Ersatzträgers mit konst. Höhe k_l nach Tabelle A-18.4 bzw. Tabelle F-15 δ und β siehe Trägergeometrie
--	--

Tabelle F-15 Beiwert k_l zur Berechnung des Ersatz-Trägheitsmomentes I^* (Näherungen)

	$k_l = 0,15 + 0,85 \cdot \frac{h_A}{h_{ap}} - 0,4 \cdot \left(\frac{l_{ap}}{l} - 0,5 \right) \cdot \left[1 - \left(\frac{h_A}{h_{ap}} \right)^3 \right]$
	$k_l = 0,15 + 0,85 \cdot \frac{h_A}{h_{ap}}$
	$k_l = 0,15 + 0,85 \cdot \frac{h_A}{h_{ap}} - 0,2 \cdot \left[1 - \left(\frac{h_A}{h_{ap}} \right)^3 \right]$
	$k_l = 0,15 + 0,85 \cdot \frac{h_A}{h_l}$
	\Rightarrow Tabelle A-18.4b

Horizontale Auflagerverschiebung

	$w_{ap} =$ größte Durchbiegung ohne Abzug der Überhöhung w_0 $= w_{g,fin} + w_{s,fin} (= w_{net,fin} + w_0)$
$w_H = w_{ap} \cdot \left[3,2 \cdot \frac{h_A}{\ell} + 2 \cdot \tan\left(\frac{\delta + \beta}{2}\right) \right]$	

Seitliche Abstützkräfte infolge Druckbeanspruchung (wenn $K_{\text{vorh.}} \geq K_{u,\text{mean}}$)

(Kraft die das auszusteifende Bauteil auf das aussteifende Bauteil ausübt)

$$N_d = (1 - k_m) \cdot \frac{M_d}{h} + N_d \quad [\text{KN}]$$

Die Norm enthält keine Regelung für auf Biegung und Normalkraft belastete Bauteile. Auf der sicheren Seite kann die gesamte Normalkraft addiert werden.

b: [cm] Querschnittsbreite des abzustützenden Bauteils
 h*: [cm] Höhe des abzustützenden Bauteils.
 Bei linear veränderlichem Querschnitt an Stelle $x = 0,65 \cdot l$
 $\rightarrow h^* = h_{\min} + 0,65 \cdot (h_m - h_{\min})$
 k_m : Kippbeiwert \rightarrow siehe Anhang mit $(l_{\text{ef}} \cdot h^*) / b^2$
 M_d [KNm] maximales Biegemoment im Bereich der Stützweite des Verbandes ($l_{\text{verb.}}$)
 Bei wechselndem Vorzeichen \rightarrow maximales Feldmoment
 N_d : [KN] Mittelwert des Bemessungswertes der Normalkraft im Bereich der Stützweite des Verbandes ($l_{\text{verb.}}$)

Vollholz und Balkenschichtholz: $F_d = N_d \cdot (1 - k_c) \cdot \frac{1}{50} \quad [\text{KN}]$

Brettschichtholz und Furnierschichtholz: $F_d = N_d \cdot (1 - k_c) \cdot \frac{1}{80} \quad [\text{KN}]$

wenn $\lambda >$ Tabellenwerte im Anhang $\rightarrow k_c$ auf der sicheren Seite mit 0 ansetzen

N_d : [KN] Mittelwert der Normalkraft im abzustützenden Bauteil
 k_c : Knickbeiwert (i.d.R. Knicken in y-Richtung)
 \rightarrow siehe Anhang mit $\lambda_z = l_{\text{ef}} / (0,289 \cdot b)$
 l_{ef} : [cm] unausgesteifte Gesamtlänge des abzustützenden Bauteils

erf. Mindeststeifigkeit für das aussteifende Element

$$K_{u,\text{mean}} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E_{0,\text{mean}} \cdot I_z}{a^3} \quad [\text{KN/cm}]$$

$E_{0,\text{mean}}$ [KN/cm²] \rightarrow siehe Anhang
 I_z : [cm⁴] Flächenträgheitsmoment des auszusteifenden Elements
 Bei linear veränderlichem Querschnitt an der Stelle $x = 0,65 \cdot l$
 \rightarrow mit $h^* = h_{\min} + 0,65 \cdot (h_m - h_{\min})$
 a [cm] Abstand der seitlichen Stützungen des auszusteifenden Elements

Vorhandene Steifigkeit des abstützenden Bauteils

- 1.) Kraft 1 an der Stelle x aufbringen und Verformung f berechnen
- 2.) $K_{\text{vorh.}} = 1/f$

f: [m] $0,333 \cdot \overline{M^2} \cdot l \cdot 1 / (E_{0,\text{mean}} \cdot I_y)$
 (ohne Abminderung durch γ_m)

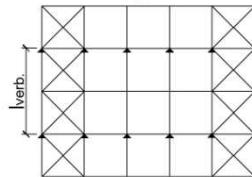
Wenn $K_{\text{vorh.}} > K_{u,\text{mean}}$ \rightarrow untersuchtes Bauteil kann durch das abstützende Bauteil gestützt werden

Stabilisierungskraft infolge Biegebeanspruchung (Ersatzstabverfahren)

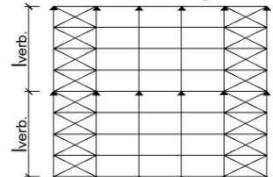
$$k_l = \min \left\{ 1, \sqrt{\frac{15}{l_{verb}}} \right\}$$

l_{verb} : [m] Stützweite des Verbandes → Länge der äußeren Binderkante

bei Kragarmen



Verband als Zweifeldträger



Ermittlung der Kippbeiwertes k_m :

1. Möglichkeit: ablesen aus Tab. Im Anhang

$$\frac{l_{ef} \cdot h^*}{b^2} \rightarrow k_m \text{ aus Tab. Im Anhang ablesen}$$

2. Möglichkeit: Berechnung

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2}} \cdot \lambda_{rel,m}^* \quad []$$

$$\lambda_{rel,m} \leq 0,75 \rightarrow k_m = 1,0$$

$$0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \rightarrow k_m = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m}$$

$$\lambda_{rel,m} > 1,4 \rightarrow k_m = 1/\lambda_{rel,m}^2$$

l_{ef} : [cm] Kipplänge des ungestützten Trägers $\approx l_{verb}$.
→ Länge der Binderachse

h^* : [cm] Querschnittshöhe senkrecht zur Binderachse
→ bei Querschnitten mit linear veränderlicher Höhe ist h^* im Abstand 0,65 • s anzunehmen. $H^* = h_{min} + 0,65 \cdot (h_m - h_{min})$

s : [cm] Stablänge von Stelle mit minimaler Höhe (h_{min}) bis zur Stelle mit maximalem Moment

h_{min} : [cm] minimale Trägerhöhe

h_m : [cm] Trägerhöhe an der Stelle des maximalen Momentes

$$C24: \lambda_{rel,m}^* = 0,06449$$

$$GL24h: \lambda_{rel,m}^* = 0,05178$$

$$GL28c: \lambda_{rel,m}^* = 0,05478$$

$$GL28h: \lambda_{rel,m}^* = 0,05370$$

$$GL32c: \lambda_{rel,m}^* = 0,05621$$

$$N_d = (1 - k_m) \cdot \frac{M_d}{h} + N_d \quad [\text{KN}]$$

Die Norm enthält keine Regelung für auf Biegung und Normalkraft belastete Bauteile. Auf der sicheren Seite kann die gesamte Normalkraft addiert werden.

b : [cm] Querschnittsbreite des abzustützenden Bauteils

h : [cm] Höhe des abzustützenden Bauteils.

Bei linear veränderlichem Querschnitt an Stelle $x = 0,65 \cdot l$
 $\rightarrow h^* = h_{min} + 0,65 \cdot (h_m - h_{min})$

k_m : Kippbeiwert → siehe Anhang mit $(l_{ef} \cdot h^*) / b^2$

M_d [KNm] maximales Biegemoment im Bereich der Stützweite des Verbandes (l_{verb})

Bei wechselndem Vorzeichen → maximales Feldmoment

N_d : [KN] Mittelwert des Bemessungswertes der Normalkraft im Bereich der Stützweite des Verbandes (l_{verb})

Ersatzlast infolge Abstützung von Biegeträgern oder Fachwerkträgern

$$q_d^E = k_l \cdot \frac{n \cdot N_d}{30 \cdot l_{verb}} \quad [\text{KN/m}]$$

n : Anzahl der auszusteifenden Binder pro Dachverband
Wenn Giebelwand vorhanden → Binder über Giebelwand nicht einrechnen. Diese werden unter „Stabilisierungslasten aus Giebelwandstützen“ berücksichtigt

Stabilisierungskräfte aus Giebelwandstützen

$$f_d = (1,35 \cdot \bar{g}_k + 1,5 \cdot \bar{s}_k) \cdot A_E + 1,35 \cdot g_{Gk} \quad [\text{KN/m}]$$

\bar{g}_k : Eigengewicht des Daches bezogen auf die Grundfläche
 \bar{s}_k : Schneelast auf dem Dach bezogen auf die Grundfläche
 g_{Gk} : [KN/m] Eigengewicht der Giebelwand
 A_E : [m^2] Einzugsfläche des Giebelriegels

$$q_{St,d} = f_d \cdot \underbrace{\varphi}_{\text{umrechnen auf Dachfläche}} \cdot \cos \delta \quad [\text{KN/m}]$$

umrechnen auf Dachfläche

f_d : [KN/m] siehe oben
 φ : [°] Schieflistungswinkel = 1/100
 δ : [°] Dachneigungswinkel

Diagonalbemessung

$$\text{Einfeldträger: } H_{A,d} = \frac{\sum q_d^E \cdot l_{verb.}}{2} \quad [\text{KN}]$$

l_1 : [m] Abstand der Pfetten
 l_2 : [m] Breite des Dachverbandes
 l_D : [m] Länge der Diagonalen
 $\sum q_d^E = q_d^E + q_{st,d} + 1,35 \cdot w_k$ [KN/m]

Allgemein:

$$V_{1,d} = H_{A,d} - \sum q_d^E \cdot 0,5 \cdot l_1 \quad [\text{KN}] \quad D_{1,d} = V_{1,d} \cdot \frac{l_D}{l_2} \quad [\text{KN}]$$

Bei nur einer Holzdiagonale → Nachweis auf Druck (Stabilität) & Zug!

Umlenkkraft

$$U = 2 \cdot \sin \delta \cdot F_{c/t} \quad [\text{KN}]$$

δ : [°] Dachneigungswinkel
 $F_{c/t}$: [KN] = $(q_d^E + w_d) \cdot \frac{l_{verb.}^2}{8} \cdot \frac{1}{l_2}$
 l_2 : [m] Breite des Verbandes = Abstand der Binder

Allgemein: Eine Ersatzlast erzeugt im Aussteifungsverband ein Moment. Dieses Moment kann in ein Kräftepaar zerlegt werden. ($F_{c/t}$) Bei einem geneigten Dach erzeugen diese Lasten eine Umlenkkraft. Die Umlenkkraft erzeugt zusätzliche Momente im Binder!

Wandlängsverband

- vertikal belastet durch Auflagerkräfte des Binders
- horizontal belastet durch Wind, Stabilisierungs Kräfte der Außenwandstützen, Stabilisierungslasten aus den Giebelwandstützen. hast: $(\sum S_d / 100)$

S_d : [KN] Stützlast in WV-Ebene

Drehfedersteifigkeit von Verbindungen

1.) Berechnung des Anfangsverschiebemodul K_{ser,k} [N/mm]

	1	2
1	Verbindungsmittel	Verbindung Holz-Holz, Holz-Holzwerkstoff, Stahl-Holz
2	Stabdübel, Passbolzen, Bolzen und Gewindestangen ^a	$\frac{\rho_k^{1,5}}{20} \cdot d$
3	Nägel und Holzschrauben in vorgebohrten Löchern	$\frac{\rho_k^{1,5}}{20} \cdot d$
4	Nägel und Holzschrauben in nicht vorgebohrten Löchern ^b	$\frac{\rho_k^{1,5}}{25} \cdot d^{0,8}$
5	Klammern	$\frac{\rho_k^{1,5}}{60} \cdot d^{0,8}$
6	Ringdübel Typ A1 und Scheibendübel Typ B1	$0,6 \cdot d_c \cdot \rho_k$
7	Scheibendübel mit Zähnen Typen C1 bis C5	$0,3 \cdot d_c \cdot \rho_k$
8	Scheibendübel mit Dornen Typen C10, C11	$0,45 \cdot d_c \cdot \rho_k$
ρ_k	charakteristische Rohdichte der miteinander verbundenen Teile in kg/m ³ ,	
$\rho_k = \sqrt{\rho_{k,1} \cdot \rho_{k,2}}$	bei unterschiedlichen Werten $\rho_{k,1}$ und $\rho_{k,2}$ der charakteristischen Rohdichte der beiden miteinander verbundenen Teile,	
$\rho_k = \rho_k$, Holz	bei Stahl-Holz-Verbindungen und bei Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen,	
d	Stiftdurchmesser in mm,	
d_c	Dübeldurchmesser in mm; bei Dübeltypen C3 und C4 ist $d_c = \sqrt{a_1 \cdot a_2}$	
^a	Bei mit Übermaß gebohrten Löchern im Holz ist bei Bolzen- und Gewindestangen (nicht bei eingeklebten Gewindestangen und Passbolzen) mit einem zusätzlichen Schlupf von 1 mm zu rechnen. Daher ist zu den mit Hilfe des Verschiebungsmoduls ermittelten rechnerischen Verschiebungen jeweils ein Anteil von 1 mm hinzuzurechnen.	
^b	Bei Verbindungen von Holz mit Gipskartonplatten sind die Verschiebungsmoduln um 40 % zu reduzieren.	

$$2.) I_p = \sum(x_i)^2 + \sum(z_i)^2 = n \cdot r^2 [\text{mm}^2]$$

x: [mm] x Abstand zwischen Stift und Schwerpunkt der Verbindung
 z: [mm] z Abstand zwischen Stift und Schwerpunkt der Verbindung
 n: Anzahl der Verbindungsmittel

3.) Drehfedersteifigkeit der Verbindung für den Tragsicherheitsnachweis

$$K_\phi = s \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{K_{ser}}{Y_m} \cdot I_p [\text{Nmm}]$$

s: Anzahl der Scherfugen
 Y_m: 1,3

$$\text{Für einzelne Stäbe: } s \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{K_{ser}}{Y_m} \cdot I_p \cdot \frac{E_{0,05}}{E_{mean}} [\text{Nmm}]$$

Drehfedersteifigkeit der Verbindung für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis

$$K_\phi = s \cdot K_{ser} \cdot I_p [\text{Nmm}]$$

4.) Ersatzdrehfedersteifigkeit des Systems

$$\text{Symmetrisches Knicken: } K_R = \frac{3 \cdot (E \cdot I)_d}{l} [\text{KNm}]$$

$$\text{Antimetrisches Knicken: } K_R = \frac{6 \cdot (E \cdot I)_d}{l} [\text{KNm}]$$

5.) gesamte Drehfedersteifigkeit (Federn in Reihe geschaltet)

$$K_{ges.} = \frac{K_\phi \cdot K_R}{K_\phi + K_R} [\text{KNm}]$$

6.) Zusatzmoment bei einer elastischen Feder für die Bemessung von Verbindungsmitteln

$$\Delta M = N \cdot \frac{h}{6} \cdot \left(\frac{1}{k_{cy}} - 1 \right) [\text{KNm}]$$

h: [m] Querschnittshöhe des an die Feder angeschlossenen Stabes
 k_{cy}: [] Knickbeiwert des des an die Feder angeschlossenen Stabes

Gilt nur für System 2 & 3 (DIN 1052:2008-12). Für System 5 ist das Moment für den Stiel und den Riegel zu berechnen. Maßgebend ist das größere Moment.

Wegfeder einer Verbindung

1.) Berechnung des Anfangsverschiebemodul K_{ser,k} [N/mm]

	1	2
1	Verbindungsmitte	Verbindung Holz-Holz, Holz-Holzwerkstoff, Stahl-Holz
2	Stabdübel, Passbolzen, Bolzen und Gewindestangen ^a	$\frac{\rho_k^{1,5}}{20} \cdot d$
3	Nägel und Holzschrauben in vorgebohrten Löchern	$\frac{\rho_k^{1,5}}{20} \cdot d$
4	Nägel und Holzschrauben in nicht vorgebohrten Löchern ^b	$\frac{\rho_k^{1,5}}{25} \cdot d^{0,8}$
5	Klammern	$\frac{\rho_k^{1,5}}{60} \cdot d^{0,8}$
6	Ringdübel Typ A1 und Scheibendübel Typ B1	$0,6 \cdot d_c \cdot \rho_k$
7	Scheibendübel mit Zähnen Typen C1 bis C5	$0,3 \cdot d_c \cdot \rho_k$
8	Scheibendübel mit Dornen Typen C10, C11	$0,45 \cdot d_c \cdot \rho_k$
<p>ρ_k charakteristische Rohdichte der miteinander verbundenen Teile in kg/m³,</p> <p>$\rho_k = \sqrt{\rho_{k,1} \cdot \rho_{k,2}}$ bei unterschiedlichen Werten $\rho_{k,1}$ und $\rho_{k,2}$ der charakteristischen Rohdichte der beiden miteinander verbundenen Teile,</p> <p>$\rho_k = \rho_k, \text{Holz}$ bei Stahl-Holz-Verbindungen und bei Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen,</p> <p>d Stiftdurchmesser in mm,</p> <p>d_c Dübeldurchmesser in mm; bei Dübeltypen C3 und C4 ist $d_c = \sqrt{a_1 \cdot a_2}$</p>		
<p>^a Bei mit Übermaß gebohrten Löchern im Holz ist bei Bolzen- und Gewindestangen (nicht bei eingeklebten Gewindestangen und Passbolzen) mit einem zusätzlichen Schlupf von 1 mm zu rechnen. Daher ist zu den mit Hilfe des Verschiebungsmoduls ermittelten rechnerischen Verschiebungen jeweils ein Anteil von 1 mm hinzuzurechnen.</p> <p>^b Bei Verbindungen von Holz mit Gipskartonplatten sind die Verschiebungsmodule um 40 % zu reduzieren.</p>		

2.) Federsteifigkeit für den GZT

$$C_i = n \cdot s \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{K_{ser}}{\gamma_m} [\text{N/mm}]$$

s: Anzahl der Scherfugen
 n: Anzahl der Verbindungsmitte
 γ_m : Sicherheitsbeiwert = 1,3

$$\text{Für einzelne Stäbe: } C_i = n \cdot s \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{K_{ser}}{\gamma_m} \cdot \frac{E_{0,05}}{E_{mean}} [\text{N/mm}]$$

3.) Federsteifigkeit eines Stabes

$$C = \frac{E_k \cdot A}{l \cdot \gamma_M} [\text{KN/cm}]$$

E_k : [KN/cm²] E-Modul des Stabes
 γ_M : Sicherheitsbeiwert
 Stahl → 1,1
 Holz → 1,3
 l: [cm] Länge des Stabes

4.) Federsteifigkeit infolge Druckkontakte

$$C = \frac{2}{3} \cdot \frac{F_d}{0,15} \cdot \frac{1}{1,3} [\text{KN/cm}]$$

F_d : [KN] Kraft die über Druck übertragen werden kann

5.) Gesamtfedersteifigkeit (Federn in Reihe geschaltet)

$$C_{ges} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_n}} = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_n}{(C_1 \cdot C_2) + (C_1 \cdot C_n) + (C_2 \cdot C_n)} [\text{KN/cm}]$$

6.) Ersatzfläche

$$A^* = \frac{C_{ges} \cdot l}{E_d} [\text{cm}^2]$$

E_d : [KN/cm²] E-Modul des Stabes
 γ_M : Sicherheitsbeiwert
 Stahl → 1,1
 Holz → 1,3
 l: [cm] Länge des Stabes