

# Formelsammlung

## 1 Allgemeines

Zu diesem Kapitel werden keine Formeln aufgeführt.

## 2 Baustoffeigenschaften

### Holzfeuchte $u$ in [%]

$u = \frac{m_u - m_0}{m_0} \cdot 100 = \frac{m_w}{m_0} \cdot 100$	$m_u$ = Masse der feuchten Holzprobe $m_0$ = Masse der darrtrockenen Holzprobe ( $u = 0$ ) $m_w$ = Masse des im Holz enthaltenen Wassers
---	--

### Schwinden/Quellen

$\Delta B(\text{bzw. } \Delta H) = \alpha \cdot \frac{\Delta u}{100} \cdot B(\text{bzw. } H)$	$\alpha$ = Schwind-/Quellmaß in [%/%] = 0,24 für Nadelhölzer $\perp$ Faser = 0,01 für Nadelhölzer $\parallel$ Faser $\Delta u$ = Änderung der Holzfeuchte in [%] $\Delta B, \Delta H$ = Änderung der Breite bzw. der Höhe $B, H$ = Breite, Höhe
---	--

## 3 Grundlagen der Bemessung

### Bemessungswert einer Baustoffeigenschaft $X$ (Festigkeit):

$X_d = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot X_{05}$	$X_{05}$ = 5%-Quantilwert (char. Wert) der Baustoffeigenschaft $k_{\text{mod}}$ = Modifikationsbeiwert nach <b>Tabelle A-3.2</b> $\gamma_M$ = Teilsicherheitsbeiwert nach <b>Tabelle A-3.7</b>
--	--

### Lastkombinationen

- Nachweis der **Tragfähigkeit**:  
 Charakteristische Bemessungssituation:  $1,35 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_{k,1} + 1,5 \cdot \sum_{i \geq 2} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$
- Nachweis der **Gebrauchstauglichkeit**:
  - Char. (seltene) Kombination:  $G_k + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$  (elastische Verformungen)
  - $G_k + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{0,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$  (Kriechverformungen)
  - Quasi-ständige Kombination:  $G_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

mit  $\psi_0$  und  $\psi_2$  nach **Tabelle A-3.9**

## 4 Tragfähigkeitsnachweise für Querschnitte

### Zug in Faserrichtung

$\sigma_{t,0,d} = 10 \cdot \frac{F_{t,0,d}}{A_n} \leq f_{t,0,d} \quad \text{bzw.} \quad 10 \cdot \frac{F_{t,0,d}/A_n}{f_{t,0,d}} \leq 1$	$\sigma_{t,0,d}$ in [N/mm <sup>2</sup> ] $F_{t,0,d}$ in [kN] $A_n$ in [cm <sup>2</sup> ] $f_{t,0,d}$ in [N/mm <sup>2</sup> ]
<i>Dimensionierung:</i> $\text{erf } A_n \geq 10 \cdot \frac{F_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}$	

### Druck in Faserrichtung (ohne Knicken)

$\sigma_{c,0,d} = 10 \cdot \frac{F_{c,0,d}}{A_n} \leq f_{c,0,d} \quad \text{bzw.} \quad 10 \cdot \frac{F_{c,0,d}/A_n}{f_{c,0,d}} \leq 1$	$\sigma_{c,0,d}$ in [N/mm <sup>2</sup> ] $F_{c,0,d}$ in [kN] $A_n$ in [cm <sup>2</sup> ] $f_{c,0,d}$ in [N/mm <sup>2</sup> ]
--	---

### Schub infolge Querkraft (einachsige Biegung)

$\tau_d = 15 \cdot \frac{V_d}{A} \leq f_{v,d} \quad \text{bzw.} \quad 15 \cdot \frac{V_d/A}{f_{v,d}} \leq 1$	$\tau_d$ in [N/mm <sup>2</sup> ] $V_d$ in [kN] $A$ in [cm <sup>2</sup> ] $f_{v,d}$ in [N/mm <sup>2</sup> ]
<i>Dimensionierung:</i> $\text{erf } A \geq 15 \cdot \frac{V_d}{f_{v,d}}$	

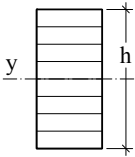
### Schub infolge Querkraft (schiefe Biegung)

$15 \cdot \frac{V_{\text{res},d}/A}{f_{v,d}} \leq 1$	$V_{\text{res},d}$ = resultierende Querkraft in [kN] $= \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2}$
<i>Dimensionierung:</i> $\text{erf } A \geq 15 \cdot \frac{V_{\text{res},d}}{f_{v,d}}$	$A$ in [cm <sup>2</sup> ] $f_{v,d}$ in [N/mm <sup>2</sup> ]

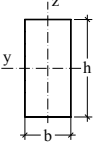
### Biegespannung (einachsige Biegung)

$\sigma_{m,d} = 1000 \cdot \frac{M_d}{W_n} \leq f_{m,d} \quad \text{bzw.} \quad 1000 \cdot \frac{M_d/W_n}{f_{m,d}} \leq 1$	$\sigma_{m,d}$ in [N/mm <sup>2</sup> ] $M_d$ in [kNm] $W_n$ in [cm <sup>3</sup> ] $f_{m,d}$ in [N/mm <sup>2</sup> ]
<i>Dimensionierung:</i> $\text{erf } W_n \geq 1000 \cdot \frac{M_d}{f_{m,d}}$	

Biegefestigkeit  $f_{m,y,k}$  in Abhängigkeit von der Trägerhöhe (BSH mit liegenden Lamellen)

	$600 \text{ mm} \leq h$	$f_{m,y,k}$
	$300 \text{ mm} < h < 600 \text{ mm}$	$f_{m,y,k} \cdot (600/h)^{0,14}$
	$h \leq 300 \text{ mm}$	$f_{m,y,k} \cdot 1,1$

**Biegespannung (schiefe Biegung)**

	$\left( 1000 \cdot \frac{M_{y,d} / W_{y,n}}{f_{m,y,d}} \right) + k_{red} \cdot \left( 1000 \cdot \frac{M_{z,d} / W_{z,n}}{f_{m,z,d}} \right) \leq 1$	$M_{y,d}; M_{z,d}$ in [kNm] $W_{y,n}; W_{z,n}$ in [cm <sup>3</sup> ] $f_{m,y,d}; f_{m,z,d}$ in [N/mm <sup>2</sup> ]  $k_{red} = 0,7$ für Rechteckquerschnitte mit $h/b \leq 4$
	<p>und</p> $k_{red} \cdot \left( 1000 \cdot \frac{M_{y,d} / W_{y,n}}{f_{m,y,d}} \right) + \left( 1000 \cdot \frac{M_{z,d} / W_{z,n}}{f_{m,z,d}} \right) \leq 1$ <p>Dimensionierung (Näherung):</p> $erf W_{y,n} \geq 1000 \cdot \frac{M_{y,d} + M_{z,d}}{f_{m,y,d}}$	

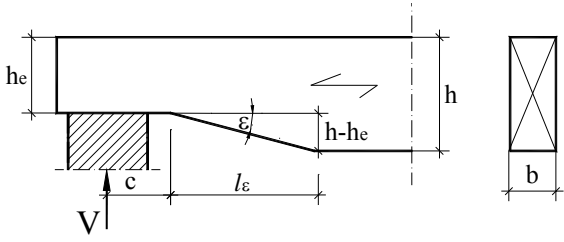
**Zug und Biegung**

$10 \cdot \frac{F_{t,0,d} / A_n}{f_{t,0,d}} + \left( 1000 \cdot \frac{M_{y,d} / W_{y,n}}{f_{m,y,d}} \right) + k_{red} \cdot \left( 1000 \cdot \frac{M_{z,d} / W_{z,n}}{f_{m,z,d}} \right) \leq 1$	$F_{t,0,d}$ in [kN] $M_{y,d}; M_{z,d}$ in [kNm] $A_n$ in [cm <sup>2</sup> ] $W_{y,n}; W_{z,n}$ in [cm <sup>3</sup> ] $f_{t,0,d}; f_{m,y,d}; f_{m,z,d}$ in [N/mm <sup>2</sup> ]
<p>und</p> $10 \cdot \frac{F_{t,0,d} / A_n}{f_{t,0,d}} + k_{red} \cdot \left( 1000 \cdot \frac{M_{y,d} / W_{y,n}}{f_{m,y,d}} \right) + \left( 1000 \cdot \frac{M_{z,d} / W_{z,n}}{f_{m,z,d}} \right) \leq 1$	

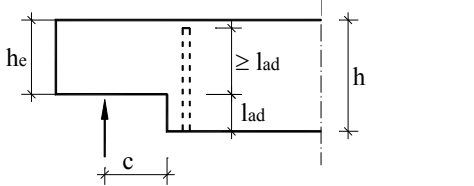
**Druck (ohne Knicken) und Biegung**

$\left( 10 \cdot \frac{F_{c,0,d} / A_n}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \left( 1000 \cdot \frac{M_{y,d} / W_{y,n}}{f_{m,y,d}} \right) + k_{red} \cdot \left( 1000 \cdot \frac{M_{z,d} / W_{z,n}}{f_{m,z,d}} \right) \leq 1$	$F_{c,0,d}$ in [kN] $M_{y,d}; M_{z,d}$ in [kNm] $A_n$ in [cm <sup>2</sup> ] $W_{y,n}; W_{z,n}$ in [cm <sup>3</sup> ] $f_{c,0,d}; f_{m,y,d}; f_{m,z,d}$ in [N/mm <sup>2</sup> ]
<p>und</p> $\left( 10 \cdot \frac{F_{c,0,d} / A_n}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_{red} \cdot \left( 1000 \cdot \frac{M_{y,d} / W_{y,n}}{f_{m,y,d}} \right) + \left( 1000 \cdot \frac{M_{z,d} / W_{z,n}}{f_{m,z,d}} \right) \leq 1$	

**Ausklinkungen**

 $\tau_d = 15 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_e} \leq k_v \cdot f_{v,d}$	<p> <math>V_d</math> in [kN]  <math>b, h, h_e</math> in [cm]  <math>f_{v,d}</math> in [N/mm<sup>2</sup>]  <math>\alpha = h_e/h \geq 0,5</math>  <math>c</math> in [cm] <math>\leq 0,4 \cdot h</math>  <math>k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ k_{90} \cdot k_\epsilon \end{array} \right.</math>  <math>k_{90} = \frac{k_n}{\sqrt{10} \cdot h} \cdot k_{v,\alpha}</math> (rechth. Auskl.)  <math>k_n = 5,0</math> für Vollholz  <math>= 6,5</math> für Brettschichtholz  <math>k_{v,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{\alpha \cdot (1-\alpha)} + 0,8 \cdot \frac{c}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2}}</math>  <math>k_\epsilon = 1 + \frac{1,1}{\tan \epsilon \cdot \sqrt{10} \cdot h \cdot \tan \epsilon}</math>  <math>= 1</math> bei rechth. Ausklinkungen  <math>\epsilon</math> = Winkel des Anschnittes         </p>
--	---

**Verstärkung von Ausklinkungen mittels eingeklebter Stahlstangen**

<p><b>Zugkraft in der Stahlstange:</b>  <math>F_{t,90,d} = k_\alpha \cdot V_d</math></p>	<p> <math>V_d</math> = Querkraft bzw. Auflagerkraft in [kN]  <math>k_\alpha</math> nach <b>Tabelle A-4.2</b> </p>
 <p> <math>F_{t,90,d} \leq n \cdot R_{ax,d} = n \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} R_{ax,d,G} \\ R_{ax,d,S} \end{array} \right.</math>            Gewindebolzen/Betonstahl:  <math>R_{ax,d,G} = \pi \cdot d \cdot \ell_{ad} \cdot f_{k1,d}</math>            Gewindestangen mit Holzgewinde:  <math>R_{ax,d,G} = d \cdot \ell_{ad} \cdot f_{1,d}</math> </p>	<p> <math>F_{t,90,d}</math> = aufzunehmende Kraft in [kN]  <math>n</math> = Anzahl der nebeneinander liegenden Stahlstäbe; in Längsrichtung darf nur ein Stab in Rechnung gestellt werden  <math>R_{ax,d,G}</math> = Tragfähigkeit auf Herausziehen des Gewindes  <math>f_{k1,d}</math> = Klebfugenfestigkeit nach <b>Tabelle A-4.3</b>  <math>f_{1,d}</math> = Ausziehfestigkeit nach <b>Tabelle A-4.3</b>            Hinweis: Der Faktor <math>\pi</math> ist in <math>f_{1,d}</math> bereits eingerechnet.  <math>R_{ax,d,S}</math> = Zugtragfähigkeit des Stahlstabes nach <b>Tabelle A-4.4</b>  <math>d</math> = Durchmesser des Stahlstabes in [mm] <math>\leq 20</math> mm  <math>\ell_{ad}</math> = Verankerungslänge in [cm] (<math>\ell_{ad} \approx h - h_e</math>)         </p>

## 5 Gebrauchstauglichkeit

### Verformungsanteile

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elastische Anfangsverformung <math>w_{\text{inst}}</math></li> <li>• Elastische Anfangsverformung inf. quasi-ständiger Last <math>w_{\text{qs}} = \psi_2 \cdot w_{\text{inst}}</math></li> <li>• Kriechverformungen <math>w_{\text{kriech}} = k_{\text{def}} \cdot w_{\text{qs}} = k_{\text{def}} \cdot \psi_2 \cdot w_{\text{inst}}</math></li> <li>• Endverformung <math>w_{\text{fin}} = w_{\text{inst}} + w_{\text{kriech}}</math> <math>w_{\text{fin}} = w_{\text{inst}} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{\text{def}})</math></li> </ul>	$k_{\text{def}} =$ Beiwert nach <b>Tabelle A-3.3</b>  $\psi_2 =$ quasi-ständiger Beiwert nach <b>Tabelle A-3.9</b>
	$w_0 =$ Überhöhung $w_G$ infolge ständiger Lasten $w_Q$ infolge veränderlicher Lasten $w_{\text{net}} = w_G + w_Q - w_0$

### Nachweise

#### 1) NW gegen Schäden: char. Bemessungssituation (d.h. mit $\psi_0$ )

1a) Elastische Durchbiegungen (ohne Kriechen):

$$\sum_{\psi_0} w_{Q,\text{inst}} \leq \frac{\ell}{300} \quad (\text{bei Kragträgern: } \leq \frac{\ell_k}{150})$$

1b) Enddurchbiegungen (Durchbiegungen einschließlich Kriechen):

$$\sum_{\psi_0} w_{Q,\text{inst}} + k_{\text{def}} \cdot \sum w_{\text{qs}} \leq \frac{\ell}{200} \quad (\text{bei Kragträgern: } \leq \frac{\ell_k}{100})$$

#### 2) NW gegen optische Beeinträchtigung: quasi-ständige Bemessungssituation (ohne $\psi_0$ )

$$\sum w_{\text{qs}} \cdot (1 + k_{\text{def}}) - w_0 \leq \frac{\ell}{200} \quad (\text{bei Kragträgern: } \leq \frac{\ell_k}{100})$$

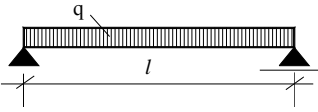
#### 3) Nachweis gegen Unbehagen (Schwingungen):

$$\begin{aligned} \sum w_{\text{qs}} &\leq 6 \text{ mm} && \text{für einen Einfeldträger} \\ 0,7 \cdot \sum w_{\text{qs}} &\leq 6 \text{ mm} && \text{für ein Endfeld eines Mehrfeldträgers} \\ 0,52 \cdot \sum w_{\text{qs}} &\leq 6 \text{ mm} && \text{für ein Innenfeld eines Mehrfeldträgers} \end{aligned}$$

mit

$$\begin{aligned} w_{\text{qs}} &= \text{Durchbiegung des (ideellen) Einfeldträgers (Stützweite } l) \text{ unter (quasi-) ständiger} \\ &\text{Last } q_{\text{qs}} = g + \psi_2 \cdot p \end{aligned}$$

**Einfeldträger**

 <p style="text-align: center;"> <math>\max w = k_w \cdot q_d</math>  <math>w</math> in [mm]   <math>q_d</math> in [kN/m]         </p>	$k_w = \frac{5}{384} \cdot \frac{\ell^4}{E_{0,\text{mean}} \cdot I}$ <p> <math>\ell</math> in [mm], <math>E_{0,\text{mean}}</math> in [N/mm<sup>2</sup>], <math>I</math> in [mm<sup>4</sup>]         </p>
---	---

**1.a) Elastische Durchbiegung**

$\sum_{\psi_0} w_{Q,\text{inst}} \leq \frac{\ell}{300}$ <p>(bei Kragträgern: <math>\leq \frac{\ell_k}{150}</math>)</p> <p> <i>Dimensionierung:</i>   <math>\text{erf } I \geq k_{\text{dim},1} \cdot \sum_{\psi_0} q_{Q,d} \cdot \ell^3</math> </p>	$I$ in [cm <sup>4</sup> ] $k_{\text{dim},1}$ <b>Tabelle A-5.1</b> $q$ in [kN/m] $\ell$ in [m]
---	--

**1.b) Enddurchbiegung**

$\sum_{\psi_0} w_{Q,\text{inst}} + k_{\text{def}} \cdot \sum w_{qs} \leq \frac{\ell}{200}$ <p>(bei Kragträgern: <math>\leq \frac{\ell_k}{100}</math>)</p> <p> <i>Dimensionierung:</i>   <math>\text{erf } I \geq k_{\text{dim},2} \cdot \left( \sum_{\psi_0} q_{Q,d} + k_{\text{def}} \cdot \sum q_{qs} \right) \cdot \ell^3</math> </p>	$I$ in [cm <sup>4</sup> ] $k_{\text{dim},2}$ <b>Tabelle A-5.1</b> $q$ in [kN/m] $\ell$ in [m]
--	--

**2) Optik**

$\sum w_{qs} \cdot (1 + k_{\text{def}}) - w_0 \leq \frac{\ell}{200}$ <p>(bei Kragträgern: <math>\leq \frac{\ell_k}{100}</math>)</p> <p> <i>Dimensionierung:</i>   <math>\text{erf } I \geq k_{\text{dim},2} \cdot \sum q_{qs} \cdot (1 + k_{\text{def}}) \cdot \ell^3 \cdot \frac{1}{1 + 200 \cdot w_0 / \ell}</math> </p>	$I$ in [cm <sup>4</sup> ] $k_{\text{dim},2}$ <b>Tabelle A-5.1</b> $q$ in [kN/m] $\ell$ in [m] $w_0$ Überhöhung
--	--

**3) Schwingung**

$\sum w_{qs} \leq 6 \text{ mm}$ <p> <i>Dimensionierung:</i>   <math>\text{erf } I \geq k_{\text{dim},3} \cdot \sum q_{qs} \cdot \ell^4</math> </p>	$I$ in [cm <sup>4</sup> ] $k_{\text{dim},3}$ <b>Tabelle A-5.1</b> $q$ in [kN/m] $\ell$ in [m]
--	--

**Erläuterung der Durchbiegungen** (siehe auch nachfolgende **Tabelle F-1**):

$\sum_{\psi_0} w_{Q,\text{inst}}$ = Summe aller elastischer Durchbiegungen infolge veränderlicher Lasten unter Berücksichtigung der Kombinationsbeiwerte $\psi_0$
$\sum w_{qs}$ = Summe aller quasi-ständigen ( $\psi_2$ -fachen) Durchbiegungen ( <u>ohne</u> Berücksichtigung der Kombinationsbeiwerte $\psi_0$ )

**Erläuterung der Belastungen** (siehe auch nachfolgende **Tabelle F-2**):

$\sum_{\psi_0} q_{Q,d}$ = Summe aller veränderlichen Lasten unter Berücksichtigung der Kombinationsbeiwerte $\psi_0$
$\sum q_{qs}$ = Summe aller quasi-ständigen ( $\psi_2$ -fachen) Lasten ( <u>ohne</u> Berücksichtigung der Kombinationsbeiwerte $\psi_0$ )

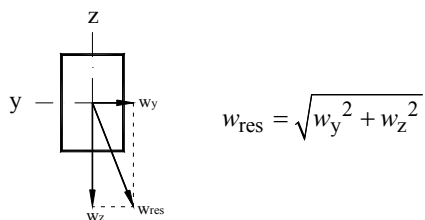
**Tabelle F-1** Zusammenstellung für die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit (**Einfeldträger**)  
 $\psi_0$ , u.  $\psi_2$  nach **Tabelle A-3.9**,  $k_{def}$  nach **Tabelle A-3.3**

Belastung	$k_w$	$q_d$	$w_{inst}$ = $k_w \cdot q_d$	$w_{qs}$ = $\psi_2 \cdot w_{inst}$	$\psi_0$	$\psi_2$
$G$					1,0	1,0
$Q_1$						
$Q_2$						
		$Q_1 + \psi_0 \cdot Q_2$	$\sum \frac{w_{Q,inst}}{\psi_0}$	$\sum w_{qs}$	NKL = .....	
		$\psi_0 \cdot Q_1 + Q_2$	$\sum w_{Q,inst}$		$k_{def} = \dots$	

**Tabelle F-2** Zusammenstellung für die Dimensionierung von Querschnitten entsprechend den Nachweisen der Gebrauchstauglichkeit (**Einfeldträger**)  
 $\psi_0$ , u.  $\psi_2$  nach **Tabelle A-3.9**,  $k_{def}$  nach **Tabelle A-3.3**

Belastung	$q_d$	$q_{qs}$ = $\psi_2 \cdot q_d$	$\psi_0$	$\psi_2$
$G$			1,0	1,0
$Q_1$				
$Q_2$				
		$Q_1 + \psi_0 \cdot Q_2$	$\sum q_{Q,d}$	NKL = .....
		$\psi_0 \cdot Q_1 + Q_2$	$\sum q_{Q,d}$	

**Schiefe Biegung (zweiachsige Biegung)**







**Tabelle F-3** Zusammenstellung für die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit für **Durchlaufträger**  
 $\psi_0$ , u.  $\psi_2$  nach **Tabelle A-3.9**,  $k_{def}$  nach **Tabelle A-3.3**

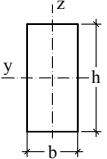
Belastung	<i>ideeller Einfeldträger</i>				<i>Durchlaufträger</i>			$\psi_0$	$\psi_2$
	$k_w$	$q_d$	$w_{inst}$ = $k_w \cdot q_d$	$w_{qs}$ = $\psi_2 \cdot w_{inst}$	$k_{DLT}$	$w_{inst}^*$ = $k_{DLT} \cdot w_{inst}$	$w_{qs}^*$ = $k_{DLT} \cdot w_{qs}$		
$G$								1,0	1,0
$Q_1$									
$Q_2$									
				$\sum w_{qs}$	$Q_1 + \psi_0 \cdot Q_2$	$\sum_{\psi_0} w_{Q,inst}^*$	$\sum w_{qs}^*$	NKL = ... $k_{def} = \dots$	
					$\psi_0 \cdot Q_1 + Q_2$	$\sum_{\psi_0} w_{Q,inst}^*$			

**Tabelle F-4** Zusammenstellung für die Dimensionierung von Querschnitten entsprechend den Nachweisen der Gebrauchstauglichkeit (**Durchlaufträger**)  
 $\psi_0$ , u.  $\psi_2$  nach **Tabelle A-3.9**,  $k_{def}$  nach **Tabelle A-3.3**

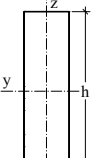
Belastung	$q_d$	$q_{qs}$ = $\psi_2 \cdot q_d$	$k_{DLT}$	$q_d^*$ = $k_{DLT} \cdot q_d$	$q_{qs}^*$ = $k_{DLT} \cdot q_{qs}$	$\psi_0$	$\psi_2$
$G$						1,0	1,0
$Q_1$							
$Q_2$							
		$\sum q_{qs}$	$Q_1 + \psi_0 \cdot Q_2$	$\sum_{\psi_0} q_{Q,d}^*$	$\sum q_{qs}^*$	NKL = ..... $k_{def} = \dots$	
			$\psi_0 \cdot Q_1 + Q_2$	$\sum_{\psi_0} q_{Q,d}^*$			

## 6 Stabilitätsnachweise

### Knicken

	$\sigma_{c,0,d} = 10 \cdot \frac{F_{c,0,d}}{A_n} \leq k_{c,y/z} \cdot f_{c,0,d}$ <p>bzw.</p> $10 \cdot \frac{F_{c,0,d}/A_n}{k_{c,y/z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$	$\lambda_{y/z} = \ell_{ef,y/z} / i_{y/z}$ (gleiche Einheiten) $\Rightarrow k_{c,y/z}$ nach <b>Tabelle A-6.1</b> $\ell_{ef,y/z}$ = Knicklängen $i_y = 0,289 \cdot h$ $i_z = 0,289 \cdot b$ $\sigma_{c,0,d}$ in [N/mm <sup>2</sup> ] $F_{c,0,d}$ in [kN] $A_n$ in [cm <sup>2</sup> ] $f_{c,0,d}$ in [N/mm <sup>2</sup> ]
---	--	--

### Kippen

	$\sigma_{m,d} = 1000 \cdot \frac{M_d}{W} \leq k_m \cdot f_{m,d}$ <p>bzw.</p> $1000 \cdot \frac{M_d/W}{k_m \cdot f_{m,d}} \leq 1$	$\ell_{ef} \cdot h / b^2$ (gleiche Einheiten !) $\Rightarrow k_m$ nach <b>Tabelle A-6.2</b> $\ell_{ef}$ = Kipplänge $\sigma_{m,d}$ in [N/mm <sup>2</sup> ] $M_d$ in [kNm] $W$ in [cm <sup>3</sup> ] $f_{m,d}$ in [N/mm <sup>2</sup> ]
--	--	---

### Knicken und Kippen

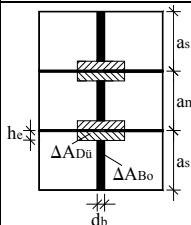
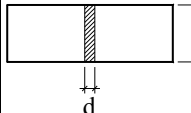
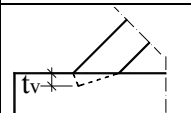
$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ <p>und</p> $\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	$k_{red} = 0,7$ bei Rechteckquerschnitten mit $h/b \leq 4$
--	--

### Zug und Kippen

$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ <p>und</p> $\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	$k_{red} = 0,7$ bei Rechteckquerschnitten mit $h/b \leq 4$
--	--

## 7 Nachweis von Bauteilen im Anschlussbereich

**Querschnittsschwächungen** (Durchmesser und Holzdicken in mm, Fehlflächen in mm<sup>2</sup>)

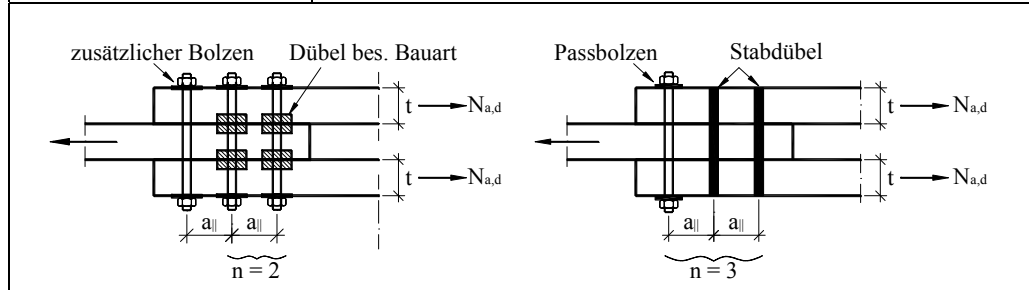
Verbindungs- mittel	Querschnittsschwächung		
	Schätz- wert 1)	genauer Wert	
Dübel besonderer Bauart	$0,25 \cdot A_b$	$\Delta A_{Dü}$ und $h_e$ nach <b>Tabelle A-14.2</b> <i>Seitenholz:</i> $\Delta A = \Delta A_{Dü} + (d_{Bo} + 1 \text{ mm}) \cdot (a_s - h_e)$ <i>Mittelholz:</i> $\Delta A = 2 \cdot \Delta A_{Dü} + (d_{Bo} + 1 \text{ mm}) \cdot (a_m - 2 \cdot h_e)$	
Stabdübel	$0,15 \cdot A_b$	$\Delta A_{SDü} = d_{SDü} \cdot a$	
Bolzen	$0,15 \cdot A_b$	$\Delta A_{Bo} = (d_{Bo} + 1 \text{ mm}) \cdot a$	
Nägel – <u>vorgebohrt</u> – <u>nicht vorgebohrt</u> $d_n \leq 6 \text{ mm}$ $d_n > 6 \text{ mm}$	$0,1 \cdot A_b$ — $0,1 \cdot A_b$	$\Delta A_{Na} = d_{Na} \cdot a$ — $\Delta A_{Na} = d_{Na} \cdot a$	
Einseitiger Versatz	$0,25 \cdot A_b$	$\Delta A_v = t_v \cdot b_v$	

1) für Entwurfsberechnung:  $A_b$  = Brutto-Querschnittsfläche

**Zuganschlüsse**

<b>Zentrisch beanspruchte Hölzer (Mittelhölzer):</b>	
$\sigma_{t,0,d} = 10 \cdot \frac{F_{t,0,d}}{A_n} \leq f_{t,0,d} \quad \text{bzw.} \quad 10 \cdot \frac{F_{t,0,d}/A_n}{f_{t,0,d}} \leq 1$	
<b>Einseitig beanspruchte Hölzer (Außenhölzer):</b>	
$10 \cdot \frac{N_{a,d}}{A_n} \leq k_{t,e} \cdot f_{t,0,d}$	$N_{a,d}$ = Bemessungswert der Zugkraft (parallel zur Faser) in [kN] $A_n$ = Netto-Querschnittsfläche in [cm <sup>2</sup> ] $f_{t,0,d}$ = Bemessungswert der Zugfestigkeit (parallel zur Faser) in [N/mm <sup>2</sup> ] $k_{t,e}$ = Beiwert zur Berücksichtigung des Zusatzmomentes bei <u>einseitig</u> beanspruchten Zugstäben (nach <b>Tabelle A-7.1</b> )
bzw.	
$10 \cdot \frac{N_{a,d}/A_n}{k_{t,e} \cdot f_{t,0,d}} \leq 1$	

<b>Ausziehkraft:</b>	$N_{a,d}$ = Zugkraft im einseitig beanspruchten, außenliegenden Stab $n$ = Anzahl der zur Übertragung der Scherkraft in Kraftrichtung hintereinander liegenden Verbindungsmittel ohne die <u>zusätzlichen</u> ausziehfesten Verbindungsmittel (siehe unten stehende Skizze) $t$ = Dicke des außenliegenden Stabes $a_{  }$ = Abstand der auf Herausziehen beanspruchten Verbindungsmittel zur nächsten Verbindungsmittelreihe
$F_{ax,d} = \frac{N_{a,d}}{n} \cdot \frac{t}{2 \cdot a_{  }}$	



**Biegeträger mit Querschnittsschwächung**

$1000 \cdot \frac{M_d}{W_n} \leq f_{m,d} \quad \text{bzw.} \quad 1000 \cdot \frac{M_d/W_n}{f_{m,d}} \leq 1$	$M_d$ in [kNm]
	$W_n$ in [cm <sup>3</sup> ] (z.B. nach <b>Tabelle F-5</b> )
	$f_{m,d}$ in [N/mm <sup>2</sup> ]

**Tabelle F-5** Beispiele zur Berechnung des Netto-Trägheitsmomentes  $I_n$  und -Widerstandsmomentes  $W_n$

<p><b>Voraussetzung:</b> <math>d \cdot b \leq 0,1 \cdot b \cdot h</math></p>	<p><b>Voraussetzung:</b> <math>\Delta A_1 \leq 0,1 \cdot b \cdot h</math></p>	
$I_n = \frac{b \cdot h^3}{12} - \frac{d \cdot h^3}{12}$ $= \frac{(b-d) \cdot h^3}{12}$ $W_n = \frac{I_n}{h/2} = \frac{(b-d) \cdot h^2}{6}$	$I_n = \frac{b \cdot h^3}{12} - \frac{b \cdot d^3}{12} - b \cdot d \cdot a_1^2$ $\approx \frac{b \cdot h^3}{12} - b \cdot d \cdot a_1^2$ $W_n \approx \frac{I_n}{h/2}$	$I_n \approx \frac{b \cdot h^3}{12} - \Delta A_1 \cdot a_1^2$ $W_n \approx \frac{I_n}{h/2}$

**Ausmittige Anschlüsse**

<p><b>Zuganschluss:</b></p> $10 \cdot \frac{F_{t,d}/A_n}{f_{t,0,d}} + 1000 \cdot \frac{\Delta M_d/W_n}{f_{m,d}} \leq 1$	$F_{t,d}$ = Zugkraft in [kN] $F_{c,d}$ = Druckkraft in [kN] $\Delta M_d$ = Zusatzmoment in [kNm] $A_n, W_n$ = Netto-Querschnittswerte in [cm <sup>2</sup> ] bzw. [cm <sup>3</sup> ] $f_{t,0,d}$ = Zugfestigkeit in [N/mm <sup>2</sup> ] $f_{c,0,d}$ = Druckfestigkeit in [N/mm <sup>2</sup> ] $f_{m,d}$ = Biegefestigkeit in [N/mm <sup>2</sup> ]
<p><b>Druckanschluss (ohne Knicken):</b></p> $\left( 10 \cdot \frac{F_{c,d}/A_n}{f_{c,0,d}} \right)^2 + 1000 \cdot \frac{\Delta M_d/W_n}{f_{m,d}} \leq 1$	

## 8 Kontaktanschlüsse

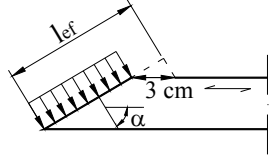
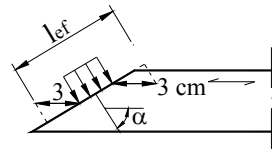
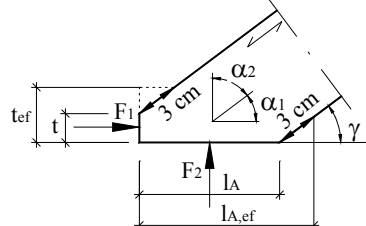
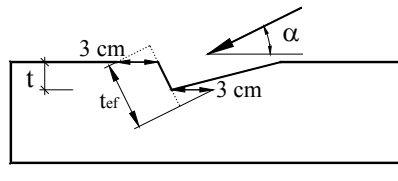
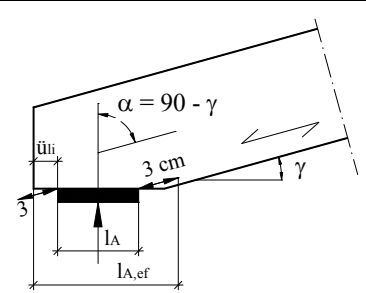
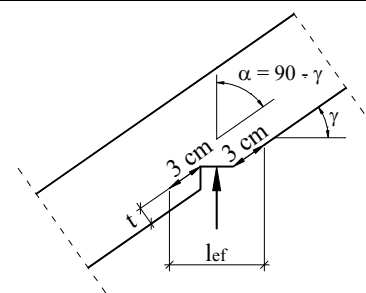
### Druck rechtwinklig zur Faser (Querdruck)

<p><b>effektive Auflagerfläche:</b></p> $A_{\text{ef}} = b \cdot \ell_{\text{ef}} = b \cdot (\ell_{\text{A}} + \ddot{u}_1 + \ddot{u}_2)$	<p><math>b</math> = Breite der Auflagerfläche  <math>\ell_{\text{ef}}</math> = wirksame Auflagerlänge in Faserrichtung  <math>\ell_{\text{A}}</math> = Auflagerlänge  <math>\ddot{u}_1, \ddot{u}_2</math> = Überstände <b>in</b> Faserrichtung  <math>\leq \min(3 \text{ cm}; \ell_{\text{A}})</math></p>
$\sigma_{\text{c},90,\text{d}} = 10 \cdot \frac{F_{\text{c},90,\text{d}}}{A_{\text{ef}}} \leq k_{\text{c},90} \cdot f_{\text{c},90,\text{d}}$ <p>bzw.</p> $10 \cdot \frac{F_{\text{c},90,\text{d}} / A_{\text{ef}}}{k_{\text{c},90} \cdot f_{\text{c},90,\text{d}}} \leq 1$	<p><math>F_{\text{c},90,\text{d}}</math> = Bemessungswert der Kraft rechtwinklig zur Faserrichtung in [kN]  <math>A_{\text{ef}}</math> = effektiv wirksame Auflagerfläche in [cm<sup>2</sup>]  <math>k_{\text{c},90}</math> = Beiwert nach <b>Tabelle A-8.1</b>  <math>f_{\text{c},90,\text{d}}</math> = Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung in [N/mm<sup>2</sup>]</p>

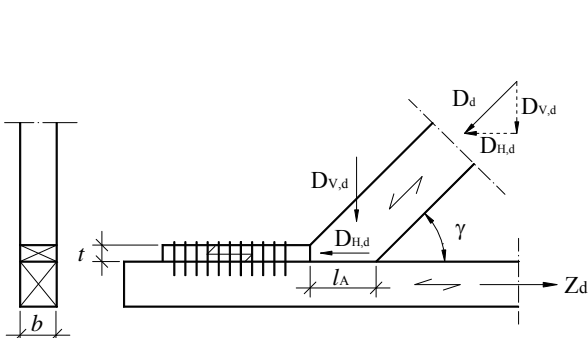
### Druck unter einem Winkel zur Faser

<p><b>Nachweis:</b></p> $\sigma_{\text{c},\alpha,\text{d}} = 10 \cdot \frac{F_{\text{c},\alpha,\text{d}}}{A_{\text{ef}}} \leq k_{\text{c},\alpha} \cdot f_{\text{c},\alpha,\text{d}}$ <p>bzw.</p> $10 \cdot \frac{F_{\text{c},\alpha,\text{d}} / A_{\text{ef}}}{k_{\text{c},\alpha} \cdot f_{\text{c},\alpha,\text{d}}} \leq 1$	<p><math>F_{\text{c},\alpha,\text{d}}</math> = Kraft unter einem Winkel zur Faser in [kN]  <math>A_{\text{ef}} = b \cdot \ell_{\text{ef}}</math>  = wirksame Auflager-/Kontaktfläche in [cm<sup>2</sup>]  (<math>\ell_{\text{ef}}</math> z. B nach <b>Tabelle F-6</b>)  <math>k_{\text{c},\alpha} = 1 + (k_{\text{c},90} - 1) \cdot \sin \alpha</math> (nach <b>Tabelle A-8.3</b>)  <math>k_{\text{c},90}</math> = Beiwert (siehe oben unter Querdruck)  <math>f_{\text{c},\alpha,\text{d}}</math> = Druckfestigkeit unter einem Winkel <math>\alpha</math> zur Faserrichtung des Holzes in [N/mm<sup>2</sup>]  (nach <b>Tabelle A-8.3</b>)</p>
---	---

**Tabelle F-6** Berechnung der wirksamen Auflagerlänge (Aufstandslänge)  $l_{ef}$  in Faserrichtung

 $l_{ef} = l_A + 3,0 \cdot \sin \alpha$	 $l_{ef} = l_A + 2 \cdot 3,0 \cdot \sin \alpha$
 $t_{ef} = t + 3,0 \cdot \sin \alpha_1 \quad l_{A,ef} = l_A + 3,0 \cdot \sin \alpha_2$	 $t_{ef} = \frac{t}{\cos \alpha} + 2 \cdot 3,0 \cdot \sin \alpha$
 $l_{ef} = l_A + \min\left(3,0 \cdot \frac{ü_i}{\sin \alpha}\right) + 3,0 \cdot \sin \alpha$	 $l_{ef} = \frac{t}{\sin \gamma} + 2 \cdot 3,0 \cdot \sin \alpha$

**Knaggenanschlüsse**

 <p> <math>D_{V,d}, D_{H,d}</math> in [kN]    <math>b, l_{ef}, t</math> in [cm]  <math>f_{c,90,d}, f_{c,\alpha,d}, f_{c,0,d}</math> in [N/mm<sup>2</sup>]         </p>	<p><b>Anschluss von <math>D_{V,d}</math>:</b>                  Schwelle:  <math display="block">\sigma_{c,90,d} = 10 \cdot \frac{D_{V,d}}{b \cdot l_{ef,S}} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}</math>                 mit <math>l_{ef,S} = l_A + 2 \cdot 3,0</math> cm  <math>k_{c,90}</math> siehe Querdruck  <b>Anschluss von <math>D_{H,d}</math>:</b>                  Diagonale:  <math display="block">\sigma_{c,\alpha,d} = 10 \cdot \frac{D_{H,d}}{b \cdot t_{ef}} \leq k_{c,\alpha} \cdot f_{c,\alpha,d}</math>                 mit <math>t_{ef} = t + 3,0 \text{ cm} \cdot \sin \alpha</math> und <math>\alpha = \gamma</math>  <math>k_{c,\alpha}</math> und <math>f_{c,\alpha,d}</math> siehe <b>Tabelle A-8.3</b> </p>
---	---

**Sparrenauflager**

$F_d$  in [kN]     $b_{Sp}, \ell_{ef,P}, \ell_{ef,S}, \ell_A$  in [cm]  
 $f_{c,90,d}, f_{c,\alpha,d}$  in [N/mm<sup>2</sup>]

**Pfette:**

$$\sigma_{c,90,d} = 10 \cdot \frac{F_d}{\ell_A \cdot \ell_{ef,P}} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

mit  $\ell_{ef,P} = b_{Sp} + 2 \cdot 3,0$  cm  
 $k_{c,90}$  siehe Querdruck

**Sparren:**

$$\sigma_{c,\alpha,d} = 10 \cdot \frac{F_d}{b_{Sp} \cdot \ell_{ef,S}} \leq k_{c,\alpha} \cdot f_{c,\alpha,d}$$

mit  $\ell_{ef,S} = \ell_A + 2 \cdot 3,0$  cm  $\cdot \cos \alpha$   
 und  $\alpha = 90 - \gamma$

$k_{c,\alpha}$  und  $f_{c,\alpha,d}$  siehe **Tabelle A-8.3**

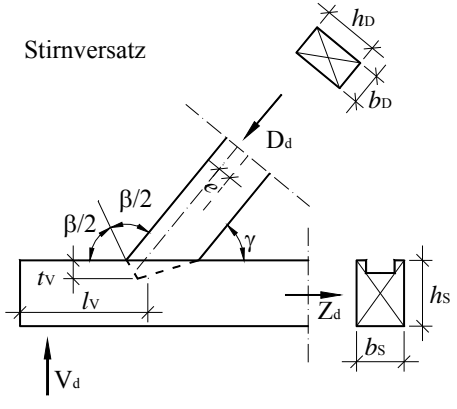
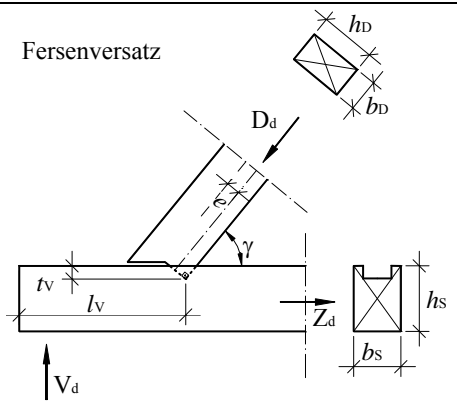
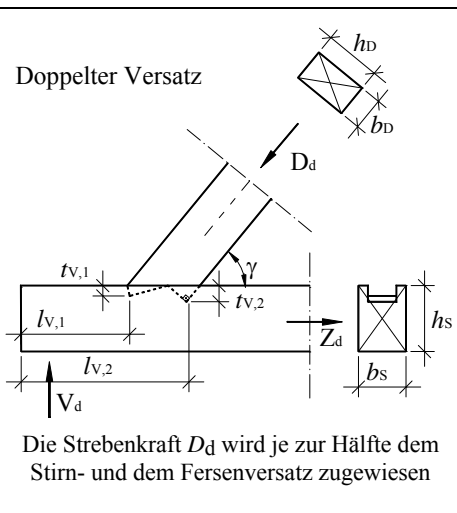
**Versätze**

**Tabelle F-7** Grenzwerte für die Versatztiefe  $t_V$

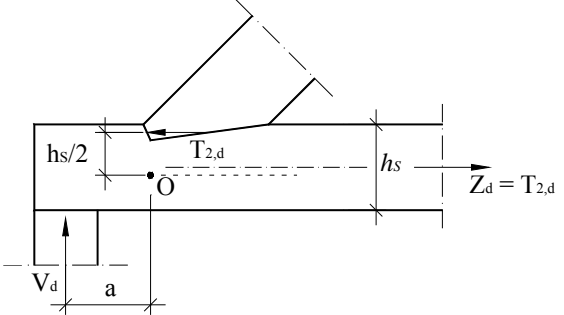
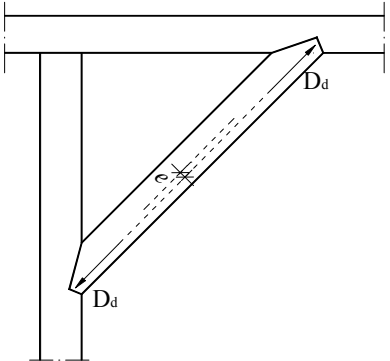
<p style="text-align: center;">Einseitiger Einschnitt</p>			<p style="text-align: center;">zweiseitiger Einschnitt</p>	
$\gamma \leq 50^\circ$	$50^\circ < \gamma \leq 60^\circ$	$60^\circ < \gamma$	$t_V \leq \frac{h}{6}$	
$t_V \leq \frac{h}{4}$	$t_V \leq \frac{h}{4} \cdot \left(1 - \frac{\gamma - 50}{30}\right)$	$t_V \leq \frac{h}{6}$		



Tabelle F-8 Bemessungsgleichungen für gebräuchliche Versätze

<p>Stirnversatz</p> 	$\alpha_D = \alpha_S = \gamma / 2$ $\text{erf } t_V = 10 \cdot \frac{D_d}{b_D \cdot f_{SV,d}^*}$ $\text{erf } l_V = 10 \cdot \frac{D_d}{b_S \cdot f_{v,d}^*} \leq 8 \cdot t_V$ <p>konstruktiv: <math>l_V \geq 20 \text{ cm}</math></p> <p>Ausmitte: <math>e = \frac{h_D - t_V}{2}</math></p>
<p>Fersenversatz</p> 	$\alpha_D = 0 \quad \alpha_S = \gamma$ $\text{erf } t_V = 10 \cdot \frac{D_d}{b_D \cdot f_{FV,d}^*}$ $\text{erf } l_V = 10 \cdot \frac{D_d}{b_S \cdot f_{v,d}^*} \leq 8 \cdot t_V$ <p>konstruktiv: <math>l_V \geq 20 \text{ cm}</math></p> <p>Ausmitte: <math>e = \frac{h_D - t_V / \cos \gamma}{2}</math></p>
<p>Doppelter Versatz</p>  <p>Die Strebekraft <math>D_d</math> wird je zur Hälfte dem Stirn- und dem Fersenversatz zugewiesen</p>	$\text{erf } t_{V,1} = 10 \cdot \frac{D_d / 2}{b_D \cdot f_{SV,d}^*}$ $\text{erf } t_{V,2} = 10 \cdot \frac{D_d / 2}{b_D \cdot f_{FV,d}^*} \geq t_{V1} + 1 \text{ cm}$ $\text{erf } l_{V1} = 10 \cdot \frac{D_d / 2}{b_S \cdot f_{v,d}^*} \leq 8 \cdot t_{V1}$ $\text{erf } l_{V2} = 10 \cdot \frac{D_d}{b_S \cdot f_{v,d}^*} \leq 8 \cdot t_{V2}$ <p>konstruktiv: <math>l_{V2} \geq 20 \text{ cm}</math></p> <p>Ausmitte: <math>e \approx 0</math></p>
<p><math>D_d</math> in [kN]    <math>t_V, l_V, b</math> in [cm]    <math>f_{SV,d}^*, f_{FV,d}^*, f_{v,d}^*</math> nach <b>Tabelle A-8.4</b> in [N/mm<sup>2</sup>]</p>	

**Exzentrizitäten bei Versätzen**

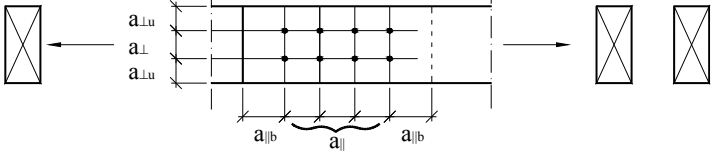
 <p>Zusatzmoment in der Schwelle:</p> $\Delta M_d \approx V_d \cdot a - T_{2,d} \cdot \frac{h_s}{2}$ <p>Nachweis der Schwelle:</p> $10 \cdot \frac{Z_d / A_{n,S}}{f_{t,0,d}} + 1000 \cdot \frac{\Delta M_d / W_{n,S}}{f_{m,d}} \leq 1$	<p><math>Z_d</math> = Zugkraft in [kN] (= <math>D_d \cdot \cos \gamma</math>)</p> <p><math>\Delta M_d</math> = Zusatzmoment in [kNm]</p> <p><math>A_{n,S}</math> = Netto-Querschnittsfläche der Schwelle im Bereich des Versatzes in [cm<sup>2</sup>]</p> <p><math>W_{n,S}</math> = Netto-Widerstandsmoment der Schwelle im Bereich des Versatzes in [cm<sup>3</sup>]</p> <p><math>f_{t,0,d}</math> = Zugfestigkeit in [N/mm<sup>2</sup>]</p> <p><math>f_{m,d}</math> = Biegefestigkeit in [N/mm<sup>2</sup>]</p>
 <p>Zusatzmoment in der Diagonale:</p> $\Delta M_d = D_d \cdot e$ <p>Nachweis der Diagonale:</p> $10 \cdot \frac{D_d / A_D}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + 1000 \cdot \frac{\Delta M_d / W_D}{f_{m,d}} \leq 1$	<p><math>D_d</math> = Strebenkraft in [kN]</p> <p><math>\Delta M_d</math> = Zusatzmoment in [kNm]</p> <p><math>A_D</math> = Querschnittsfläche der Strebe in [cm<sup>2</sup>]</p> <p><math>W_D</math> = Widerstandsmoment der Strebe in [cm<sup>3</sup>]</p> <p><math>k_c</math> = Knickbeiwert <b>Tabelle A-6.1</b></p> <p><math>f_{c,0,d}</math> = Druckfestigkeit in [N/mm<sup>2</sup>]</p> <p><math>f_{m,d}</math> = Biegefestigkeit in [N/mm<sup>2</sup>]</p> <p><math>e</math> = Ausmitte nach <b>Tabelle F-8</b></p>

**9 Leim-/Klebeverbindungen**

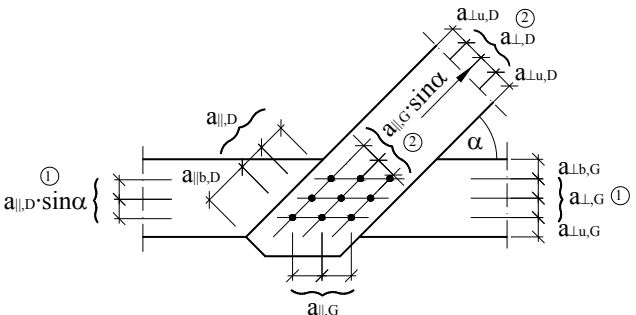
Zu diesem Kapitel werden keine Formeln aufgeführt.

## 10 Mechanische Verbindungen, Grundlagen

### Anschlussbilder

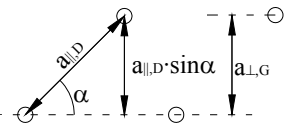
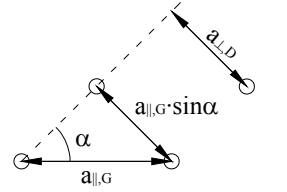


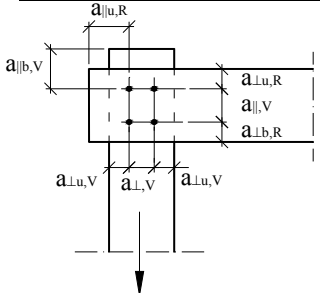
Mindestabstände bei **Zugstößen**



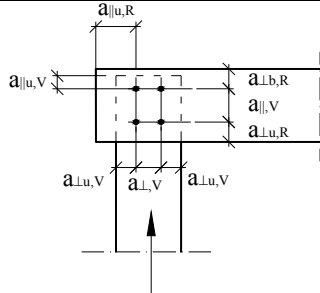
Mindestabstände bei Anschluss einer Zugdiagonalen (**Schräganschluss**)

**Tabelle F-9** Anforderungen bei den Abständen ① und ② nach obigem Bild („Zwängungspunkte“)

Abstand ①: $\max \begin{cases} a_{\parallel,D} \cdot \sin \alpha \\ a_{\perp,G} \end{cases}$	
Abstand ②: $\max \begin{cases} a_{\perp,D} \\ a_{\parallel,G} \cdot \sin \alpha \end{cases}$	



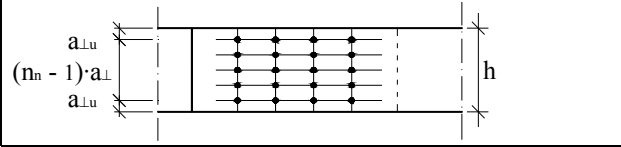
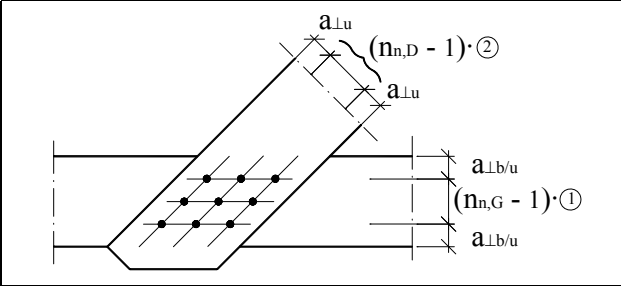
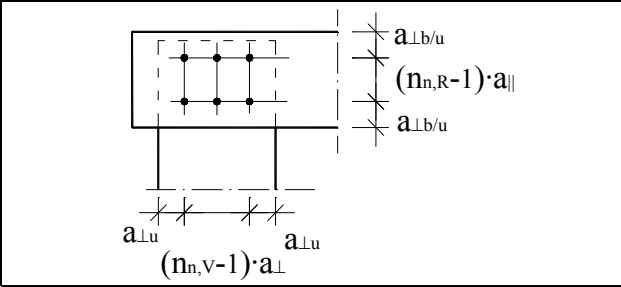
Mindestabstände bei **Queranschlüssen** bei  
a) angehängtem Vertikalstab



b) aufgelegtem Riegel

**Anordnung von Verbindungsmitteln**

**Tabelle F-10** Maximal mögliche Anzahl nebeneinander liegender Verbindungsmittelreihen

	$n_n \leq \frac{h - 2 \cdot a_{\perp u}}{a_{\perp}} + 1$
	<p>Diagonale:</p> $n_{n,D} \leq \frac{h_D - 2 \cdot a_{\perp u}}{a_{\perp}} + 1$ <p>Gurt:</p> $n_{n,G} \leq \frac{h_G - a_{\perp b} - a_{\perp u}}{a_{\parallel}} + 1$
	<p>Vertikalstab:</p> $n_{n,V} \leq \frac{h_V - 2 \cdot a_{\perp u}}{a_{\perp}} + 1$ <p>Riegel:</p> $n_{n,R} \leq \frac{h_R - a_{\perp b} - a_{\perp u}}{a_{\parallel}} + 1$
<p>Abstände ① und ② siehe <b>Tabelle F-9</b></p>	

**Wirksame Anzahl von Verbindungsmitteln**

<p>Kraftangriff parallel zur Faser (<math>\alpha = 0^\circ</math>):</p> $n_{ef} = k_{h,ef,0} \cdot n$ <p>Kraftangriff unter einem Winkel <math>\alpha</math> zur Faser:</p> $n_{ef} = k_{h,ef,\alpha} \cdot n$ <p>mit <math>k_{h,ef,\alpha} = k_{h,ef,0} + (1 - k_{h,ef,0}) \cdot \frac{\alpha}{90}</math></p>	<p><math>n_{ef}</math> = Anzahl der effektiv wirksamen Verbindungsmittel</p> <p><math>n</math> = Gesamtanzahl der Verbindungsmittel</p> <p>= <math>n_n \cdot n_h</math></p> <p><math>n_n</math> = Anzahl der in Faserrichtung nebeneinander liegenden Verbindungsmittelreihen</p> <p><math>n_h</math> = Anzahl der in Faserrichtung hintereinander liegenden Verbindungsmittelreihen</p> <p><math>k_{h,ef,0}</math> = Beiwert für Kraft    Faser nach <b>Tabelle A-10.2</b></p> <p><math>k_{h,ef,\alpha}</math> = Beiwert für Kraft unter einem Winkel <math>\alpha</math> zur Faser</p>
--	--

## 11 Stiff förmige Verbindungsmittel

### Char. Tragfähigkeit und Mindestholzdicken bei Holz-Holz-Verbindungen

<p><b>Einschnittige Holz-Holz-Verbindungen</b></p> $R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \quad \text{in [N]}$ <p>mit</p> $t_1 \geq t_{1,\text{req}} = 1,15 \cdot \left( 2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1 + \beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$ $t_2 \geq t_{2,\text{req}} = 1,15 \cdot \left( 2 \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}}$	<p><math>t_1, t_2</math> = Holzdicken bzw. Eindringtiefe des Verbindungsmittels in [mm]  <math>f_{h,1,k}, f_{h,2,k}</math> = char. Werte der Lochleibungsfestigkeiten in den Teilen 1 und 2 in [N/mm<sup>2</sup>] nach <b>Tabelle A-11.2 bzw. -11.3</b></p>
<p><b>Zweischchnittige Holz-Holz-Verbindungen</b></p> $R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \quad \text{in [N]}$ <p>mit für das Seitenholz:</p> $t_1 \geq t_{1,\text{req}} = 1,15 \cdot \left( 2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1 + \beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$ <p>für das Mittelholz:</p> $t_2 \geq t_{2,\text{req}} = 1,15 \cdot \left( \frac{4}{\sqrt{1 + \beta}} \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}}$	<p><math>\beta</math> = <math>f_{h,2,k} / f_{h,1,k}</math>  <math>d</math> = Durchmesser des Verbindungsmittels in [mm]  <math>M_{y,k}</math> = char. Wert des Fließmomentes des Verbindungsmittels in [Nmm] nach <b>Tabelle A-11.2 bzw. -11.3</b></p>

### Modifikationen und Bemessungswerte

<p><math>t_1 &lt; t_{1,\text{req}}</math> bzw. <math>t_2 &lt; t_{2,\text{req}}</math> : <math>R_k = R_k \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} t_1 / t_{1,\text{req}} \\ t_2 / t_{2,\text{req}} \end{array} \right.</math></p> $R_d = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot R_k$	<p><math>k_{\text{mod}}</math> = Beiwert nach <b>Tabelle A-3.2</b>  <math>\gamma_M = 1,1</math></p>
---	---

**Char. Tragfähigkeit und Mindestholzdicken bei Stahlblech-Holz-Verbindungen**

<p><b>Einschnittige Stahlblech-Holz-Verbindungen</b></p> <p><u>Dünnes Stahlblech:</u></p> $R_k = \sqrt{2} \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d \quad \text{in [N]}$ $t_1 \geq t_{1,req} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$ <p><u>Dickes Stahlblech:</u></p> $R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2} \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d \quad \text{in [N]}$ $t_1 \geq t_{1,req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$	<p><math>t_1, t_2 =</math> Holzdicken bzw. Eindringtiefe des Verbindungsmittels in [mm]  <math>f_{h,1,k}, f_{h,2,k} =</math> char. Werte der Lochleibungsfestigkeiten in den Teilen 1 und 2 in [N/mm<sup>2</sup>] nach <b>Tabelle A-11.2 bzw. -11.3</b>  <math>d =</math> Durchmesser des Verbindungsmittels in [mm]  <math>M_{y,k} =</math> char. Wert des FlieBmomentes des Verbindungsmittels in [Nmm] nach <b>Tabelle A-11.2 bzw. -11.3</b></p> <p><u>Dünnes Stahlblech:</u>  <math>t_s \leq d/2</math></p> <p><u>Dickes Stahlblech:</u>  <math>t_s \geq d</math>  bzw. bei SoNa 3:  <math>t_s \geq d/2</math> und <math>t_s \geq 2</math> mm</p>
<p><b>Zweischchnittige Stahlblech-Holz-Verbindungen</b></p> <p><b>Innen liegendes Stahlblech:</b></p> $R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2} \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d \quad \text{in [N]}$ $t_1 \geq t_{1,req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$ <p><b>Außen liegendes Stahlblech:</b></p> <p><u>Dünnes Stahlblech:</u></p> $R_k = \sqrt{2} \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,2,k} \cdot d \quad \text{in [N]}$ $t_2 \geq t_{2,req} = 1,15 \cdot (2\sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}}$ <p><u>Dickes Stahlblech:</u></p> $R_k = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2} \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,2,k} \cdot d \quad \text{in [N]}$ $t_2 \geq t_{2,req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}}$	

**Modifikationen und Bemessungswerte**

$t_1 < t_{1,req} \text{ bzw. } t_2 < t_{2,req} : \quad R_k = R_k \cdot \min \begin{cases} t_1 / t_{1,req} \\ t_2 / t_{2,req} \end{cases}$ $R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot R_k$	$k_{mod} =$ Beiwert nach <b>Tabelle A-3.2</b> $\gamma_M = 1,1$
--	---

## 12 Stabdübel- und Bolzenverbindungen

### Holz-Holz-Verbindungen

#### Allgemeiner Fall:

- Mindestholzdicken und Tragfähigkeiten für 2-schnittige Stabdübel **S235 in C24**  
⇒ **Tabelle A-12.1**
- Einschnittig ⇒ **Tabelle A-12.1** mit  $\alpha_1$  und  $t_{1,req}$  für das jeweils betrachtete Holz (d.h. 2x ablesen)
- Andere Sortierklassen ⇒ multiplizieren mit Beiwerten aus **Tabelle A-12.3**.
- Andere Stahlgüten ⇒ multiplizieren mit Beiwerten aus **Tabelle A-12.3**
- $t_1 < t_{1,req}$  bzw.  $t_2 < t_{2,req}$ : 
$$R_d = R_d \cdot \min \begin{cases} t_1 / t_{1,req} \\ t_2 / t_{2,req} \end{cases}$$

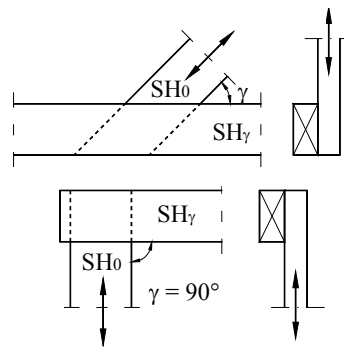
#### Kraft || zu einem der miteinander verbundenen Hölzer:

- Mindestholzdicken und Tragfähigkeiten für 2-schnittige Stabdübel **S235 in C24**  
⇒ **Tabelle A-12.2**
- Einschnittig:

Die Mindestholzdicke des Seitenholzes mit anzuschließender Kraft kann dem linken Teil der Tabelle entnommen werden.

Die Mindestholzdicke des Seitenholzes, an das die Kraft angeschlossen wird kann dem rechten Teil der Tabelle entnommen werden.

Die charakteristische Tragfähigkeit  $R_k$  ist für beide Fälle gleich groß.



Achtung: In beiden Fällen ist die Mindestholzdicke jeweils in der Spalte mit dem Anschlusswinkel  $\gamma$  abzulesen.

- Andere Sortierklassen / Stahlgüten ⇒ multiplizieren mit Beiwerten aus **Tabelle A-12.3**.
- $t_1 < t_{1,req}$  bzw.  $t_2 < t_{2,req}$ : 
$$R_d = R_d \cdot \min \begin{cases} t_1 / t_{1,req} \\ t_2 / t_{2,req} \end{cases}$$

### Stahlblech-Holz-Verbindungen

- Mindestholzdicken und Tragfähigkeiten für Stabdübel S235 ⇒ **Tabelle A-12.4**
- Einschnittige Verbindungen ⇒ Fußnote in **Tabelle A-12.4**
- Andere Stahlgüten ⇒ multiplizieren mit Beiwerten aus **Tabelle A-12.3**
- $t_1 < t_{1,req}$  bzw.  $t_2 < t_{2,req}$ : 
$$R_d = R_d \cdot \min \begin{cases} t_1 / t_{1,req} \\ t_2 / t_{2,req} \end{cases}$$

**Anzahl der Verbindungsmittel**

$erf\ n \geq \frac{N_d}{R_d}$	$R_d$ = Tragfähigkeit eines Stabdübels bzw. Bolzens $N_d$ = zu übertragenden Kraft
Kraftangriff parallel zur Faser: $n_{ef} = k_{h,ef,0} \cdot n$	$n_{ef}$ = Anzahl der effektiv wirksamen Verbindungsmittel $n$ = Gesamtanzahl der Verbindungsmittel $= n_n \cdot n_h$
Kraftangriff unter einem Winkel $\alpha$ zur Faser: $n_{ef} = k_{h,ef,\alpha} \cdot n$	$n_n$ = Anzahl der in Faserrichtung nebeneinander liegenden Verbindungsmittelreihen $n_h$ = Anzahl der in Faserrichtung hintereinander liegenden Verbindungsmittelreihen
mit $k_{h,ef,\alpha} = k_{h,ef,0} + (1 - k_{h,ef,0}) \cdot \frac{\alpha}{90}$	$k_{h,ef,0}$ = Beiwert für Kraft    Faser nach <b>Tabelle A-10.2</b> $k_{h,ef,\alpha}$ = Beiwert für Kraft unter einem Winkel $\alpha$ zur Faser

**Mindestabstände, Anordnung der Verbindungsmittel**

⇒ **Tabelle A-12.5** und **A-12.6**



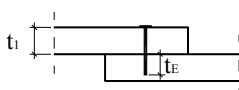
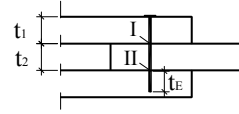
## 13 Nagelverbindungen

Nagelgeometrien ⇒ **Tabelle A-13.1**

### Abscheren

Mindestholzdicken und Tragfähigkeiten für Holz-Holz- und Stahlblech-Holz-Verbindungen  
⇒ **Tabelle A-13.2**

**Tabelle F-11** Auswirkungen bei Nicht-Einhalten der Mindestholzdicken oder Mindesteinschlagtiefen

		Holzdicken <sup>*)</sup>	Einschlagtiefe
		$t_1 \leq 9 \cdot d_n: R_k \cdot \frac{t_1}{9 \cdot d_n}$	$4 \cdot d_n \leq t_E < 9 \cdot d_n: R_k \cdot \frac{t_E}{9 \cdot d_n}$ $t_E < 4 \cdot d_n: R_k = 0$
	Fuge I	$\left. \begin{matrix} t_1 \\ t_2 \end{matrix} \right\} \leq 9 \cdot d_n: R_k \cdot \frac{\min(t_1; t_2)}{9 \cdot d_n}$	–
	Fuge II	$t_2 \leq 9 \cdot d_n: R_k \cdot \frac{t_2}{9 \cdot d_n}$	$4 \cdot d_n \leq t_E < 9 \cdot d_n: R_k \cdot \frac{t_E}{9 \cdot d_n}$ $t_E < 4 \cdot d_n: R_k = 0$
<sup>*)</sup> Bei nicht vorgebohrten Nagellöchern ist in jedem Fall einzuhalten: <ul style="list-style-type: none"> <li>Für Nadelholz im allgemeinen: <math>t_{s,req} \geq \max \left\{ \begin{matrix} 14 \cdot d_n \\ (13 \cdot d_n - 30) \cdot \rho_k / 200 \end{matrix} \right.</math></li> <li>Für Kiefernholz: halbe Werte wegen geringerer Spaltgefahr</li> <li>Für Nadelholz: halbe Werte bei Einhaltung folgender Abstände: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>a_{\perp,u/b} \geq 10 \cdot d_n</math> für <math>\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3</math></li> <li><math>a_{\perp,u/b} \geq 14 \cdot d_n</math> für <math>420 &lt; \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3</math></li> </ul> </li> </ul>			

### Anzahl der Verbindungsmittel

$erf n \geq \frac{N_d}{R_d}$	$R_d$ = Tragfähigkeit eines Nagels $N_d$ = zu übertragende Kraft
<b><math>d \leq 6 \text{ mm}</math>:</b> $n_{ef} = n$ <b><math>d &gt; 6 \text{ mm}</math>:</b> Kraftangriff parallel zur Faser: $n_{ef} = k_{h,ef,0} \cdot n$ Kraftangriff unter einem Winkel $\alpha$ zur Faser: $n_{ef} = k_{h,ef,\alpha} \cdot n$ $k_{h,ef,\alpha} = k_{h,ef,0} + (1 - k_{h,ef,0}) \cdot \frac{\alpha}{90}$	$n_{ef}$ = Anzahl der effektiv wirksamen Verbindungsmittel $n$ = Gesamtanzahl der Verbindungsmittel $= n_n \cdot n_h$ $n_n$ = Anzahl der in Faserrichtung nebeneinander liegenden Verbindungsmittelreihen $n_h$ = Anzahl der in Faserrichtung hintereinander liegenden Verbindungsmittelreihen $k_{h,ef,0}$ = Beiwert für Kraft    Faser nach <b>Tabelle A-10.2</b> $k_{h,ef,\alpha}$ = Beiwert für Kraft unter einem Winkel $\alpha$ zur Faser

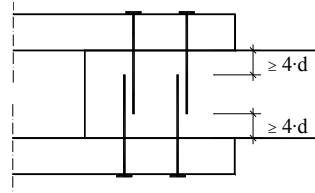
**Mindestabstände, Anordnung der Verbindungsmittel**

⇒ **Tabelle A-13.3** und **A-13.4**

**Übergreifen von Nägeln**

Vorgebohrt ⇒ Übergreifen zulässig

Nicht vorgebohrt ⇒ Übergreifen nur zulässig, wenn die Nagelspitze mindestens 4·d von der gegenüberliegenden Scherfuge entfernt ist (siehe unten stehende Skizze).



Anforderung an sich übergreifende Nägel in nicht vorgebohrten Nagellöchern

**Einschnittige** Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen mit SoNä 3:

$$R_{k,3} = R_k + \Delta R_k$$

mit

$$R_k = \text{char. Tragfähigkeit des Nagels pro Scherfuge}$$

$$\Delta R_k = \min \begin{cases} 0,5 \cdot R_k \\ 0,25 \cdot R_{ax,k} \end{cases}$$

$$R_{ax,k} = \text{Ausziehungswiderstand des Sondernagels}$$

**Herausziehen**

- Glattschaftige Nägel ⇒ **Tabelle A-13.5a**
- SoNä 3 ⇒ **Tabelle A-13.5b**  
 Korrekturbeiwerte für Kopfdurchziehen ⇒ **Tabelle A-13.5c**

**Kombinierte Beanspruchung**

$\left( \frac{F_{ax,d}}{n \cdot R_{ax,d}} \right)^m + \left( \frac{F_{\ell a,d}}{n \cdot R_{\ell a,d}} \right)^m \leq 1$ $n \geq \left[ \left( \frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} \right)^m + \left( \frac{F_{\ell a,d}}{R_{\ell a,d}} \right)^m \right]^{1/m}$	$F_{ax,d}$ = Ausziehungskraft $F_{\ell a,d}$ = Abscherkraft ( $\ell a$ = rechtwinklig zur Stiftachse) $R_{ax,d}$ = Tragfähigkeit auf Herausziehen eines Nagels $R_{\ell a,d}$ = Tragfähigkeit auf Abscheren eines Nagels $n$ = Anzahl der Nägel $m$ = 1 bei glattschaftigen Nägeln und SoNä 1 2 bei SoNä 2 und 3 1,5 bei Koppelpfettenanschlüssen mit glattschaftigen Nägeln.
--	--

## 14 Dübel besonderer Bauart

### *Mindestholzdicken, Tragfähigkeiten, Dübel-Fehlflächen*

- **Tabelle A-14.2** (+ **Tabelle A-14.3** für Typ A1/B1)
- Erforderliche Modifikationen: **Tabelle A-14.1**

### *Anzahl der Verbindungsmittel*

$erf\ n \geq \frac{N_d}{R_d}$	$R_d$ = Tragfähigkeit einer Verbindungseinheit $N_d$ = zu übertragenden Kraft
$n_h \leq 2:$ $n_{ef} = n$ $n_h > 2:$ Kraftangriff parallel zur Faser: $n_{ef} = k_{h,ef,0} \cdot n$ Kraftangriff unter einem Winkel $\alpha$ zur Faser: $n_{ef} = k_{h,ef,\alpha} \cdot n$ $k_{h,ef,\alpha} = k_{h,ef,0} + (1 - k_{h,ef,0}) \cdot \frac{\alpha}{90}$	$n_{ef}$ = Anzahl der effektiv wirksamen Verbindungsmittel $n$ = Gesamtanzahl der Verbindungsmittel = $n_n \cdot n_h$ $n_n$ = Anzahl der in Faserrichtung nebeneinander liegenden Verbindungsmittelreihen $n_h$ = Anzahl der in Faserrichtung hintereinander liegenden Verbindungsmittelreihen $k_{h,ef,0}$ = Beiwert für Kraft    Faser nach <b>Tabelle A-10.2</b> $k_{h,ef,\alpha}$ = Beiwert für Kraft unter einem Winkel $\alpha$ zur Faser

### *Mindestabstände, Anordnung der Verbindungsmittel*

⇒ **Tabelle A-14.4** und **A-14.5**

## 15 Weitere Verbindungen

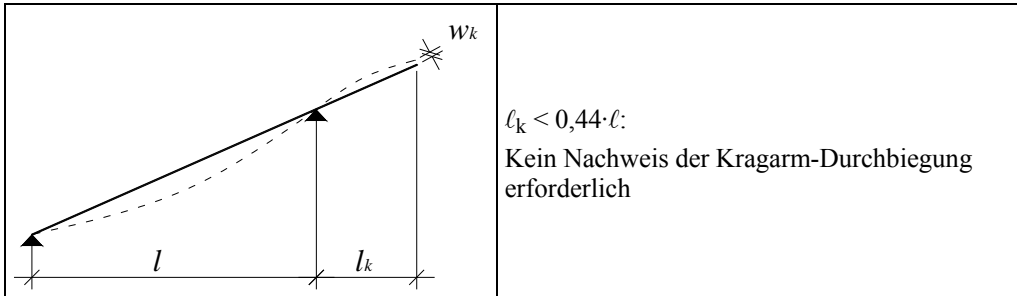
Zu diesem Kapitel werden keine Formeln aufgeführt.

## 16 Hausdächer (Pfettendächer)

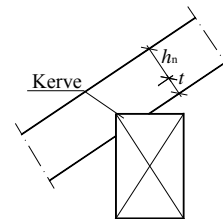
### Sparren

Übliche Dachneigungen ( $\alpha \approx 15^\circ - 45^\circ$ ): Bemessung für reine Biegung.

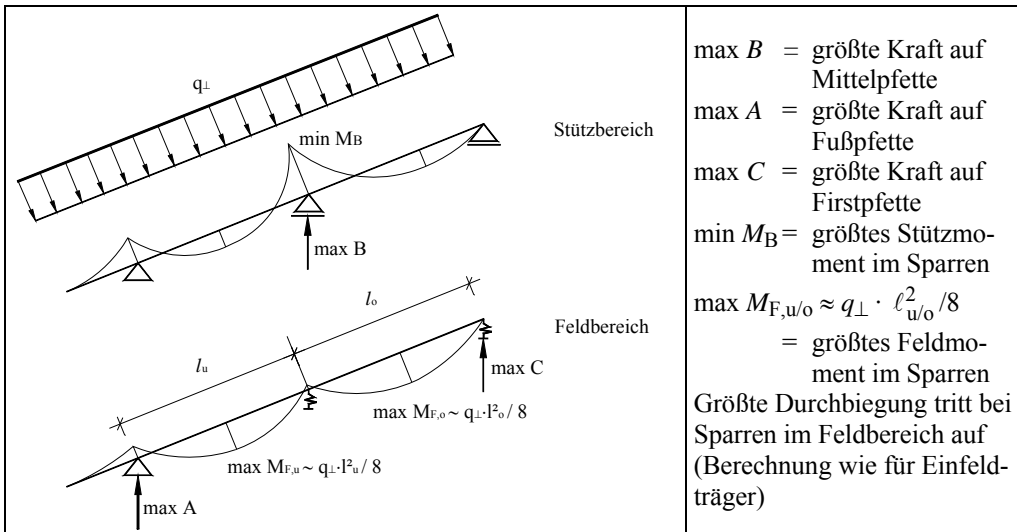
#### Einfeldsparren mit Kragarm:



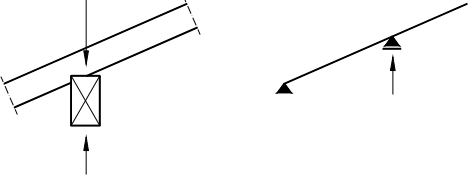
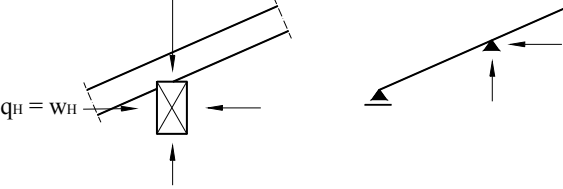
Sparrenaufleger: Kerbe (sog. „Sparrenklaue“)  
 $\Rightarrow$  Querschnittsschwächung (Nachweis mit  $W_n$ ).



#### Zweifeldsparren:



**Pfetten**

<p><u>„Strebenlose“ Pfettendächer:</u></p> $q_v = g + s + w_v$ 	<p>Festes Auflager an Fußpunkt: Einachsige Biegung der Mittelpfette</p>
<p><u>„Abgestrebt“ Pfettendächer</u></p> $q_v = g + s + w_v$ $q_H = w_H$ 	<p>Festes Auflager bei Mittelpfette: Schiefe Biegung der Mittelpfette (Doppelbiegung)</p>

## 17 Koppelfetten

### Momente für die Bemessung:

Endfeld:  $M_E = 0,080 \cdot q_d \ell^2$

Innenfeld:  $M_I = 0,046 \cdot q_d \ell^2$

### Durchbiegungsberechnungen:

$w^* = k_{DLT} \cdot w_0$	$w^*$ = Durchbiegung in Feldmitte
	$k_{DLT}$ = Beiwert zur Berechnung der Durchbiegung
	Endfeld: $k_{DLT} = 0,52$
	Innenfeld: $k_{DLT} = 0,24$
	$w_0$ = Durchbiegung eines ideellen Einfeldträgers

### Überkopplungslängen:

Felder	$\ddot{u} = \text{Tafelwert} \cdot \ell$					
	$\ddot{u}_{Bl}$	$\ddot{u}_{Br}$	$\ddot{u}_{Cl}$	$\ddot{u}_{Cr}$	$\ddot{u}_{Dl}$	$\ddot{u}_{Dr}$
2	0,10	0,10				
3	0,10	0,18				
4	0,10	0,16	0,10	0,10		
5	0,10	0,17	0,10	0,10		
6	0,10	0,17	0,10	0,10	0,10	0,10
$\geq 7$	0,10	0,17	Alle weiteren Innenfelder: 0,10			

### Überkopplungskräfte

Bei Zweifeldträgern:  $K_d = 0,625 \cdot q_d \cdot \ell$

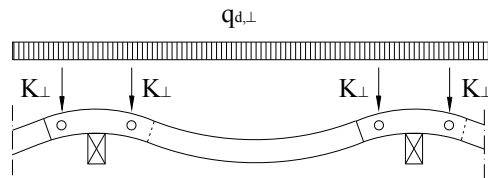
Bei 3 oder mehr Feldern:  $K_d = 0,460 \cdot q_d \cdot \ell$

### Verbindungsmittel

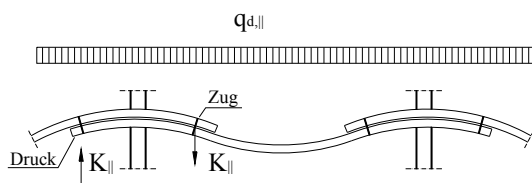
$\frac{K_{\perp}}{n \cdot R_d} \leq 1$	$n$ = Anzahl der Verbindungsmittel
	$R_d$ = Tragfähigkeit eines Verbindungsmittels (Abscheren rechtwinklig zur Faserrichtung)

### Schiefe Biegung

Die Biegemomente, Durchbiegungen und Kopplungskräfte sind getrennt für die beiden Belastungsanteile  $q_{d,\perp}$  und  $q_{d,\parallel}$  zu berechnen. Die Überkopplungslängen hingegen ändern sich nicht.



Beanspruchung der Verbindungsmittel auf Abscheren



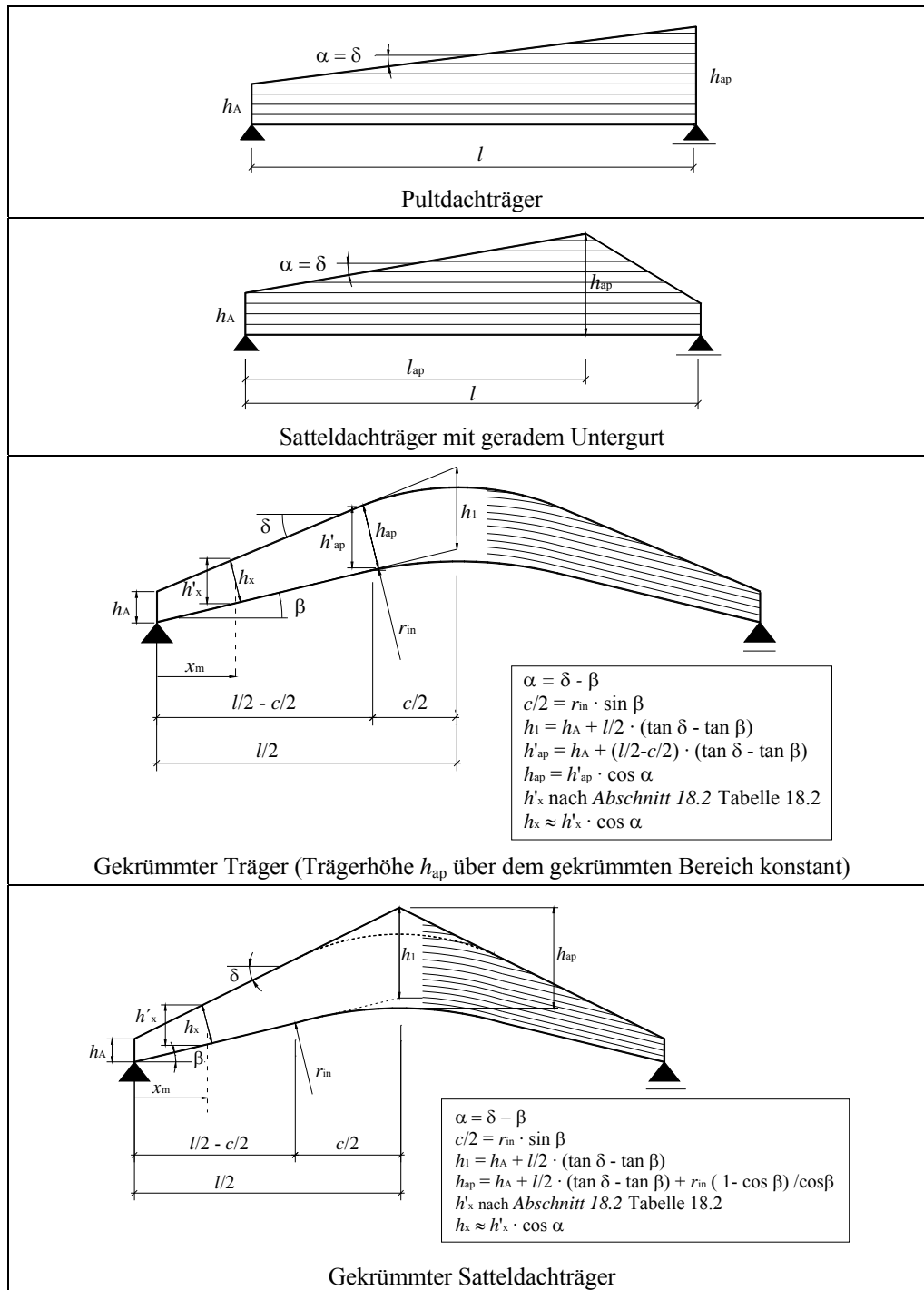
Beanspruchung der Verbindungsmittel auf Zug/Druck

**Tabelle F-12** Erforderliche Nachweise der Verbindungsmittel bei Doppelbiegung

<b>Nägeln</b>	Kombinierte Beanspruchung: Nachweis auf Abscheren und Herausziehen (vgl. <i>Abschn. 13.6</i> )	$\left( \frac{K_{\perp}}{n \cdot R_{\ell a,d}} \right)^m + \left( \frac{K_{\parallel}}{n \cdot R_{ax,d}} \right)^m \leq 1$ $m = 1,5 \text{ bei glattschaftigen Nägeln}$ $= 2,0 \text{ bei Sondernägeln der Tragfähigkeitsklassen 2 und 3.}$
<b>Dübel bes. Bauart</b>	Abscheren im Dübel	$\frac{K_{\perp}}{R_d} \leq 1$
	Zugspannung im Bolzen (meist ohne Nachweis)	$\frac{K_{\parallel}}{A_b} \leq f_{t,d}$
	Querdrukspannung unter der U-Scheibe (vgl. <i>Abschnitt 8.1.1</i> bzw. <i>Tabelle A-8.2</i> )	$\frac{K_{\parallel}}{k_{c,90} \cdot A_{ef,U-Scheibe}} \leq f_{c,90,d}$

## 18 Gekrümmte Träger, Pult- und Satteldachträger

### Trägergeometrien





**Stelle der größten Biegespannung**

**Tabelle F-13** Stelle  $x_m$  der größten Biegespannung und zugehörige Querschnittshöhen  $h_x$  bzw.  $h'_x$

	$x_m = \frac{\ell_{ap}}{h_{ap}/h_A + 2 \cdot \ell_{ap}/\ell - 1}$ $h_x = h_A + \frac{x}{\ell_{ap}} \cdot (h_{ap} - h_A)$
	$x_m = \frac{\ell \cdot h_A}{2 \cdot h_{ap}}$ $h_x = h_A \cdot (2 - h_A/h_{ap})$
	$x_m = \frac{\ell \cdot h_A}{2 \cdot h_1}$ $h'_x = h_A \cdot (2 - h_A/h_1)$
	$x_m = \frac{\ell}{1 + h_{ap}/h_A}$ $h_x = \frac{2h_{ap}}{1 + h_{ap}/h_A}$

**Größte Biegespannung im Feld**

$\sigma_{m,d} = \frac{M_{x,d}}{W_x}$	$M_x$ = Moment an der Stelle $x_m$ = $q \cdot x_m \cdot (\ell - x_m)/2$ bei Einfeldträgern $W_x$ = Widerstandsmoment an der Stelle $x_m$ = $b \cdot h_x^2/6$
--------------------------------------	---

**Nachweise an der Stelle  $x_m$**

<p><b>Faserparalleler Rand:</b></p> $1000 \cdot (1 + 4 \cdot \tan^2 \alpha) \cdot \frac{M_{x,d}}{W_x} \leq f_{m,d}$ <p><b>Angeschnittener Rand:</b></p> $\sigma_{m,\alpha,d} = 1000 \cdot \frac{M_{x,d}}{W_x} \leq k_\alpha \cdot f_{m,d}$	$M_{x,d}$ in [kNm] $W_x$ in [cm <sup>3</sup> ] $f_{m,d}$ in [N/mm <sup>2</sup> ] $(1 + 4 \cdot \tan^2 \alpha) \Rightarrow$ <b>Tabelle A-18.1</b> $k_\alpha \cdot f_{m,d} \Rightarrow$ <b>Tabelle A-18.1</b> druckbeanspruchter Rand: $k_\alpha = 1$ für $\alpha \leq 3^\circ$
--	--

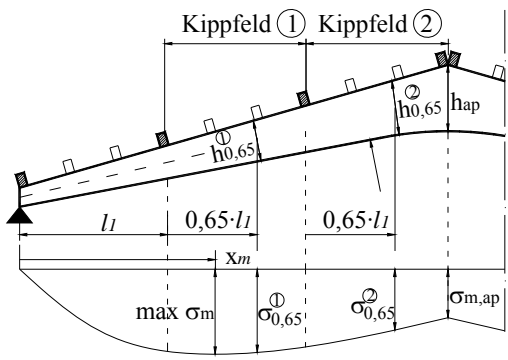
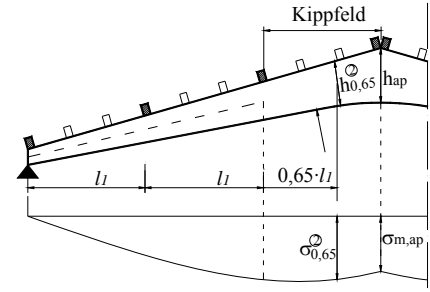
**Kippnachweise**

	<p><b>Kippfeld ① mit max <math>\sigma_m</math>:</b>          Nachweis mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\sigma_{0,65}^{\textcircled{1}}</math> bzw. (auf sicherer Seite):  <math>\max \sigma_{m,d}</math> nach Gl.(18.4)</li> <li>• <math>k_m</math> mit <math>h_{0,65}^{\textcircled{1}}</math></li> </ul> <p><b>Kippfeld ② mit max <math>h</math>:</b>          Nachweis mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\sigma_{0,65}^{\textcircled{2}} = M_{0,65}^{\textcircled{2}} / W_{0,65}^{\textcircled{2}}</math></li> <li>• <math>k_m</math> mit <math>h_{0,65}^{\textcircled{2}}</math></li> </ul>
--	--

Angaben zum Kippspannungsnachweis bei Satteldachträgern mit geradem Untergurt

<p><math>x_m</math> im linearen Bereich (meistens der Fall)</p>	<p><b>Kippfeld ① mit max <math>\sigma_m</math>:</b>          Nachweis mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\sigma_{0,65}^{\textcircled{1}}</math> bzw. (auf sicherer Seite):  <math>\max \sigma_{m,d}</math> nach Gl.(18.4)</li> <li>• <math>k_m</math> mit <math>h_{0,65}^{\textcircled{1}}</math></li> </ul> <p><b>Kippfeld ② mit max <math>h = h_{ap}</math>:</b>          Nachweis vereinfacht mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\sigma_{m,ap,d} = M_{ap,d} / W_{ap}</math></li> <li>• <math>k_m</math> mit <math>h_{ap}</math></li> </ul>
<p><math>x_m</math> im gekrümmten Bereich (selten)</p>	<p><b>Kippfeld Firstbereich:</b>          Nachweis vereinfacht mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\sigma_{m,ap,d} = M_{ap,d} / W_{ap}</math></li> <li>• <math>k_m</math> mit <math>h_{ap}</math></li> </ul>

Angaben zu den Kippspannungsnachweisen bei gekrümmten Trägern

 <p><math>x_m</math> im linearen Bereich (meistens der Fall)</p>	<p><b>Kippfeld ① mit max <math>\sigma_m</math>:</b>                      Nachweis mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\sigma_{0,65}^{\textcircled{1}}</math> bzw. (auf sicherer Seite):  <math>\max \sigma_{m,d}</math> nach Gl.(18.4)</li> <li>• <math>k_m</math> mit <math>h_{0,65}^{\textcircled{1}}</math></li> </ul> <p><b>Kippfeld ② mit max <math>h</math>:</b>                      Nachweis mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\sigma_{0,65}^{\textcircled{2}} = M_{0,65}^{\textcircled{2}} / W_{0,65}^{\textcircled{2}}</math></li> <li>• <math>k_m</math> mit <math>h_{0,65}^{\textcircled{2}}</math> (bzw. mit <math>h_{ap}</math> auf der sicheren Seite)</li> </ul>
 <p><math>x_m</math> im gekrümmten Bereich (selten)</p>	<p><b>Kippfeld Firstbereich:</b>                      Nachweis mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\max \begin{cases} \sigma_{0,65}^{\textcircled{2}} = M_{0,65}^{\textcircled{2}} / W_{0,65}^{\textcircled{2}} \\ \sigma_{m,ap,d} = M_{ap,d} / W_{ap} \end{cases}</math></li> <li>• <math>k_m</math> mit <math>h_{0,65}^{\textcircled{2}}</math> (bzw. mit <math>h_{ap}</math> auf der sicheren Seite)</li> </ul>

Angaben zu den Kippspannungsnachweisen bei gekrümmten Satteldachträgern

**Nachweise im First**

<p><b>Biegespannung:</b></p> $\sigma_{m,ap,d,netto} = 1000 \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap,netto}}$ $\sigma_{m,d} = k_{\ell} \cdot \sigma_{m,ap,d,netto}$ $\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d} \quad \text{bzw.} \quad \frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} \leq 1$ <p><b>Querzugspannung:</b></p> $\sigma_{m,ap,d} = 1000 \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}}$ $\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \sigma_{m,ap,d}$ $\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d}^* \quad \text{bzw.} \quad \frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}^*} \leq 1$	<p><math>M_{ap,d}</math> in [kNm]  <math>W_{ap}</math> in [cm<sup>3</sup>]  <math>W_{ap,netto}</math> = Netto-Widerstandsmoment im First in [cm<sup>3</sup>] unter Berücksichtigung der Querschnittsschwächung infolge der Querschnittsverstärkungen  <math>f_{m,d}, f_{t,90,d}</math> in [N/mm<sup>2</sup>]  <math>k_{\ell}, k_p, k_{dis} \Rightarrow</math> <b>Tabelle A-18.2</b>  <math>k_r \Rightarrow</math> <b>Tabelle F-14</b>  <math>f_{t,90,d}^* = k_{dis} \cdot \left(\frac{h_0}{h_{ap}}\right)^{0,3} \cdot f_{t,90,d}</math> <b>Tabelle A-18.3</b>  <math>h_0</math> = Bezugshöhe von 600 mm (<math>h_{ap}</math> in [mm])</p>
---	---

**Tabelle F-14** Beiwert  $k_r$  zur Berücksichtigung der Krümmung der Lamellen

	$k_r = 1$
	$k_r = \begin{cases} 1 & \text{für } r_{in} \geq 240 \cdot t \\ 0,76 + 0,001 \cdot \frac{r_{in}}{t} & \text{für } r_{in} < 240 \cdot t \end{cases}$
	<p>mit <math>t</math> = Lamellendicke</p>

**Querzugverstärkung**

<p><b>Zugkraft <math>\perp</math> Faser:</b></p> <p><u>Konstruktive Verstärkung</u> (bei <math>\frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}^*} \geq 0,6</math>):</p> $F_{t,90,d} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\sigma_{t,90,d} \cdot b \cdot a_1}{n} \cdot \frac{b}{160}$ <p><u>„Vollständige“ Verstärkung</u> (bei <math>\frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}^*} \geq 1,0</math>):</p> <p>Bereich ①: <math>F_{t,90,d} = \frac{\sigma_{t,90,d} \cdot b \cdot a_1}{n}</math></p> <p>Bereich ②: <math>F_{t,90,d} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_{t,90,d} \cdot b \cdot a_1}{n}</math></p>		<p><math>F_{t,90,d}</math> = Zugkraft <math>\perp</math> zur Faser in [N]  <math>\sigma_{t,90,d}</math> = Querzugspannung in [N/mm<sup>2</sup>]  <math>b</math> = Trägerbreite in [mm]  <math>a_1</math> = Abstand der Stahlstangen in Trägerlängsrichtung in Höhe der Trägerachse in [mm]  <math>n</math> = Anzahl der Stahlstangen innerhalb der Länge <math>a_1</math> (= Anzahl der nebeneinander liegenden Reihen)</p>			
<p>Anordnung von eingeklebten Stahlstangen (Draufsicht)</p>					
<p><b>Nachweis der Verstärkung:</b></p> $F_{t,90,d} \leq R_{ax,d}$ $R_{ax,d} = \min \begin{cases} R_{ax,d,G} \\ R_{ax,d,S} \end{cases}$ <p>Eingeklebte Gewindebolzen/Betonstahl: <math>f_{k1,d}</math> = Klebefugenfestigkeit für <math>\ell_{ad} \leq 25</math> cm nach <b>Tabelle A-4.3</b></p> $R_{ax,d,G} = 0,5 \cdot \pi \cdot d \cdot \ell_{ad} \cdot f_{k1,d}$ <p>Gewindestangen (Holzgewinde): <math>f_{1,d}</math> = Ausziehfestigkeit in [N/mm<sup>2</sup>] für eingedrehte Gewindestangen (mit Holzgewinde) nach <b>Tabelle A-4.3</b></p> $R_{ax,d,G} = 0,5 \cdot d \cdot \ell_{ad} \cdot f_{1,d}$ <p>Hinweis: Der Faktor <math>\pi</math> ist in <math>f_{1,d}</math> bereits eingerechnet!</p>	<p><math>d</math> = Durchmesser des Stabes in [mm]  <math>\ell_{ad}</math> = halbe Einkleblänge des Stahlstabes in [mm]. Die Stahlstäbe müssen mit Ausnahme einer Randlamelle über die gesamte Trägerhöhe durchgehen <math>\approx 0,5 \cdot (\text{Trägerhöhe} - 30 \text{ mm})</math></p> <p><math>R_{ax,d,S}</math> = Bemessungswert der Zugtragfähigkeit des Stahlstabes nach <b>Tabelle A-4.4</b></p>				
<p><b>Gesuchter Abstand <math>a_1</math>:</b></p> <p><u>Konstruktive Querzugbewehrung:</u></p> <table border="1"> <tr> <td>Gewindebolzen/Betonstahl:</td> <td>Gewindestange (Holzgewinde):</td> </tr> <tr> <td><math>\frac{a_1}{n} \leq \frac{f_{k1,d}}{\sigma_{t,90,d}} \cdot \frac{640 \cdot \pi \cdot d_r \cdot \ell_{ad}}{2 \cdot b^2}</math></td> <td><math>\frac{a_1}{n} \leq \frac{f_{1,d}}{\sigma_{t,90,d}} \cdot \frac{640 \cdot d_r \cdot \ell_{ad}}{2 \cdot b^2}</math></td> </tr> </table>		Gewindebolzen/Betonstahl:	Gewindestange (Holzgewinde):	$\frac{a_1}{n} \leq \frac{f_{k1,d}}{\sigma_{t,90,d}} \cdot \frac{640 \cdot \pi \cdot d_r \cdot \ell_{ad}}{2 \cdot b^2}$	$\frac{a_1}{n} \leq \frac{f_{1,d}}{\sigma_{t,90,d}} \cdot \frac{640 \cdot d_r \cdot \ell_{ad}}{2 \cdot b^2}$
Gewindebolzen/Betonstahl:	Gewindestange (Holzgewinde):				
$\frac{a_1}{n} \leq \frac{f_{k1,d}}{\sigma_{t,90,d}} \cdot \frac{640 \cdot \pi \cdot d_r \cdot \ell_{ad}}{2 \cdot b^2}$	$\frac{a_1}{n} \leq \frac{f_{1,d}}{\sigma_{t,90,d}} \cdot \frac{640 \cdot d_r \cdot \ell_{ad}}{2 \cdot b^2}$				
<p><u>„Vollständige“ Bewehrung (Bereich ①):</u></p> <table border="1"> <tr> <td>Gewindebolzen/Betonstahl:</td> <td>Gewindestange (Holzgewinde):</td> </tr> <tr> <td><math>\frac{a_1}{n} \leq \frac{f_{k1,d}}{\sigma_{t,90,d}} \cdot \frac{\pi \cdot d_r \cdot \ell_{ad}}{2 \cdot b}</math></td> <td><math>\frac{a_1}{n} \leq \frac{f_{1,d}}{\sigma_{t,90,d}} \cdot \frac{d_r \cdot \ell_{ad}}{2 \cdot b}</math></td> </tr> </table>		Gewindebolzen/Betonstahl:	Gewindestange (Holzgewinde):	$\frac{a_1}{n} \leq \frac{f_{k1,d}}{\sigma_{t,90,d}} \cdot \frac{\pi \cdot d_r \cdot \ell_{ad}}{2 \cdot b}$	$\frac{a_1}{n} \leq \frac{f_{1,d}}{\sigma_{t,90,d}} \cdot \frac{d_r \cdot \ell_{ad}}{2 \cdot b}$
Gewindebolzen/Betonstahl:	Gewindestange (Holzgewinde):				
$\frac{a_1}{n} \leq \frac{f_{k1,d}}{\sigma_{t,90,d}} \cdot \frac{\pi \cdot d_r \cdot \ell_{ad}}{2 \cdot b}$	$\frac{a_1}{n} \leq \frac{f_{1,d}}{\sigma_{t,90,d}} \cdot \frac{d_r \cdot \ell_{ad}}{2 \cdot b}$				
<p>Für den weniger beanspruchten Bereich ② darf der Wert <math>a_1/n</math> um 50 % erhöht werden.</p>					

**Durchbiegungen (Einfeldträger)**

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

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

	$k_I = 0,15 + 0,85 \cdot \frac{h_A}{h_{\text{ap}}} - 0,4 \cdot \left(\frac{\ell_{\text{ap}}}{\ell} - 0,5\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{h_A}{h_{\text{ap}}}\right)^3\right]$
	$k_I = 0,15 + 0,85 \cdot \frac{h_A}{h_{\text{ap}}}$
	$k_I = 0,15 + 0,85 \cdot \frac{h_A}{h_{\text{ap}}} - 0,2 \cdot \left[1 - \left(\frac{h_A}{h_{\text{ap}}}\right)^3\right]$
	$k_I = 0,15 + 0,85 \cdot \frac{h_A}{h_1}$
	$\Rightarrow \mathbf{\text{Tabelle A-18.4b}}$

**Horizontale Auflagerverschiebung**

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

### 19 Mehrteilige Druckstäbe, Rahmenstäbe

	<p><b>Randbedingungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ungerade Anzahl der Felder zwischen den Querverbindungen <math>\geq 3</math>, da bei gerader Felderanzahl die mittlere Querverbindung wirkungslos ist</li> <li>• Zwischenhölzern: <math>a/h \leq 3</math> und <math>l_2/a \geq 1,5</math></li> <li>• Bindehölzern: <math>a/h \leq 6</math> und <math>l_2/a \geq 2</math></li> <li>• 2 Dübel bzw. <math>\geq 4</math> Nägel pro Verbindungsfuge</li> <li>• 4 Nägel in einer Reihe hintereinander pro Verbindungsfuge an den Stabenden</li> </ul>
<p>mit Zwischenhölzern</p>	<p>mit Bindehölzern</p>

#### Knicklängen

<p><b>Knicken um die z-Achse</b></p> $\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{i_z} = \frac{\beta \cdot \ell}{i_z}$	<p><math>\lambda_z</math> = Schlankheitsgrad</p> <p><math>\beta</math> = Knicklängenbeiwert (meist: <math>\beta = 1,0</math>)</p>
<p><b>Knicken um die y-Achse</b></p> $\lambda_{y,ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \eta \cdot \lambda_1^2}$ $\lambda_y = \ell_y \cdot \sqrt{\frac{12}{h^2 + 3 \cdot a_1^2}} \text{ mit } \ell_y = \beta \cdot \ell$ $\lambda_1 = \max \left\{ \begin{array}{l} 30 \\ \frac{\ell_1 \cdot \sqrt{12}}{h} \end{array} \right.$	<p><math>\lambda_{y,ef}</math> = wirksamer Schlankheitsgrad</p> <p><math>\lambda_y</math> = rechnerische Schlankheit des Gesamtquerschnittes unter Zugrundelegung eines starren Verbundes</p> <p><math>\lambda_1</math> = Schlankheit des Einzelstabes</p> <p><math>\eta</math> = Beiwert in Abhängigkeit von der Art der Querverbindung und Belastungsdauer nach <b>Tabelle F-16</b></p>

**Tabelle F-16** Beiwerte  $\eta$  für Rahmenstäbe

Belastungsdauer	Zwischenhölzern			Bindehölzern	
	Leim	Nägel	Dübel	Leim	Nägel
ständig/lang	1	4	3,5	3	6
mittel/kurz	1	3	2,5	2	4,5

**Nachweis der Querverbindung und der Verbindungsmittel**

<p><b>Ideelle Querkraft:</b></p> $V_d = \begin{cases} F_{c,d}/(120 \cdot k_c) & \text{für } \lambda_{y,ef} \leq 30 \\ F_{c,d} \cdot \lambda_{y,ef}/(3600 \cdot k_c) & \text{für } 30 < \lambda_{y,ef} < 60 \\ F_{c,d}/(60 \cdot k_c) & \text{für } 60 \leq \lambda_{y,ef} \end{cases}$ <p><b>Schubkraft in der Querverbindung:</b></p> $T_d = \frac{V_d \cdot \ell_1}{a_1}$	<p><math>F_{c,d}</math> = Druckkraft im Rahmenstab  <math>k_c</math> = Knickbeiwert für den Schlankeitsgrad <math>\lambda_{y,ef}</math></p>
<p><b>Schubspannung in den Zwischen- bzw. Bindehölzern:</b></p> $\tau_d = 15 \cdot \frac{T_d}{b_{QV} \cdot \ell_2} \leq f_{v,d}$ <p><b>Nachweis der Verbindungsmittel:</b></p> $T_d \leq n \cdot R_d$	<p><math>T_d</math> in [kN]  <math>b_{QV}</math> in [cm]  <math>\ell_2</math> in [cm]  <math>f_{v,d}</math> in [N/mm<sup>2</sup>]  <math>n</math> = Anzahl der VM pro Anschlussfuge  <math>R_d</math> = Tragfähigkeit eines Verbindungsmittels  <math>b_{QV}</math> = Breite der Querverbindung (siehe oben)  <math>\ell_2</math> = Länge der Querverbindung</p>