



## Vorbemerkungen

### **Inhalt**

Holzbauvorlagen nach SIA 265 für VCmaster

### **Hinweise zu Anwendung**

Alle Vorlagen können mit VCmaster genutzt werden. Einzige Voraussetzung ist eine Registrierung unter [www.VCmaster.com](http://www.VCmaster.com). Zum Anwenden der Vorlagen ist eine Test- oder Demoversion ausreichend. Zum Bearbeiten und Erstellen eigener Vorlagen ist die Vollversion erforderlich.

Alle Vorlagen sind mit hinterlegten Tabellen verknüpft. Das erfolgt mit der TAB()- oder GEW()-Funktion. In diesem Dokument werden die Verknüpfungen dargestellt. Beim Anwenden einer Vorlage können diese Funktionen ausgeblendet werden.

### **Was kann VCmaster?**

VCmaster wurde speziell als Dokumentationswerkzeug für Ingenieure entwickelt. In das einzigartige Softwarekonzept werden sämtliche Statik- und CAD-Programme nahtlos eingebunden. Universelle Schnittstellen gewährleisten die Datenübertragung, so dass die Ausgaben sämtlicher Programme übernommen werden können.

VCmaster bietet neben den Funktionen zur Dokumentation ein intuitives Konzept, das Ingenieuren ermöglicht, Berechnungen auszuführen. Die Eingabe von mathematischen Formeln erfolgt in natürlicher Schreibweise direkt im Dokument. Hunderte vorgefertigte Berechnungsvorlagen ergänzen das Programm. Die ausführlich kommentierten Rechenblätter automatisieren das Erstellen von Einzelnachweisen.

Diese PDF-Datei wurde komplett mit VCmaster erstellt.

### **Systemvoraussetzung**

VCmaster ab Version 2016

### **Entwicklung und Rechte**

Entwickelt in der Schweiz. Copyrights: Veit Christoph GmbH



## Inhalt

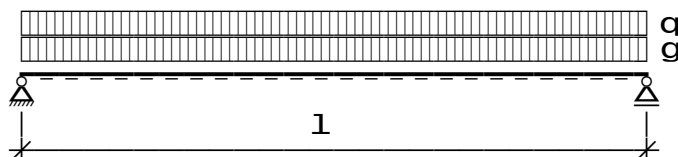
<b>Vorbemerkungen</b>	1
<b>Inhalt</b>	2
<b>Kapitel Biegeträger</b>	4
Einfeldträger	4
Einfeldträger mit Druck	11
Einfeldträger mit Zug	17
Einfeldträger schiefe Biegung	23
Einfeldträger aus Kerto-Q	27
Zweifeldträger	32
Satteldachträger mit geradem Untergurt	41
Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt	50
<b>Kapitel Stützen</b>	61
Pendelstütze	61
Pendelstütze Rundstab	64
EingespannteStütze	66
<b>Kapitel Ausklinkungen</b>	69
Ausklindung mit Verstärkung	69
Ausklindung Kerto-Q	72
<b>Kapitel Hohlkastenträger</b>	74
Hohlkastenträger	74
<b>Kapitel Scheiben</b>	90
Wandscheibe	90
Deckenscheibe	104
<b>Kapitel Stabilisierung und Verbände</b>	113
Stabilisierung durch Einzelabstützungen	113
Stabilisierung von Biegeträger im Dach	116
<b>Kapitel Anschlüsse</b>	120
Biegesteifer Anschluss Holz-Holz 1	120
Biegesteifer Anschluss Holz-Holz 2	125
Biegesteifer Anschluss Schlitzblech	130
Queranschluss (Verstärkung)	134
<b>Kapitel Nagel-Verbindungen</b>	136
Glattschaftige Nägel ohne Vorbohrung Holz-Holz	136
Glattschaftige Nägel ohne Vorbohrung Stahl-Holz	140
Glattschaftige Nägel mit Vorbohrung Holz-Holz	145
Glattschaftige Nägel mit Vorbohrung Stahl-Holz	149
Rillen- und Schraubnägeln ohne Vorbohrung Holz-Holz	153
Rillen- und Schraubnägeln ohne Vorbohrung Stahl-Holz	157
Rillen- und Schraubnägeln mit Vorbohrung Holz-Holz	161
Rillen- und Schraubnägeln mit Vorbohrung Stahl-Holz	165
<b>Kapitel Schraub-Verbindungen</b>	169
Schrauben auf Herausziehen	169
Schrauben Abscheren mit Seilwirkung (vorgebohrt)	171
Schrauben Abscheren mit Seilwirkung (nicht vorgebohrt)	177
Sechskantschraube Abscheren mit Seilwirkung	183
Sechskantschraube Abscheren Stahl-Holz mit Seilwirkung	189
Sechskantschraube Abscheren ohne Seilwirkung	195
<b>Kapitel Stabdübel-Verbindung</b>	198
Stabdübel Holz-Holz 1	198
Stabdübel Holz-Holz 2	203
Stabdübel Schlitzblech	208
Stabdübel Schlitzblech mehrschnittig	213
Stabdübel Schlitzblech	218



<b>Kapitel Ringdübel-Verbindung</b>	223
Einlassdübelverbindungen (Ringdübel)	223
<b>Kapitel Brandschutz</b>	228
Restquerschnitt ungeschützt	228
Restquerschnitt ungeschützte HWS	229
Restquerschnitt anfangs geschützt	230
Restquerschnitt anfangs geschützte HWS	232
Restquerschnitt anfangs geschützt und seitlich Mineralwolle	233
Bemessung Knicken Stütze im Brandfall (nach Lignum-Dok. 3.1)	235
Bemessung Biegeträger im Brandfall (nach Lignum-Dok. 3.1)	238

## Kapitel Biegeträger

### Einfeldträger



#### Eingaben

Spannweite $l =$	6000 mm
Kipphalterungsabstand $a =$	6000 mm
Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; ) = 1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL) = 1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; ) = 1.0

#### Träger

Breite $b =$	120 mm
Höhe $h =$	480 mm
QS Fläche $A =$	$b \cdot h = 57600 \text{ mm}^2$
QS Fläche $A_{\text{red}} =$	$\frac{5}{6} \cdot A = 48000 \text{ mm}^2$

Baustoff BS:	GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Brettschichtholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=BS) = GL24h
Festigkeit $f_{m,d} =$	TAB("SIA265/Holz"; fmd; FK=FK) = 16.0 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{m,k} =$	TAB("SIA265/Holz"; fmk; FK=FK) = 24.0 N/mm <sup>2</sup>
Schubfestigkeit $f_{v,d} =$	TAB("SIA265/Holz"; fvd; FK=FK) = 1.80 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul $E_m =$	TAB("SIA265/Holz"; E0mean; FK=FK) = 11000 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul $E_{0,05} =$	TAB("SIA265/Holz"; E005; FK=FK) = 9400 N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul $G =$	TAB("SIA265/Holz"; Gmean; FK=FK) = 500 N/mm <sup>2</sup>
Kriechzahl $\varphi =$	TAB("SIA265/KriechZ"; Kz; GR=BS; FK=KL) = 0,60

#### Einwirkungen (massgebende Lastkombination Tragsicherheit)

##### Ständige Einwirkungen (aus Belastungsannahme)

Eigengewicht + Auflast

$$g'_k = 1.50 \text{ kN/m}$$

##### Veränderliche Leiteinwirkung

Einwirkung Kat: GEW("SIA260/NutzL"; BSP; ) = **Kat. A1: Wohnräume**

$$q'_k = 8.00 \text{ kN/m}$$

Reduktionsbeiwerte gemäss SIA 260 tabelle 2:

$$\text{Mereshöhe } h_M = 612 \text{ m}$$

$$\psi_0 = \text{TAB("SIA260/Red"; } \psi_0; \text{ BSP=Kat; } h=h_M) = 0.70$$

$$\psi_1 = \text{TAB("SIA260/Red"; } \psi_1; \text{ BSP=Kat; } h=h_M) = 0.50$$

$$\psi_2 = \text{TAB("SIA260/Red"; } \psi_2; \text{ BSP=Kat; } h=h_M) = 0.30$$



### Grenzzustand Tragsicherheit Typ 2

Massgebende Bemessungssituation:

-Eigenlast + Auflast + Nutzlast (SIA 260 Formel 16)

Lastbeiwerte gemäss SIA 260 Tabelle 1

$$\text{Lastbeiwert } \gamma_G = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_G; S=\text{"ungünstig"}) = 1.35$$

$$\text{Lastbeiwert } \gamma_Q = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_Q; S=\text{"allgemein"}) = 1.50$$

Bemessungswert der Einwirkung:

$$q'_{Ed} = \gamma_G * g'_k + \gamma_Q * q'_k = 14.03 \text{ kN/m}$$

**Tragsicherheit Biegemoment:**

$$\text{max. Biegemoment } M_{y,Ed} = \frac{q'_{Ed} * (l/10^3)^2}{8} = \frac{14.03 * (6000/10^3)^2}{8} = 63.13 \text{ kNm}$$

$$\text{Widerstandsmoment } W_y = \frac{b * h^2}{6} = \frac{120 * 480^2}{6} = 4608000 \text{ mm}^3$$

$$\text{Biegerandspannung } \sigma_{m,d} = \frac{M_{y,Ed} * 10^6}{W_y} = \frac{63.13 * 10^6}{4608000} = 13.70 \text{ N/mm}^2$$

Kippbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.9.3):

$$\lambda_{rel,m} = 1.15 * \frac{\sqrt{a * h}}{b} * \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 0.82$$

$$\text{Kippbeiwert } k_m = \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 * \lambda_{rel,m}; 1 / \lambda_{rel,m}^2)) = 0.94$$

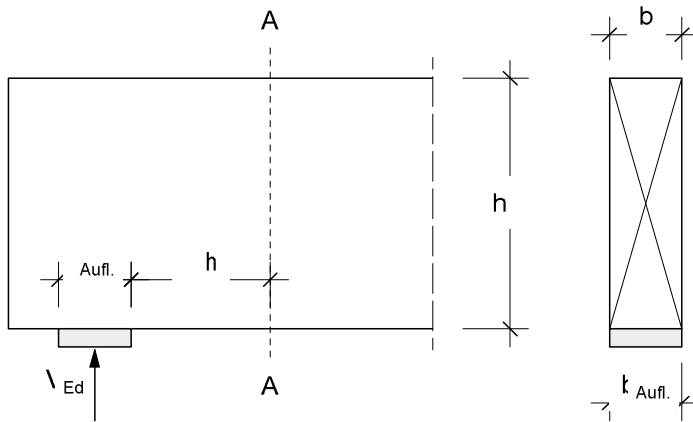
$$\text{Höhenbeiwert } k_h = \text{MIN}(1.1; \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"; } \left(\frac{600}{h}\right)^{0.1}; 1)) = 1.02$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{m,d}}{\eta_w * \eta_t * k_m * k_h * f_{m,d}} = \frac{13.70}{1.0 * 1.0 * 0.94 * 1.02 * 16.0} = 0.89 < 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung  $\leq$  1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Tragsicherheit Querkraft:

Schubnachweis im Schnitt A-A gemäss SIA 265\_4.2.7.2



Auflagerfläche:

$$\begin{aligned}
 \text{Auflagerlänge } l_{\text{Aufl}} &= 120 \text{ mm} \\
 \text{Auflagerbreite } b_{\text{Aufl}} &= 120 \text{ mm} \leq b \\
 \text{Auflagerfläche } A_{\text{Aufl}} &= l_{\text{Aufl}} \cdot b_{\text{Aufl}} = 14400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Maximale Querkraft } V_{\text{Ed}} = \frac{q'_{\text{Ed}} \cdot l}{2 \cdot 1000} = \frac{14.03 \cdot 6000}{2 \cdot 1000} = 42.09 \text{ kN}$$

Massgebende Querkraft im Schnitt A-A:

$$V_{\text{red,d}} = V_{\text{Ed}} \cdot \left( \frac{l_{\text{Aufl}}}{2} + h \right) \cdot q'_{\text{Ed}} / 10^3 = 34.51 \text{ kN}$$

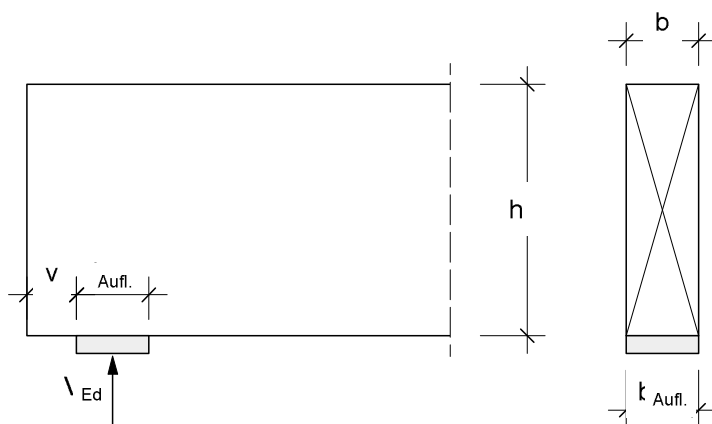
$$\text{Schubspannung } \tau_d = 1.5 \cdot \frac{V_{\text{red,d}} \cdot 1000}{b \cdot h} = 1.5 \cdot \frac{34.51 \cdot 1000}{120 \cdot 480} = 0.90 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\tau_d}{\eta_w \cdot \eta_t \cdot f_{v,d}} = \frac{0.90}{1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.80} = 0.50 < 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Tragsicherheit Querdruck:

Nach dem alternativen Verfahren SIA 265 Anhang C



Vorholz  $v =$  100 mm

Wirksame Länge in Faserrichtung:

$$l_{ef} = l_{Aufl} + \text{MIN}(30; v; l_{Aufl}) + \text{MIN}(30; l_{Aufl}) = 180 \text{ mm}$$

Wirksame Querdruckfläche:

$$A_{ef} = b_{Aufl} * l_{ef} = 21600 \text{ mm}^2$$

Querdruckbeiwert (**grössere Eindrückungen**):

$$k_{c,90} = \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; 1.75; 1.5) = 1.75$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit  $\perp$  zur Faserrichtung nach Anhang C

$$f_{c,90,d} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holzfc90"}; fc90d; FK=FK) = 1.70 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Druckwiderstand } F_{c,90,Rd} = A_{ef} * k_{c,90} * \eta_w * \eta_t * f_{c,90,d} / 1000 = 64.26 \text{ kN}$$

$$\text{Auflagerreaktion } F_{c,90,d} = V_{Ed} = 42.09 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{42.09}{64.26} = 0.65 < 1$$

Nachweis:  $\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$

Mit Querdruckbeiwert  $k_{c,90} = 1.0$  (**Ohne Eindrückungen**):

$$\text{Druckwiderstand } F_{c,90,Rd} = A_{ef} * f_{c,90,d} / 1000 = 36.72 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{42.09}{36.72} = 1.15 < 1$$

Nachweis:  $\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis nicht erfüllt !}$

Wenn nicht erfüllt  $\Rightarrow$  Querdruckverstärkung erforderlich!



## Vergleich Nachweis nach SIA 265\_4.2.2

Mit generellem Wert:

$$\text{Querdruckfläche} = A_{\text{Aufl}} = 14400.00 \text{ mm}^2$$

$$\text{Auflagerreaktion } F_{c,90,d} = V_{\text{Ed}} = 42.09 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungswert der Druckfestigkeit } \perp \text{ zur Faserrichtung } f_{c,90,d} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; fc90d; FK=FK}) = 1.90 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Druckwiderstand } F_{c,90,Rd} = A_{\text{Aufl}} * \eta_w * \eta_t * f_{c,90,d} / 1000 = 27.36 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{42.09}{27.36} = 1.54 < 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis nicht erfüllt !**

Endauflagerung:

$$\text{Druckwiderstand } F_{c,90,Rd} = A_{\text{Aufl}} * 2.5 / 1000 = 36.00 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{42.09}{36.00} = 1.17 < 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis nicht erfüllt !**

Mit Endrückungen:

$$\text{Druckwiderstand } F_{c,90,Rd} = A_{\text{Aufl}} * 4.0 / 1000 = 57.60 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{42.09}{57.60} = 0.73 < 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**





### Durchbiegung im Grenzzustand Aussehen

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Aussehen, reversible Folgen eines **quasi-ständigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + quasi-ständige Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,ständig}} = g'_k + \psi_2 * q'_k = 1.50 + 0.30 * 8.00 = 3.90 \text{ kN/m}$$

$$\text{Trägheitsmoment } I_y = \frac{b * h^3}{12} = \frac{120 * 480^3}{12} = 1105.920 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Durchbiegung in Feldmitte:

$$W_{\text{Ed}} = \left( \frac{5 * q'_{\text{Ed,ständig}} * l^4}{384 * E_m * I_y} + \frac{q'_{\text{Ed,ständig}} * l^2}{8 * G * A_{\text{red}}} \right) * (1 + \varphi) = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Bruchteil der Spannweite} = l / W_{\text{Ed}} = 600$$

Richtwert für den Grenzzustand Aussehen nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l}{300} = \frac{6000}{300} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{10}{20} = 0.50 \leq 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit mit duktilem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, reversible Folgen eines **häufigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + häufige Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,häufig}} = g'_k + \psi_1 * q'_k = 1.50 + 0.50 * 8.00 = 5.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{Einwirkungen in der Verformungsberechnung } F = q'_{\text{Ed,häufig}} = 5.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen } F_\varphi = q'_{\text{Ed,ständig}} = 3.90 \text{ kN/m}$$

Durchbiegung in Feldmitte:

$$W_{\text{Ed}} = \left( \frac{5 * q'_{\text{Ed,häufig}} * l^4}{384 * E_m * I_y} + \frac{q'_{\text{Ed,häufig}} * l^2}{8 * G * A_{\text{red}}} \right) * \left( 1 + \varphi * \frac{F_\varphi}{F} \right) = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Bruchteil der Spannweite} = l / W_{\text{Ed}} = 500$$

Richtwert für den Grenzzustand Funktionstüchtigkeit nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l}{350} = \frac{6000}{350} = 17 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{12}{17} = 0.71 \leq 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**



## Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, Einbauten mit spödem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, irreversible Folgen eines **seltenen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + seltene Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,selten}} = g'_k + q'_k = 1.50 + 8.00 = 9.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{Einwirkungen in der Verformungsberechnung } F = q'_{\text{Ed,selten}} = 9.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen } F_\varphi = q'_{\text{Ed,ständig}} = 3.90 \text{ kN/m}$$

Durchbiegung in Feldmitte:

$$W_{\text{Ed}} = \left( \frac{5 \cdot q'_{\text{Ed,selten}} \cdot l^4}{384 \cdot E_m \cdot I_y} + \frac{q'_{\text{Ed,selten}} \cdot l^2}{8 \cdot G \cdot A_{\text{red}}} \right) \cdot \left( 1 + \varphi \cdot \frac{F_\varphi}{F} \right) = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Bruchteil der Spannweite} = l / W_{\text{Ed}} = 316$$

Richtwert für den Grenzzustand Funktionstüchtigkeit nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l}{500} = \frac{6000}{500} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{19}{12} = 1.58 \leq 1$$

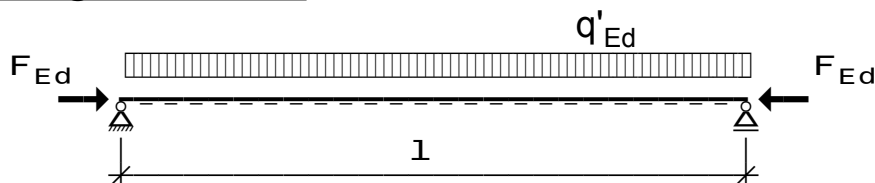
Nachweis: WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt!") = **Nachweis nicht erfüllt !**

Bemerkung: Falls Durchbiegung **nach** dem Einbau der relevanten nicht tragenden Bauteile massgebend

⇒ Abzug Durchbiegung infolge  $g_k$  (SIA 260\_Tab. 3 Fussnote 2)



### Einfeldträger mit Druck



#### Eingaben

Spannweite  $l =$  4500 mm  
Knicklänge  $l_k =$  4500 mm  
Kipphalterungsabstand  $a =$  4500 mm

Feuchteklasse KL: GEW("SIA265/FK"; F; ) = 1  
Faktor  $\eta_w$ : TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL) = 1.0  
Faktor  $\eta_t$ : GEW("SIA265/EA"; FAK; ) = 1.0

#### Träger

Breite  $b =$  120 mm  
Höhe  $h =$  320 mm  
QS Fläche  $A =$   $b \cdot h =$  38400 mm<sup>2</sup>  
QS Fläche  $A_{red} =$   $\frac{5}{6} \cdot A =$  32000 mm<sup>2</sup>

Baustoff BS: GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Brettschichtholz  
Festigkeitsklasse FK: GEW("SIA265/Holz"; FK; B=BS) = GL24h  
Rohdichte  $\rho_k =$  TAB("SIA265/Holz";  $\rho_k$ ; FK=FK) = 380 kg/m<sup>3</sup>  
Festigkeit  $f_{m,d} =$  TAB("SIA265/Holz"; fmd; FK=FK) = 16.0 N/mm<sup>2</sup>  
Festigkeit  $f_{m,k} =$  TAB("SIA265/Holz"; fmk; FK=FK) = 24.0 N/mm<sup>2</sup>  
Festigkeit  $f_{c,0,d} =$  TAB("SIA265/Holz"; fc0d; FK=FK) = 14.5 N/mm<sup>2</sup>  
Festigkeit  $f_{c,0,k} =$  TAB("SIA265/Holz"; fc0k; FK=FK) = 24.0 N/mm<sup>2</sup>  
Festigkeit  $f_{v,d} =$  TAB("SIA265/Holz"; fvd; FK=FK) = 1,8 N/mm<sup>2</sup>  
E-Modul  $E_m =$  TAB("SIA265/Holz"; E0mean; FK=FK) = 11000 N/mm<sup>2</sup>  
E-Modul  $E_{0,05} =$  TAB("SIA265/Holz"; E005; FK=FK) = 9400 N/mm<sup>2</sup>  
Schubmodul  $G =$  TAB("SIA265/Holz"; Gmean; FK=FK) = 500 N/mm<sup>2</sup>  
Kriechzahl  $\varphi =$  TAB("SIA265/KriechZ"; Kz; GR=BS; FK=KL) = 0.60

#### Einwirkungen (Massgebende Lastkombination Tragsicherheit):

$F_{Ed} =$  25.00 kN

#### Ständige Einwirkungen (aus Belastungsannahme)

$g'_k =$  2.00 kN/m

#### Veränderliche Leiteinwirkung

Einwirkung Kat: GEW("SIA260/NutzL"; BSP; ) = Kat. A1: Wohnräume

$q'_k =$  6.50 kN/m

Reduktionsbeiwerte gemäss SIA 260 tabelle 2:

**Mereshöhe  $h_M =$  612 m**

$\psi_0 =$  TAB("SIA260/Red";  $\psi_0$ ; BSP=Kat;  $h=h_M$ ) = 0.70

$\psi_1 =$  TAB("SIA260/Red";  $\psi_1$ ; BSP=Kat;  $h=h_M$ ) = 0.50

$\psi_2 =$  TAB("SIA260/Red";  $\psi_2$ ; BSP=Kat;  $h=h_M$ ) = 0.30



### Grenzzustand Tragsicherheit Typ 2

$$\text{Lastbeiwert } \gamma_G = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_G; S=\text{"ungünstig"}) = 1.35$$

$$\text{Lastbeiwert } \gamma_Q = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_Q; S=\text{"allgemein"}) = 1.50$$

$$q'_{Ed} = \gamma_G * g'_k + \gamma_Q * q'_k = 12.45 \text{ kN/m}$$

### Tragsicherheit Biegung + Druck:

$$\text{max. Biegemoment } M_{y,Ed} = \frac{q'_{Ed} * (l/10^3)^2}{8} = \frac{12.45 * (4500/10^3)^2}{8} = 31.51 \text{ kNm}$$

$$\text{Widerstandsmoment } W_y = \frac{b * h^2}{6} = \frac{120 * 320^2}{6} = 2048000 \text{ mm}^3$$

$$\text{Biegerandspannung } \sigma_{m,d} = \frac{M_{y,Ed} * 10^6}{W_y} = \frac{31.51 * 10^6}{2048000} = 15.39 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Druckspannung } \sigma_{c,0,d} = \frac{F_{Ed} * 1000}{A} = \frac{25.00 * 1000}{38400} = 0.65 \text{ N/mm}^2$$

Kippbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.9.2):

$$\lambda_{rel,m} = 1.15 * \frac{\sqrt{a * h}}{b} * \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 0.58$$

$$\text{Kippbeiwert } k_m = \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 * \lambda_{rel,m}; 1 / \lambda_{rel,m}^2)) = 1.00$$

$$\text{Höhenbeiwert } k_h = \text{MIN}(1.1; \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"; } (\frac{600}{h})^{0.1}; 1)) = 1.06$$

Knickbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.8):

Um die starke Achse

$$\text{Trägheitsradius } i = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{320}{\sqrt{12}} = 92.38 \text{ mm}$$

$$\text{geom. Schlankheit } \lambda = \frac{l_k}{i} = \frac{4500}{92.38} = 48.71 \text{ mm}$$

$$\text{rel. Schlankheit } \lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{48.71}{3.14159} * \sqrt{\frac{24.0}{9400}} = 0.78$$

$$\text{Hilfswert } \beta_c = \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"; } 0.1; 0.2) = 0.1$$

$$\text{Faktor } k = \frac{0.5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2)}{1} = 0.83$$

$$\text{Knickbeiwert } k_c = \text{MIN}(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}; 1) = 0.90$$

### Stabilitätsnachweis um starke Achse (SIA 265 Formel 37)

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{m,d}}{\eta_w * k_m * k_h * f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{\eta_w * k_c * f_{c,0,d}} = \frac{15.39}{1.0 * 1.00 * 1.06 * 16.0} + \frac{0.65}{1.0 * 0.90 * 14.5} = 0.96 < 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

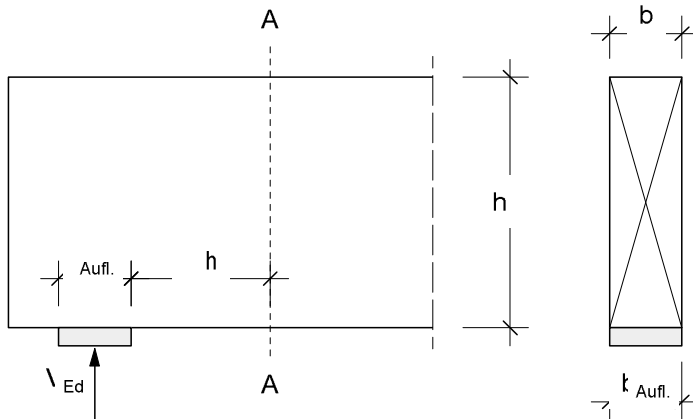
### Festigkeitsnachweis (SIA 265 Formel 22)

$$\text{Ausnutzung: } \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{\eta_w * f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{\eta_w * k_h * f_{m,d}} = 0.91 < 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Tragsicherheit Querkraft:

Schubnachweis im Schnitt A-A gemäss SIA 265\_4.2.7.2



Auflagerfläche:

$$\begin{aligned} \text{Auflagerlänge } l_{\text{Aufl}} &= 120 \text{ mm} \\ \text{Auflagerbreite } b_{\text{Aufl}} &= 120 \text{ mm} \\ \text{Auflagerfläche } A_{\text{Aufl}} &= l_{\text{Aufl}} * b_{\text{Aufl}} = 14400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Maximale Querkraft } V_{\text{Ed}} = \frac{q'_{\text{Ed}} * l}{2 * 1000} = \frac{12.45 * 4500}{2 * 1000} = 28.01 \text{ kN}$$

Massgebende Querkraft im Schnitt A-A:

$$V_{\text{A-A},d} = V_{\text{Ed}} * \left( \frac{l_{\text{Aufl}} / 1000}{2} + h / 1000 \right) * q'_{\text{Ed}} = 23.28 \text{ kN}$$

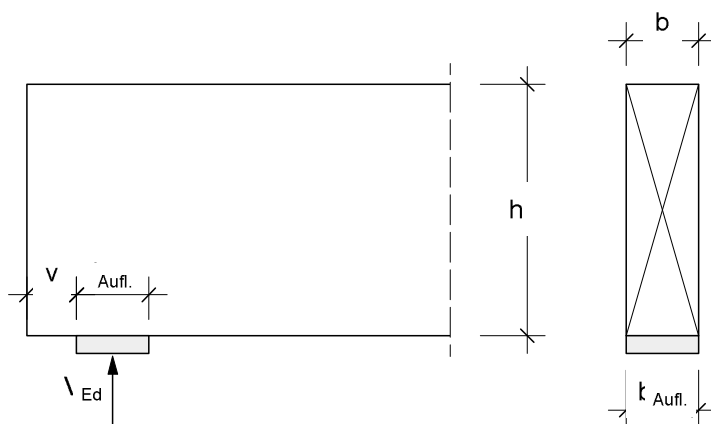
$$\text{Schubspannung } \tau_d = 1.5 * \frac{V_{\text{Ed}} * 1000}{b * h} = 1.5 * \frac{28.01 * 1000}{120 * 320} = 1.09 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\tau_d}{\eta_w * f_{v,d}} = \frac{1.09}{1.0 * 1.8} = 0.61 < 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Tragsicherheit Querdruck:

Nach dem alternativen Verfahren SIA 265 Anhang C



Vorholz  $v =$  100 mm

Wirksame Länge in Faserrichtung:

$$l_{ef} = l_{Aufl} + \text{MIN}(30; v; l_{Aufl}) + \text{MIN}(30; l_{Aufl}) = 180 \text{ mm}$$

Wirksame Querdruckfläche:

$$A_{ef} = b_{Aufl} * l_{ef} = 21600 \text{ mm}^2$$

Querdruckbeiwert (**grössere Eindrückungen**):

$$k_{c,90} = \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; 1.75; 1.5) = 1.75$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit  $\perp$  zur Faserrichtung nach Anhang C

$$f_{c,90,d} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holzfc90"}; fc90d; \text{FK}=\text{FK}) = 1.70 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Druchwiderstand } F_{c,90,Rd} = A_{ef} * k_{c,90} * \eta_w * f_{c,90,d} / 1000 = 64.26 \text{ kN}$$

$$\text{Auflagerreaktion } F_{c,90,d} = V_{Ed} = 28.01 \text{ kN}$$

**Ausnutzung:**  $\frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{28.01}{64.26} = 0.44 < 1$

Nachweis:  $\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) =$  **Nachweis erfüllt**

Mit Querdruckbeiwert  $k_{c,90} = 1.0$  (**Ohne Eindrückungen**):

$$\text{Druchwiderstand } F_{c,90,Rd} = A_{ef} * f_{c,90,d} / 1000 = 36.72 \text{ kN}$$

**Ausnutzung:**  $\frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{28.01}{36.72} = 0.76 < 1$

Nachweis:  $\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) =$  **Nachweis erfüllt**

Wenn nicht erfüllt  $\Rightarrow$  Querdruckverstärkung erforderlich!



### Durchbiegung im Grenzzustand Aussehen

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Aussehen, reversible Folgen eines **quasi-ständigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + quasi-ständige Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,ständig}} = g'_k + \psi_2 * q'_k = 2.00 + 0.30 * 6.50 = 3.95 \text{ kN/m}$$

$$\text{Trägheitsmoment } I_y = \frac{b * h^3}{12} = \frac{120 * 320^3}{12} = 327.680 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Durchbiegung in Feldmitte:

$$W_{\text{Ed}} = \left( \frac{5 * q'_{\text{Ed,ständig}} * l^4}{384 * E_m * I_y} + \frac{q'_{\text{Ed,ständig}} * l^2}{8 * G * A_{\text{red}}} \right) * (1 + \varphi) = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Bruchteil der Spannweite} = l / W_{\text{Ed}} = 450$$

Richtwert für den Grenzzustand Aussehen nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l}{300} = \frac{4500}{300} = 15 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{10}{15} = 0.67 \leq 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit mit duktilem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, reversible Folgen eines **häufigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + häufige Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,häufig}} = g'_k + \psi_1 * q'_k = 2.00 + 0.50 * 6.50 = 5.25 \text{ kN/m}$$

$$\text{Einwirkungen in der Verformungsberechnung } F = q'_{\text{Ed,häufig}} = 5.25 \text{ kN/m}$$

$$\text{kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen } F_\varphi = q'_{\text{Ed,ständig}} = 3.95 \text{ kN/m}$$

Durchbiegung in Feldmitte:

$$W_{\text{Ed}} = \left( \frac{5 * q'_{\text{Ed,häufig}} * l^4}{384 * E_m * I_y} + \frac{q'_{\text{Ed,häufig}} * l^2}{8 * G * A_{\text{red}}} \right) * \left( 1 + \varphi * \frac{F_\varphi}{F} \right) = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Bruchteil der Spannweite} = l / W_{\text{Ed}} = 375$$

Richtwert für den Grenzzustand Funktionstüchtigkeit nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l}{350} = \frac{4500}{350} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{12}{13} = 0.92 \leq 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**



## Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, Einbauten mit spödem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, irreversible Folgen eines **seltenen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + seltene Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,selten}} = g'_k + q'_k = 2.00 + 6.50 = 8.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{Einwirkungen in der Verformungsberechnung } F = q'_{\text{Ed,selten}} = 8.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen } F_\varphi = q'_{\text{Ed,standig}} = 3.95 \text{ kN/m}$$

Durchbiegung in Feldmitte:

$$W_{\text{Ed}} = \left( \frac{5 \cdot q'_{\text{Ed,selten}} \cdot l^4}{384 \cdot E_m \cdot I_y} + \frac{q'_{\text{Ed,selten}} \cdot l^2}{8 \cdot G \cdot A_{\text{red}}} \right) \cdot \left( 1 + \varphi \cdot \frac{F_\varphi}{F} \right) = 18 \text{ mm}$$

$$\text{Bruchteil der Spannweite} = l / W_{\text{Ed}} = 250$$

Richtwert für den Grenzzustand Funktionstüchtigkeit nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l}{500} = \frac{4500}{500} = 9 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{18}{9} = 2.00 \leq 1$$

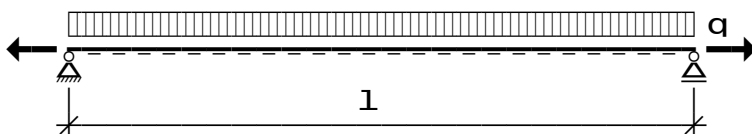
Nachweis: WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis nicht erfüllt !**

Bemerkung: Falls Durchbiegung **nach** dem Einbau der relevanten nicht tragenden Bauteile massgebend

⇒ Abzug Durchbiegung infolge  $g_k$  (SIA 260\_Tab. 3 Fussnote 2)



### Einfeldträger mit Zug



#### Eingaben

Spannweite  $l =$  4500 mm  
 Knicklänge  $l_k =$  4500 mm  
 Kipphalterungsabstand  $a =$  4500 mm

Feuchteklasse KL: GEW("SIA265/FK"; F; ) = 1  
 Faktor  $\eta_w$ : TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL) = 1,0  
 Faktor  $\eta_t$ : GEW("SIA265/EA"; FAK; ) = 1,0

#### Träger

Breite  $b =$  120 mm  
 Höhe  $h =$  320 mm  
 QS Fläche  $A =$   $b \cdot h =$  38400 mm<sup>2</sup>  
 QS Fläche  $A_{red} =$   $\frac{5}{6} \cdot A =$  32000 mm<sup>2</sup>

Baustoff BS: GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Brettschichtholz  
 Festigkeitsklasse FK: GEW("SIA265/Holz"; FK; B=BS) = GL24h  
 Rohdichte  $\rho_k =$  TAB("SIA265/Holz";  $\rho_k$ ; FK=FK) = 380 kg/m<sup>3</sup>  
 Festigkeit  $f_{m,d} =$  TAB("SIA265/Holz"; fmd; FK=FK) = 16.0 N/mm<sup>2</sup>  
 Festigkeit  $f_{m,k} =$  TAB("SIA265/Holz"; fmk; FK=FK) = 24.0 N/mm<sup>2</sup>  
 Festigkeit  $f_{t,0,d} =$  TAB("SIA265/Holz"; ft0d; FK=FK) = 12.0 N/mm<sup>2</sup>  
 Festigkeit  $f_{v,d} =$  TAB("SIA265/Holz"; fvd; FK=FK) = 1.8 N/mm<sup>2</sup>  
 E-Modul  $E_m =$  TAB("SIA265/Holz"; E0mean; FK=FK) = 11000 N/mm<sup>2</sup>  
 E-Modul  $E_{0,05} =$  TAB("SIA265/Holz"; E005; FK=FK) = 9400 N/mm<sup>2</sup>  
 Schubmodul  $G =$  TAB("SIA265/Holz"; Gmean; FK=FK) = 500 N/mm<sup>2</sup>  
 Kriechzahl  $\varphi =$  TAB("SIA265/KriechZ"; Kz; GR=BS; FK=KL) = 0.60

#### Einwirkungen (Massgebende Lastkombination Tragsicherheit):

$F_{Ed} =$  25.00 kN

#### Ständige Einwirkungen (aus Belastungsannahme)

$g'_k =$  2.00 kN/m

#### Veränderliche Leiteinwirkung

Einwirkung Kat: GEW("SIA260/NutzL"; BSP; ) = **Kat. A1: Wohnräume**

$q'_k =$  6.50 kN/m

Reduktionsbeiwerte gemäss SIA 260 tabelle 2:

**Mereshöhe  $h_M =$  612 m**

$\psi_0 =$  TAB("SIA260/Red";  $\psi_0$ ; BSP=Kat;  $h=h_M$ ) = 0.70

$\psi_1 =$  TAB("SIA260/Red";  $\psi_1$ ; BSP=Kat;  $h=h_M$ ) = 0.50

$\psi_2 =$  TAB("SIA260/Red";  $\psi_2$ ; BSP=Kat;  $h=h_M$ ) = 0.30



### Grenzzustand Tragsicherheit Typ 2

$$\text{Lastbeiwert } \gamma_G = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_G; S=\text{"ungünstig"}) = 1.35$$

$$\text{Lastbeiwert } \gamma_Q = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_Q; S=\text{"allgemein"}) = 1.50$$

$$q'_{Ed} = \gamma_G * g'_k + \gamma_Q * q'_k = 12.45 \text{ kN/m}$$

### Tragsicherheit Biegung + Zug:

$$\text{max. Biegemoment } M_{y,Ed} = \frac{q'_{Ed} * (l/10^3)^2}{8} = \frac{12.45 * (4500/10^3)^2}{8} = 31.51 \text{ kNm}$$

$$\text{Widerstandsmoment } W_y = \frac{b * h^2}{6} = \frac{120 * 320^2}{6} = 2048000 \text{ mm}^3$$

$$\text{Biegerandspannung } \sigma_{m,d} = \frac{M_{y,Ed} * 10^6}{W_y} = \frac{31.51 * 10^6}{2048000} = 15.39 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} = \frac{F_{Ed} * 1000}{A} = \frac{25.00 * 1000}{38400} = 0.65 \text{ N/mm}^2$$

Kippbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.9.2):

$$\lambda_{rel,m} = 1.15 * \frac{\sqrt{a * h}}{b} * \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 0.58$$

$$\text{Kippbeiwert } k_m = \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 * \lambda_{rel,m}; 1 / \lambda_{rel,m}^2)) = 1.00$$

$$\text{Höhenbeiwert } k_h = \text{MIN}(1.1; \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"; } (\frac{600}{h})^{0.1}; 1)) = 1.06$$

### Stabilitätsnachweis um starke Achse (SIA 265 Formel 37)

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{m,d}}{\eta_w * k_m * k_h * f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{\eta_w * f_{t,0,d}} = \frac{15.39}{1.0 * 1.00 * 1.06 * 16.0} + \frac{0.65}{1.0 * 12.0} = 0.96 < 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

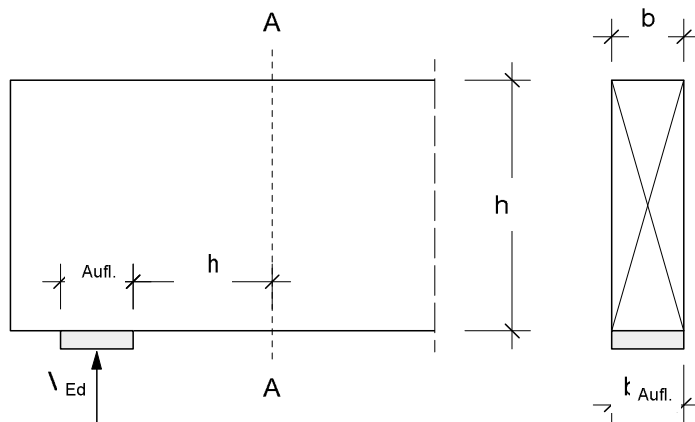
### Festigkeitsnachweis (SIA 265 Formel 22)

$$\text{Ausnutzung: } \left( \frac{\sigma_{t,0,d}}{\eta_w * f_{t,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{\eta_w * k_h * f_{m,d}} = 0.91 < 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Tragsicherheit Querkraft:

Schubnachweis im Schnitt A-A gemäss SIA 265\_4.2.7.2



Auflagerfläche:

$$\begin{aligned} \text{Auflagerlänge } l_{\text{Aufl}} &= 120 \text{ mm} \\ \text{Auflagerbreite } b_{\text{Aufl}} &= 120 \text{ mm} \\ \text{Auflagerfläche } A_{\text{Aufl}} &= l_{\text{Aufl}} \cdot b_{\text{Aufl}} = 14400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Maximale Querkraft } V_{\text{Ed}} = \frac{q'_{\text{Ed}} \cdot l}{2 \cdot 1000} = \frac{12.45 \cdot 4500}{2 \cdot 1000} = 28.01 \text{ kN}$$

Massgebende Querkraft im Schnitt A-A:

$$V_{\text{A-A,d}} = V_{\text{Ed}} \cdot \left( \frac{l_{\text{Aufl}} / 1000}{2} + h / 1000 \right) \cdot q'_{\text{Ed}} = 23.28 \text{ kN}$$

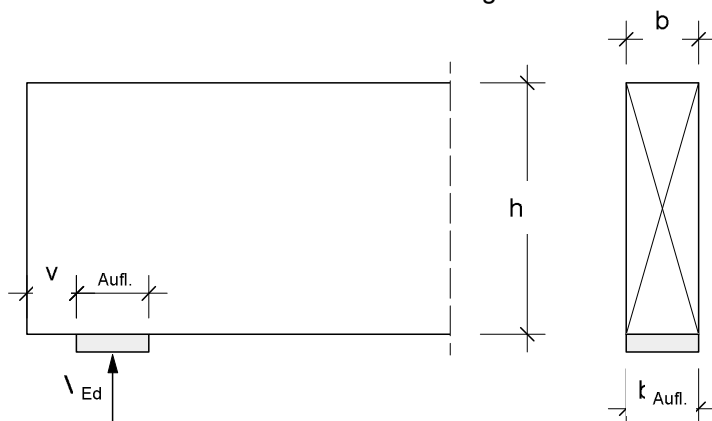
$$\text{Schubspannung } \tau_d = 1.5 \cdot \frac{V_{\text{Ed}} \cdot 1000}{b \cdot h} = 1.5 \cdot \frac{28.01 \cdot 1000}{120 \cdot 320} = 1.09 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\tau_d}{\eta_w \cdot f_{v,d}} = \frac{1.09}{1.0 \cdot 1.8} = 0.61 < 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Tragsicherheit Querdruck:

Nach dem alternativen Verfahren SIA 265 Anhang C



Vorholz  $v =$  100 mm

Wirksame Länge in Faserrichtung:

$$l_{ef} = l_{Aufl} + \text{MIN}(30; v; l_{Aufl}) + \text{MIN}(30; l_{Aufl}) = 180 \text{ mm}$$

Wirksame Querdruckfläche:

$$A_{ef} = b_{Aufl} \cdot l_{ef} = 21600 \text{ mm}^2$$

Querdruckbeiwert (**grössere Eindrückungen**):

$$k_{c,90} = \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; 1.75; 1.5) = 1.75$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit  $\perp$  zur Faserrichtung nach Anhang C

$$f_{c,90,d} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holzfc90"}; fc90d; FK=FK) = 1,70 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Druchwiderstand } F_{c,90,Rd} = A_{ef} \cdot k_{c,90} \cdot \eta_w \cdot f_{c,90,d} / 1000 = 64.26 \text{ kN}$$

$$\text{Auflagerreaktion } F_{c,90,d} = V_{Ed} = 28.01 \text{ kN}$$

**Ausnutzung:**  $\frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{28.01}{64.26} = 0.44 < 1$

Nachweis:  $\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) =$  **Nachweis erfüllt**

Mit Querdruckbeiwert  $k_{c,90} = 1.0$  (**Ohne Eindrückungen**):

$$\text{Druchwiderstand } F_{c,90,Rd} = A_{ef} \cdot f_{c,90,d} / 1000 = 36.72 \text{ kN}$$

**Ausnutzung:**  $\frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{28.01}{36.72} = 0.76 < 1$

Nachweis:  $\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) =$  **Nachweis erfüllt**

Wenn nicht erfüllt  $\Rightarrow$  Querdruckverstärkung erforderlich!



## Durchbiegung im Grenzzustand Aussehen

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Aussehen, reversible Folgen eines **quasi-ständigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + quasi-ständige Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,ständig}} = g'_k + \psi_2 * q'_k = 2.00 + 0.30 * 6.50 = 3.95 \text{ kN/m}$$

$$\text{Trägheitsmoment } I_y = \frac{b * h^3}{12} = \frac{120 * 320^3}{12} = 327.680 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Durchbiegung in Feldmitte:

$$W_{\text{Ed}} = \left( \frac{5 * q'_{\text{Ed,ständig}} * l^4}{384 * E_m * I_y} + \frac{q'_{\text{Ed,ständig}} * l^2}{8 * G * A_{\text{red}}} \right) * (1 + \varphi) = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Bruchteil der Spannweite} = l / W_{\text{Ed}} = 450$$

Richtwert für den Grenzzustand Aussehen nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l}{300} = \frac{4500}{300} = 15 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{10}{15} = 0.67 \leq 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

## Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit mit duktilem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, reversible Folgen eines **häufigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + häufige Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,häufig}} = g'_k + \psi_1 * q'_k = 2.00 + 0.50 * 6.50 = 5.25 \text{ kN/m}$$

$$\text{Einwirkungen in der Verformungsberechnung } F = q'_{\text{Ed,häufig}} = 5.25 \text{ kN/m}$$

$$\text{kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen } F_\varphi = q'_{\text{Ed,ständig}} = 3.95 \text{ kN/m}$$

Durchbiegung in Feldmitte:

$$W_{\text{Ed}} = \left( \frac{5 * q'_{\text{Ed,häufig}} * l^4}{384 * E_m * I_y} + \frac{q'_{\text{Ed,häufig}} * l^2}{8 * G * A_{\text{red}}} \right) * \left( 1 + \varphi * \frac{F_\varphi}{F} \right) = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Bruchteil der Spannweite} = l / W_{\text{Ed}} = 375$$

Richtwert für den Grenzzustand Funktionstüchtigkeit nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l}{350} = \frac{4500}{350} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{12}{13} = 0.92 \leq 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**



## Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, Einbauten mit spödem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, irreversible Folgen eines **seltenen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + seltene Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,selten}} = g'_k + q'_k = 2.00 + 6.50 = 8.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{Einwirkungen in der Verformungsberechnung } F = q'_{\text{Ed,selten}} = 8.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen } F_\varphi = q'_{\text{Ed,ständig}} = 3.95 \text{ kN/m}$$

Durchbiegung in Feldmitte:

$$W_{\text{Ed}} = \left( \frac{5 \cdot q'_{\text{Ed,selten}} \cdot l^4}{384 \cdot E_m \cdot I_y} + \frac{q'_{\text{Ed,selten}} \cdot l^2}{8 \cdot G \cdot A_{\text{red}}} \right) \cdot \left( 1 + \varphi \cdot \frac{F_\varphi}{F} \right) = 18 \text{ mm}$$

$$\text{Bruchteil der Spannweite} = l / W_{\text{Ed}} = 250$$

Richtwert für den Grenzzustand Funktionstüchtigkeit nach SIA 260 Tabelle 3

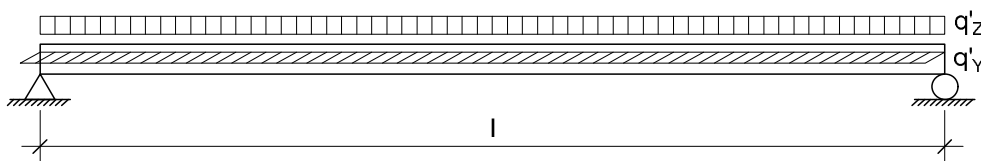
$$W_{\text{Cd}} = \frac{l}{500} = \frac{4500}{500} = 9 \text{ mm}$$

**Ausnutzung:**  $\frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{18}{9} = 2.00 \leq 1$

Nachweis: WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis nicht erfüllt !**

Bemerkung: Falls Durchbiegung **nach** dem Einbau der relevanten nicht tragenden Bauteile massgebend  
 $\Rightarrow$  Abzug Durchbiegung infolge  $g_k$  (SIA 260\_Tab. 3 Fussnote 2)

### Einfeldträger schiefe Biegung



#### System

Spannweite $l =$	5000 mm
Kipphalterungsabstand $a =$	5000 mm
Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; ) = 1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL) = 1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; ) = 1.0

#### Träger

Breite $b =$	160 mm
Höhe $h =$	480 mm
QS Fläche $A =$	$b \cdot h = 76800 \text{ mm}^2$
QS Fläche $A_{\text{red}} =$	$\frac{5}{6} \cdot A = 64000 \text{ mm}^2$
Baustoff BS:	GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Brettschichtholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=BS) = GL24h
Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; ) = 1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL) = 1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; ) = 1.0
Rohdichte $\rho_k =$	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK) = 380 kg/m <sup>3</sup>
Biegefestigkeit $f_{m,d} =$	TAB("SIA265/Holz"; $f_{m,d}$ ; FK=FK) = 16.0 N/mm <sup>2</sup>
Biegefestigkeit $f_{m,k} =$	TAB("SIA265/Holz"; $f_{m,k}$ ; FK=FK) = 24.0 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{v,d} =$	TAB("SIA265/Holz"; $f_{v,d}$ ; FK=FK) = 1.8 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul $E_m =$	TAB("SIA265/Holz"; $E_{0\text{mean}}$ ; FK=FK) = 11000 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul $E_{0,05} =$	TAB("SIA265/Holz"; $E_{005}$ ; FK=FK) = 9400 N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul $G =$	TAB("SIA265/Holz"; $G_{\text{mean}}$ ; FK=FK) = 500 N/mm <sup>2</sup>
Kriechzahl $\varphi =$	TAB("SIA265/KriechZ"; $K_z$ ; GR=BS; FK=KL) = 0.60

#### Einwirkungen (aus Belastungsannahme)

##### Ständige Einwirkungen

Eigengewicht + Auflast

$$g'_{y,k} = 1.50 \text{ kN/m}$$

$$g'_{z,k} = 2.00 \text{ kN/m}$$

##### Veränderliche Leiteinwirkung

Einwirkung Kat: GEW("SIA260/NutzL"; BSP; ) = **Schnee**

$$q'_{y,k} = 2.00 \text{ kN/m}$$

$$q'_{z,k} = 5.00 \text{ kN/m}$$



### Grenzzustand Tragsicherheit Typ 2

Massgebende Bemessungssituation:

-Eigenlast + Auflast + Nutzlast (SIA 260 Formel 16)

Lastbeiwerte gemäss SIA 260 Tabelle 1

$$\text{Lastbeiwert } \gamma_G = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_G; S=\text{"ungünstig"}) = 1.35$$

$$\text{Lastbeiwert } \gamma_Q = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_Q; S=\text{"allgemein"}) = 1.50$$

Bemessungswert der Einwirkung:

In y-Richtung:

$$q'_{y,Ed} = \gamma_G * g'_{y,k} + \gamma_Q * q'_{y,k} = 5.03 \text{ kN/m}$$

In z-Richtung:

$$q'_{z,Ed} = \gamma_G * g'_{z,k} + \gamma_Q * q'_{z,k} = 10.20 \text{ kN/m}$$

**Tragsicherheit Biegemoment:**

$$M_{y,Ed} = \frac{q'_{z,Ed} * (l/10^3)^2}{8} = \frac{10.20 * (5000/10^3)^2}{8} = 31.88 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = \frac{q'_{y,Ed} * (l/10^3)^2}{8} = \frac{5.03 * (5000/10^3)^2}{8} = 15.72 \text{ kNm}$$

$$W_y = \frac{b * h^2}{6} = \frac{160 * 480^2}{6} = 6144000 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{b^2 * h}{6} = \frac{160^2 * 480}{6} = 2048000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed} * 10^6}{W_y} = \frac{31.88 * 10^6}{6144000} = 5.19 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,Ed} * 10^6}{W_z} = \frac{15.72 * 10^6}{2048000} = 7.68 \text{ N/mm}^2$$

Kippbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.9.3):

$$\lambda_{rel,m} = 1.15 * \frac{\sqrt{a * h}}{b} * \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 0.56$$

$$\text{Kippbeiwert } k_m = \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 * \lambda_{rel,m}; 1/\lambda_{rel,m}^2)) = 1.00$$

$$\text{Höhenbeiwert } k_{h,y} = \text{MIN}(1.1; \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; \left(\frac{600}{h}\right)^{0.1}; 1)) = 1.02$$

$$\text{Höhenbeiwert } k_{h,z} = \text{MIN}(1.1; \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; \left(\frac{600}{b}\right)^{0.1}; 1)) = 1.10$$

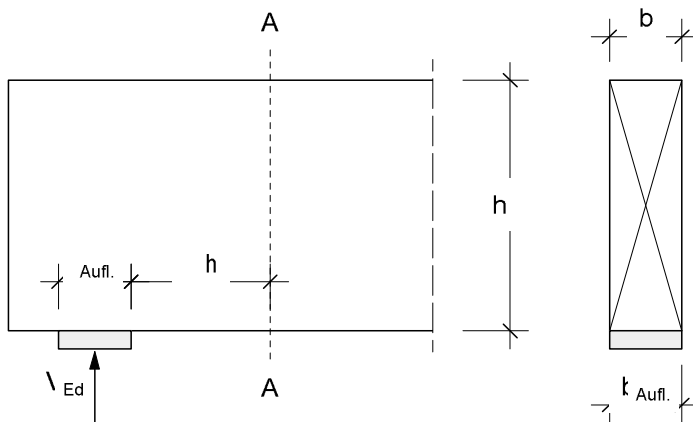
$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{m,y,d}}{\eta_w * k_m * k_{h,y} * f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{\eta_w * k_{h,z} * f_{m,d}} = \frac{5.19}{1.0 * 1.00 * 1.02 * 16.0} + \frac{7.68}{1.0 * 1.10 * 16.0} = 0.75 < 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**



### Tragsicherheit Querkraft:

Schubnachweis im Schnitt A-A gemäss SIA 265\_4.2.7.2



Auflagerfläche:

$$\begin{aligned} \text{Auflagerlänge } l_{\text{Aufl}} &= 120 \text{ mm} \\ \text{Auflagerbreite } b_{\text{Aufl}} &= 120 \text{ mm} \\ \text{Auflagerfläche } A_{\text{Aufl}} &= l_{\text{Aufl}} \cdot b_{\text{Aufl}} = 14400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Maximale Querkraft } V_{y,\text{Ed}} = \frac{q'_{y,\text{Ed}} \cdot l}{2 \cdot 1000} = \frac{5.03 \cdot 5000}{2 \cdot 1000} = 12.57 \text{ kN}$$

$$\text{Maximale Querkraft } V_{z,\text{Ed}} = \frac{q'_{z,\text{Ed}} \cdot l}{2 \cdot 1000} = \frac{10.20 \cdot 5000}{2 \cdot 1000} = 25.50 \text{ kN}$$

Massgebende Querkraft im Schnitt A-A:

$$V_{\text{A-A},y,d} = V_{y,\text{Ed}} - \left( \frac{l_{\text{Aufl}} / 1000}{2} + h / 1000 \right) \cdot q'_{y,\text{Ed}} = 9.85 \text{ kN}$$

$$V_{\text{A-A},z,d} = V_{z,\text{Ed}} - \left( \frac{l_{\text{Aufl}} / 1000}{2} + h / 1000 \right) \cdot q'_{z,\text{Ed}} = 19.99 \text{ kN}$$

$$\text{Schubspannung } \tau_{y,d} = 1.5 \cdot \frac{V_{y,\text{Ed}} \cdot 1000}{b \cdot h} = 1.5 \cdot \frac{12.57 \cdot 1000}{160 \cdot 480} = 0.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Schubspannung } \tau_{z,d} = 1.5 \cdot \frac{V_{z,\text{Ed}} \cdot 1000}{b \cdot h} = 1.5 \cdot \frac{25.50 \cdot 1000}{160 \cdot 480} = 0.50 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resultierende } \tau_d = \sqrt{\tau_{y,d}^2 + \tau_{z,d}^2} = 0.56 \text{ N/mm}^2$$

**Ausnutzung:**  $\frac{\tau_d}{\eta_w \cdot f_{v,d}} = \frac{0.56}{1.0 \cdot 1.8} = 0.31 < 1$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**



## Durchbiegung im Grenzzustand Aussehen

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Aussehen, reversible Folgen eines **quasi-ständigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + quasi-ständige Leiteinwirkung

Reduktionsbeiwerte gemäss SIA 260 tabelle 2

**Mereshöhe  $h_M =$  612 m**

$$\psi_0 = \text{TAB}(\text{"SIA260/Red"}; \psi_0; \text{BSP=Kat}; h=h_M) = 0.90$$

$$\psi_1 = \text{TAB}(\text{"SIA260/Red"}; \psi_1; \text{BSP=Kat}; h=h_M) = 0.59$$

$$\psi_2 = \text{TAB}(\text{"SIA260/Red"}; \psi_2; \text{BSP=Kat}; h=h_M) = 0.00$$

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{y,Ed,ständig} = g'_{y,k} + \psi_2 * q'_{y,k} = 1.50 + 0.00 * 2.00 = 1.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{z,Ed,ständig} = g'_{z,k} + \psi_2 * q'_{z,k} = 2.00 + 0.00 * 5.00 = 2.00 \text{ kN/m}$$

$$\text{Trägheitsmoment } I_y = \frac{b * h^3}{12} = \frac{160 * 480^3}{12} = 1474.560 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\text{Trägheitsmoment } I_z = \frac{b^3 * h}{12} = \frac{160^3 * 480}{12} = 163.840 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Durchbiegung in Feldmitte:

$$W_{y,Ed} = \left( \frac{5 * q'_{y,Ed,ständig} * l^4}{384 * E_m * I_z} + \frac{q'_{y,Ed,ständig} * l^2}{8 * G * A_{red}} \right) * (1 + \varphi) = 11 \text{ mm}$$

$$W_{z,Ed} = \left( \frac{5 * q'_{z,Ed,ständig} * l^4}{384 * E_m * I_y} + \frac{q'_{z,Ed,ständig} * l^2}{8 * G * A_{red}} \right) * (1 + \varphi) = 2 \text{ mm}$$

$$W_{Ed} = \sqrt{W_{y,Ed}^2 + W_{z,Ed}^2} = \sqrt{11^2 + 2^2} = 11 \text{ mm}$$

$$\text{Bruchteil der Spannweite} = l / W_{Ed} = 455$$

Richtwert für den Grenzzustand Aussehen nach SIA 260 Tabelle 3

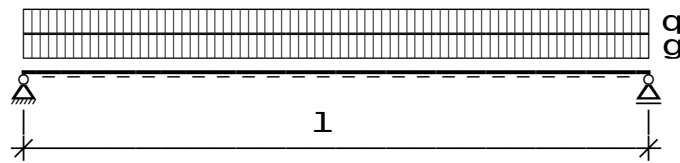
$$W_{Cd} = \frac{l}{300} = \frac{5000}{300} = 17 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{Ed}}{W_{Cd}} = \frac{11}{17} = 0.65 \leq 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung<1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

Da eine zweiachsige Biegung meistens im Dachbereich vorkommt, wird nur der Grenzzustand Aussehen berücksichtigt.

### Einfeldträger aus Kerto-Q



#### Eingaben

Spannweite  $l =$  6000 mm  
 Kipphalterungsabstand  $a =$  6000 mm  
 Lasteinzugslänge  $a_{\text{Last}} =$  4000 mm

Klasse der Lasteinwirkungsdauer (Tabelle 15 SIA 265/1)

KLED = GEW("SIA265/kmod"; K; ) = kurz  
 Feuchteklasse KL: GEW("SIA265/FK"; F; ) = 1

#### Träger

Breite  $b =$  120 mm  
 Höhe  $h =$  480 mm  
 QS Fläche  $A = b \cdot h = 57600 \text{ mm}^2$   
 QS Fläche  $A_{\text{red}} = \frac{5}{6} \cdot A = 48000 \text{ mm}^2$

Mat. Gruppe Gr: GEW("SIA265/Kerto"; GR; ) = Furnierschichtholz  
 Baustoff BS: GEW("SIA265/Kerto"; B; ) = Kerto-Q 69  
 Dicke  $d$ : TAB("SIA265/Kerto"; D; B=BS) = 69.0 mm  
 Aufbau: TAB("SIA265/Kerto"; AUF; B=BS) = 2-4-3-3-4-2  
 Festigkeit  $f_{m,k} =$  TAB("SIA265/Kerto"; fm0k; B=BS) = 36.0 N/mm<sup>2</sup>  
 Festigkeit  $f_{c,90,k} =$  TAB("SIA265/Kerto"; fc90k; B=BS) = 9.0 N/mm<sup>2</sup>  
 Schubfestigkeit  $f_{v,k} =$  TAB("SIA265/Kerto"; fvk; B=BS) = 4.80 N/mm<sup>2</sup>  
 E-Modul  $E_m =$  TAB("SIA265/Kerto"; E0mean; B=BS) = 10500 N/mm<sup>2</sup>  
 E-Modul  $E_{0,05} =$  TAB("SIA265/Kerto"; E005; B=BS) = 8500 N/mm<sup>2</sup>  
 Schubmodul  $G =$  TAB("SIA265/Kerto"; Gmean; B=BS) = 500 N/mm<sup>2</sup>

nach Zulassung resp. DIN 1052:

Beiwert  $\gamma_M =$  TAB("SIA265/GammaM"; gammaM; B=Gr) = 1.3  
 Beiwert  $\eta_{\text{mod}} =$  TAB("SIA265/kmod"; k; B=Gr; N=KL; K=KLED) = 0.90  
 Kriechzahl  $\varphi =$  TAB("SIA265/KriechZ"; Kz; GR=Gr; FK=KL) = 0.60

#### Einwirkungen (massgebende Lastkombination Tragsicherheit)

##### **Ständige Einwirkungen (aus Belastungsannahme)**

Eigengewicht + Auflast

$g'_k =$  1.50 kN/m

##### **Veränderliche Leiteinwirkung**

Einwirkung Kat: GEW("SIA260/NutzL"; BSP; ) = **Kat. A1: Wohnräume**

$q'_k =$  8.00 kN/m



Reduktionsbeiwerte gemäss SIA 260 tabelle 2:

**Mereshöhe  $h_M = 612$  m**

$\psi_0 = \text{TAB}(\text{"SIA260/Red"}; \psi_0; \text{BSP}=\text{Kat}; h=h_M) = 0.70$

$\psi_1 = \text{TAB}(\text{"SIA260/Red"}; \psi_1; \text{BSP}=\text{Kat}; h=h_M) = 0.50$

$\psi_2 = \text{TAB}(\text{"SIA260/Red"}; \psi_2; \text{BSP}=\text{Kat}; h=h_M) = 0.30$

### Grenzzustand Tragsicherheit Typ 2

Massgebende Bemessungssituation:

-Eigenlast + Auflast + Nutzlast (SIA 260 Formel 16)

Lastbeiwerte gemäss SIA 260 Tabelle 1

Lastbeiwert  $\gamma_G = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"}; \gamma_G; S=\text{"ungünstig"}) = 1.35$

Lastbeiwert  $\gamma_Q = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"}; \gamma_Q; S=\text{"allgemein"}) = 1.50$

Bemessungswert der Einwirkung:

$q'_{Ed} = \gamma_G * g'_k + \gamma_Q * q'_k = 14.03 \text{ kN/m}$

### Tragsicherheit Biegemoment:

max. Biegemoment  $M_{y,Ed} = \frac{q'_{Ed} * (l/10^3)^2}{8} = \frac{14.03 * (6000/10^3)^2}{8} = 63.13 \text{ kNm}$

Widerstandsmoment  $W_y = \frac{b * h^2}{6} = \frac{120 * 480^2}{6} = 4608000 \text{ mm}^3$

Biegerandspannung  $\sigma_{m,d} = \frac{M_{y,Ed} * 10^6}{W_y} = \frac{63.13 * 10^6}{4608000} = 13.70 \text{ N/mm}^2$

Kippbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.9.3):

$\lambda_{rel,m} = 1.15 * \frac{\sqrt{a * h}}{b} * \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 1.06$

Kippbeiwert  $k_m = \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 * \lambda_{rel,m}; 1 / \lambda_{rel,m}^2)) = 0.77$

Höhenbeiwert  $k_h = \text{WENN}(h \geq 300; (\frac{300}{h})^{0.12}; 1) = 0.95$

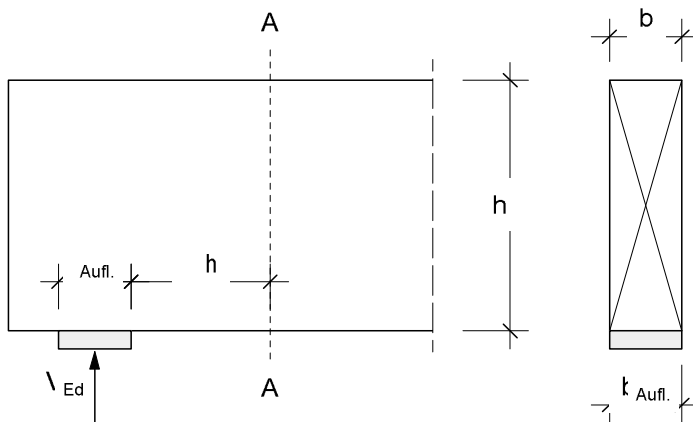
Beigefestigkeit  $f_{m,d} = \frac{\eta_{mod} * f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0.90 * 36.0}{1.3} = 24.92 \text{ N/mm}^2$

Ausnutzung:  $\frac{\sigma_{m,d}}{k_m * k_h * f_{m,d}} = \frac{13.70}{0.77 * 0.95 * 24.92} = 0.75 \leq 1$

Nachweis:  $\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$

### Tragsicherheit Querkraft:

Schubnachweis im Schnitt A-A gemäss SIA 265\_4.2.7.2



Auflagerfläche:

$$\begin{aligned}
 \text{Auflagerlänge } l_{\text{Aufl}} &= 120 \text{ mm} \\
 \text{Auflagerbreite } b_{\text{Aufl}} &= 120 \text{ mm} \\
 \text{Auflagerfläche } A_{\text{Aufl}} &= l_{\text{Aufl}} \cdot b_{\text{Aufl}} = 14400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Maximale Querkraft } V_{\text{Ed}} = \frac{q'_{\text{Ed}} \cdot l}{2 \cdot 1000} = \frac{14.03 \cdot 6000}{2 \cdot 1000} = 42.09 \text{ kN}$$

Massgebende Querkraft im Schnitt A-A:

$$V_{\text{A-A,d}} = V_{\text{Ed}} \cdot \left( \frac{l_{\text{Aufl}} / 1000}{2} + h / 1000 \right) \cdot q'_{\text{Ed}} = 34.51 \text{ kN}$$

$$\text{Schubspannung } \tau_d = 1.5 \cdot \frac{V_{\text{Ed}} \cdot 1000}{b \cdot h} = 1.5 \cdot \frac{42.09 \cdot 1000}{120 \cdot 480} = 1.10 \text{ N/mm}^2$$

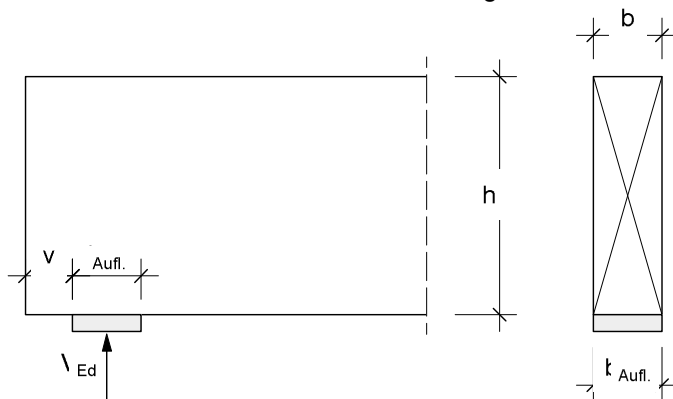
$$\text{Schubfestigkeit } f_{\text{v,d}} = \frac{\eta_{\text{mod}} \cdot f_{\text{v,k}}}{\gamma_{\text{M}}} = \frac{0.90 \cdot 4.80}{1.3} = 3.32 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\tau_d}{f_{\text{v,d}}} = \frac{1.10}{3.32} = 0.33 \leq 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Tragsicherheit Querdruck:

Nach dem alternativen Verfahren SIA 265 Anhang C



Vorholz $v =$		0 mm
Wirksame Länge in Faserrichtung:		
$l_{ef} =$	$l_{Aufl} + \text{MIN}(30; v; l_{Aufl}) + \text{MIN}(30; l_{Aufl})$	= 150 mm
Wirksame Querdruckfläche:		
$A_{ef} =$	$b_{Aufl} * l_{ef}$	= 18000 mm <sup>2</sup>
Querdruckbeiwert:		
$k_{c,90} =$	WENN(BS="Brettschichtholz"; 1.75; 1.5)	= 1.50
Druckwiderstand $F_{c,90,Rd} =$	$A_{ef} * k_{c,90} * \eta_{mod} * f_{c,90,k} / 1000$	= 218.70 kN
Auflagerreaktion $F_{c,90,d} =$	$V_{Ed}$	= 42.09 kN
<b>Ausnutzung:</b>	$\frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{42.09}{218.70}$	= <b>0.19 &lt; 1</b>

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Durchbiegung im Grenzzustand Aussehen

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Aussehen, reversible Folgen eines **quasi-ständigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + quasi-ständige Nutzlast

massgebende Einwirkung $q'_{Ed,ständig} =$	$g'_k + \psi_2 * q'_k = 1.50 + 0.30 * 8.00$	= 3.90 kN/m
Trägheitsmoment $I_y =$	$\frac{b * h^3}{12} = \frac{120 * 480^3}{12}$	= 1105.920 * 10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>
Durchbiegung in Feldmitte:		
$W_{Ed} =$	$\left( \frac{5 * q'_{Ed,ständig} * l^4}{384 * E_m * I_y} + \frac{q'_{Ed,ständig} * l^2}{8 * G * A_{red}} \right) * (1 + \varphi)$	= 10 mm
Bruchteil der Spannweite = $l / W_{Ed}$		= <b>600</b>
Richtwert für den Grenzzustand Aussehen nach SIA 260 Tabelle 3		
$W_{Cd} =$	$\frac{l}{300} = \frac{6000}{300}$	= 20 mm
<b>Ausnutzung:</b>	$\frac{W_{Ed}}{W_{Cd}} = \frac{10}{20}$	= <b>0.50 ≤ 1</b>

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**



## Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit mit duktilem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, reversible Folgen eines **häufigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + häufige Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,häufig}} = g'_k + \psi_1 * q'_k = 1.50 + 0.50 * 8.00 = 5.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{Einwirkungen in der Verformungsberechnung } F = q'_{\text{Ed,häufig}} = 5.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen } F_\varphi = q'_{\text{Ed,ständig}} = 3.90 \text{ kN/m}$$

Durchbiegung in Feldmitte:

$$W_{\text{Ed}} = \left( \frac{5 * q'_{\text{Ed,häufig}} * l^4}{384 * E_m * I_y} + \frac{q'_{\text{Ed,häufig}} * l^2}{8 * G * A_{\text{red}}} \right) * \left( 1 + \varphi * \frac{F_\varphi}{F} \right) = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Bruchteil der Spannweite} = l / W_{\text{Ed}} = 462$$

Richtwert für den Grenzzustand Funktionstüchtigkeit nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l}{350} = \frac{6000}{350} = 17 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{13}{17} = 0.76 \leq 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

## Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, Einbauten mit spödem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, irreversible Folgen eines **seltene**n Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + seltene Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,selten}} = g'_k + q'_k = 1.50 + 8.00 = 9.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{Einwirkungen in der Verformungsberechnung } F = q'_{\text{Ed,selten}} = 9.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen } F_\varphi = q'_{\text{Ed,ständig}} = 3.90 \text{ kN/m}$$

Durchbiegung in Feldmitte:

$$W_{\text{Ed}} = \left( \frac{5 * q'_{\text{Ed,selten}} * l^4}{384 * E_m * I_y} + \frac{q'_{\text{Ed,selten}} * l^2}{8 * G * A_{\text{red}}} \right) * \left( 1 + \varphi * \frac{F_\varphi}{F} \right) = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Bruchteil der Spannweite} = l / W_{\text{Ed}} = 316$$

Richtwert für den Grenzzustand Funktionstüchtigkeit nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l}{500} = \frac{6000}{500} = 12 \text{ mm}$$

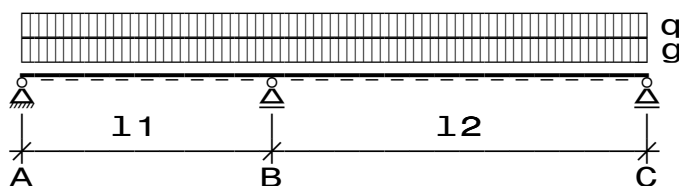
$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{19}{12} = 1.58 \leq 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis nicht erfüllt !**

Bemerkung: Falls Durchbiegung **nach** dem Einbau der relevanten nicht tragenden Bauteile massgebend  
⇒ Abzug Durchbiegung infolge  $g_k$  (SIA 260\_Tab. 3 Fussnote 2)



### Zweifeldträger



### Eingaben

Spannweite l1 =	4000 mm
Spannweite l2 =	6000 mm
Verhältnis Felder VF =	$l2/l1 = 1.5 \text{ mm} \leq 2.5$
Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; ) = 1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL) = 1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; ) = 1.0

### Träger

Breite b =	120 mm
Höhe h =	480 mm
QS Fläche A =	$b \cdot h = 57600 \text{ mm}^2$
QS Fläche $A_{red}$ =	$\frac{5}{6} \cdot A = 48000 \text{ mm}^2$

Baustoff BS:	GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Brettschichtholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=BS) = GL24h
Rohdichte $\rho_k$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK) = 380 kg/m <sup>3</sup>
Biegefestigkeit $f_{m,d}$ =	TAB("SIA265/Holz"; fmd; FK=FK) = 16.0 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{m,k}$ =	TAB("SIA265/Holz"; fmk; FK=FK) = 24.0 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{v,d}$ =	TAB("SIA265/Holz"; fvd; FK=FK) = 1.8 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul $E_m$ =	TAB("SIA265/Holz"; E0mean; FK=FK) = 11000 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul $E_{0,05}$ =	TAB("SIA265/Holz"; E005; FK=FK) = 9400 N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul G =	TAB("SIA265/Holz"; Gmean; FK=FK) = 500 N/mm <sup>2</sup>
Kriechzahl $\varphi$ =	TAB("SIA265/KriechZ"; Kz; GR=BS; FK=KL) = 0.60

### Einwirkungen (massgebende Lastkombination Tragsicherheit)

#### Ständige Einwirkungen (aus Belastungsannahme)

Eigengewicht + Auflast

$$g'_k = 1.50 \text{ kN/m}$$

#### Veränderliche Leiteinwirkung

Einwirkung Kat: GEW("SIA260/NutzL"; BSP; ) = **Kat. A1: Wohnräume**

$$q'_k = 8.00 \text{ kN/m}$$

Reduktionsbeiwerte gemäss SIA 260 tabelle 2:

$$\text{Mereshöhe } h_M = 612 \text{ m}$$

$$\psi_0 = \text{TAB("SIA260/Red"; } \psi_0; \text{ BSP=Kat; } h=h_M) = 0.70$$

$$\psi_1 = \text{TAB("SIA260/Red"; } \psi_1; \text{ BSP=Kat; } h=h_M) = 0.50$$

$$\psi_2 = \text{TAB("SIA260/Red"; } \psi_2; \text{ BSP=Kat; } h=h_M) = 0.30$$





### Grenzzustand Tragsicherheit Typ 2

Massgebende Bemessungssituation:

-Eigenlast + Auflast + Nutzlast (SIA 260 Formel 16)

Lastbeiwerte gemäss SIA 260 Tabelle 1

$$\text{Lastbeiwert } \gamma_G = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_G; S=\text{"ungünstig"}) = 1.35$$

$$\text{Lastbeiwert } \gamma_Q = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_Q; S=\text{"allgemein"}) = 1.50$$

Bemessungswert der Einwirkung:

$$q'_{Ed} = \gamma_G * g'_k + \gamma_Q * q'_k = \mathbf{14.03 \text{ kN/m}}$$

### **Tragsicherheit Biegemoment:**

Schnittgrössen aus Schneider Bautabellen (4.17)

mittleres Auflager:

$$M_b = q'_{Ed} * (l_1 / 1000)^2 * \text{TAB}(\text{"Statik/2Feld"; } M_b; L_2/L_1=VF) = -49.16 \text{ kNm}$$

$$V_{bl} = q'_{Ed} * (l_1 / 1000) * \text{TAB}(\text{"Statik/2Feld"; } V_{bl}; L_2/L_1=VF) = -40.35 \text{ kN}$$

$$V_{br} = q'_{Ed} * (l_1 / 1000) * \text{TAB}(\text{"Statik/2Feld"; } V_{br}; L_2/L_1=VF) = 50.28 \text{ kN}$$

grösste Feldmoment im jeweiligen Feld:

$$M_1 = q'_{Ed} * (l_1 / 1000)^2 * \text{TAB}(\text{"Statik/2Feld"; } M_1; L_2/L_1=VF) = 8.98 \text{ kNm}$$

$$M_2 = q'_{Ed} * (l_1 / 1000)^2 * \text{TAB}(\text{"Statik/2Feld"; } M_2; L_2/L_1=VF) = 41.08 \text{ kNm}$$

Auflagerreaktionen:

$$A_z = q'_{Ed} * (l_1 / 1000) * \text{TAB}(\text{"Statik/2Feld"; } A; L_2/L_1=VF) = 15.77 \text{ kN}$$

$$B_z = \text{ABS}(V_{bl}) + \text{ABS}(V_{br}) = 90.63 \text{ kN}$$

$$C_z = q'_{Ed} * (l_1 / 1000) * \text{TAB}(\text{"Statik/2Feld"; } C; L_2/L_1=VF) = 33.90 \text{ kN}$$

$$\text{max. Biegemoment } M_{y,Ed} = M_b = -49.16 \text{ kNm}$$

$$\text{Widerstandsmoment } W_y = \frac{b * h^2}{6} = \frac{120 * 480^2}{6} = 4608000 \text{ mm}^3$$

$$\text{Biegerandspannung } \sigma_{m,d} = \text{ABS}\left(\frac{M_{y,Ed} * 10^6}{W_y}\right) = \mathbf{10.67 \text{ N/mm}^2}$$

Kippbeiwertermittlung:

Beiwert zur Ermittlung der Ersatzstablänge (F. Colling, Holzbau, Grundlagen Bemessungshilfen)

$$\text{Beiwert } k_1 = \frac{1}{1.3 * \left(1 - 1.6 * \frac{h}{2 * l_2} * \sqrt{\frac{3 * E_m}{12 * G}}\right)} = 0.91$$

Da Durchlaufwirkung nur auf einer Seite:

$$\text{Beiwert } k_{l,ef} = (1 + k_1) / 2 = 0.95$$

$$\lambda_{rel,m} = 1.15 * \frac{\sqrt{k_{l,ef} * l_2 * h}}{b} * \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 0.80$$

$$\text{Kippbeiwert } k_m = \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 * \lambda_{rel,m}; 1 / \lambda_{rel,m}^2)) = \mathbf{0.96}$$

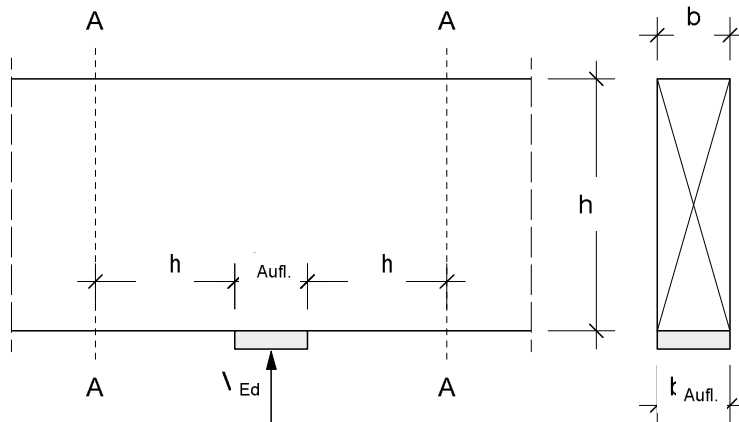
$$\text{Höhenbeiwert } k_h = \text{MIN}(1.1; \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"; } \left(\frac{600}{h}\right)^{0.1}; 1)) = 1.02$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{m,d}}{\eta_w * \eta_t * k_m * k_h * f_{m,d}} = \frac{10.67}{1.0 * 1.0 * 0.96 * 1.02 * 16.0} = \mathbf{0.68 < 1}$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Tragsicherheit Querkraft (mittleres Auflager):

Schubnachweis im Schnitt A-A gemäss SIA 265\_4.2.7.2



Auflagerfläche:

$$\begin{aligned}
 \text{Auflagerlänge } l_{\text{Aufl}} &= 120 \text{ mm} \\
 \text{Auflagerbreite } b_{\text{Aufl}} &= 120 \text{ mm} \\
 \text{Auflagerfläche } A_{\text{Aufl}} &= l_{\text{Aufl}} \cdot b_{\text{Aufl}} = 14400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Maximale Querkraft } V_{\text{Ed}} = \text{MAX}(\text{ABS}(V_{\text{bl}}); \text{ABS}(V_{\text{br}})) = 50.28 \text{ kN}$$

Massgebende Querkraft im Schnitt A-A:

$$V_{\text{A-A,d}} = V_{\text{Ed}} - \left( \frac{l_{\text{Aufl}}}{2} + h \right) / 1000 \cdot q'_{\text{Ed}} = 42.70 \text{ kN}$$

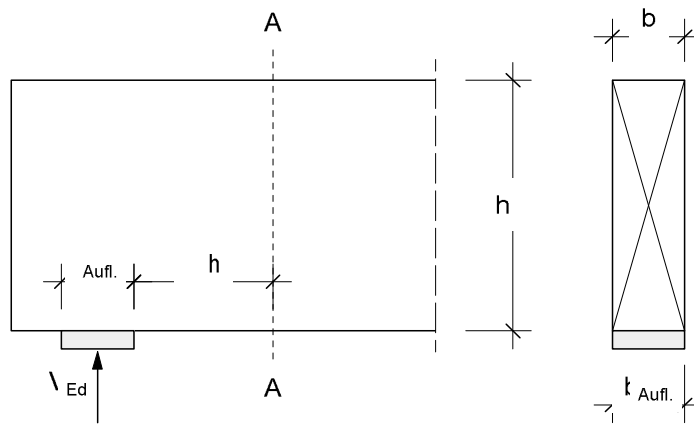
$$\text{Schubspannung } \tau_{\text{d}} = 1.5 \cdot \frac{V_{\text{Ed}} \cdot 1000}{b \cdot h} = 1.5 \cdot \frac{50.28 \cdot 1000}{120 \cdot 480} = 1.31 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\tau_{\text{d}}}{\eta_{\text{w}} \cdot \eta_{\text{t}} \cdot f_{\text{v,d}}} = \frac{1.31}{1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.8} = 0.73 < 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Tragsicherheit Querkraft (Endauflager):

Schubnachweis im Schnitt A-A gemäss SIA 265\_4.2.7.2



Auflagerfläche:

$$\begin{aligned}
 \text{Auflagerlänge } l_{\text{Aufl}} &= 120 \text{ mm} \\
 \text{Auflagerbreite } b_{\text{Aufl}} &= 120 \text{ mm} \\
 \text{Auflagerfläche } A_{\text{Aufl}} &= l_{\text{Aufl}} \cdot b_{\text{Aufl}} = 14400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Maximale Querkraft } V_{\text{Ed}} = C_z = 33.90 \text{ kN}$$

Massgebende Querkraft im Schnitt A-A:

$$V_{\text{A-A,d}} = V_{\text{Ed}} \cdot \left( \frac{l_{\text{Aufl}}}{2} + h \right) / 1000 \cdot q'_{\text{Ed}} = 26.32 \text{ kN}$$

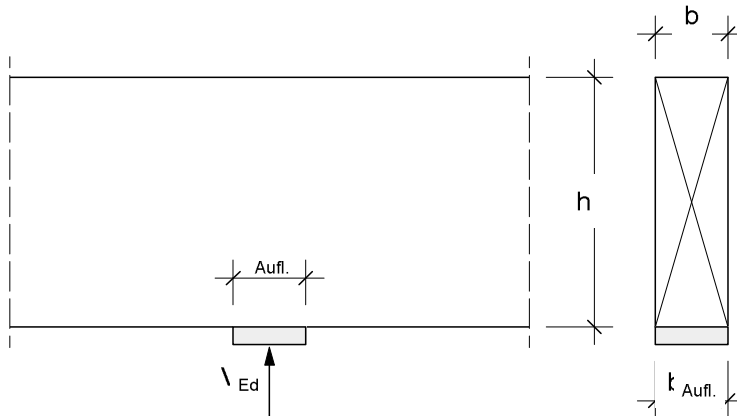
$$\text{Schubspannung } \tau_d = 1.5 \cdot \frac{V_{\text{Ed}} \cdot 1000}{b \cdot h} = 1.5 \cdot \frac{33.90 \cdot 1000}{120 \cdot 480} = 0.88 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\tau_d}{\eta_w \cdot \eta_t \cdot f_{v,d}} = \frac{0.88}{1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.8} = 0.49 < 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Tragsicherheit Querdruk (mittleres Auflager):

Nach dem alternativen Verfahren SIA 265 Anhang C



Wirksame Länge in Faserrichtung:

$$l_{ef} = l_{Aufl} + 2 * \text{MIN}(30; l_{Aufl}) = 180 \text{ mm}$$

Wirksame Querdrukfläche:

$$A_{ef} = b_{Aufl} * l_{ef} = 21600 \text{ mm}^2$$

Querdrukbeiwert (**grössere Eindrückungen**):

$$k_{c,90} = \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; 1.75; 1.5) = 1.75$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit  $\perp$  zur Faserrichtung nach Anhang C

$$f_{c,90,d} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holzfc90"}; fc90d; FK=FK) = 1.70 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Druckwiderstand } F_{c,90,Rd} = A_{ef} * k_{c,90} * \eta_w * \eta_t * f_{c,90,d} / 1000 = 64.26 \text{ kN}$$

$$\text{Auflagerreaktion } F_{c,90,d} = B_z = 90.63 \text{ kN}$$

**Ausnutzung:** 
$$\frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{90.63}{64.26} = 1.41 < 1$$

Nachweis:  $\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis nicht erfüllt !}$

Mit Querdrukbeiwert  $k_{c,90} = 1.0$  (**Ohne Eindrückungen**):

$$\text{Druckwiderstand } F_{c,90,Rd} = A_{ef} * f_{c,90,d} / 1000 = 36.72 \text{ kN}$$

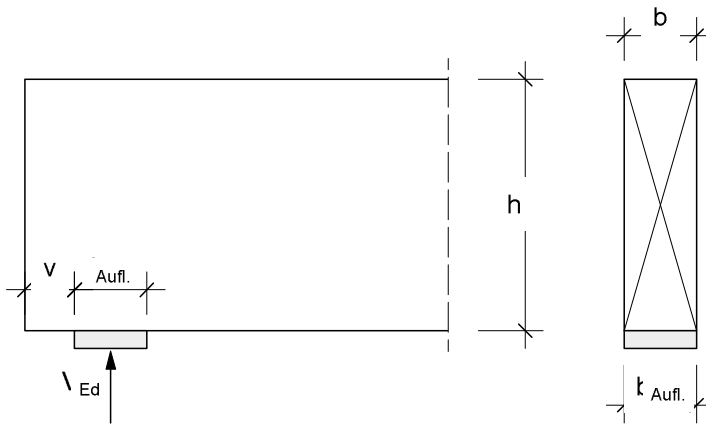
**Ausnutzung:** 
$$\frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{90.63}{36.72} = 2.47 < 1$$

Nachweis:  $\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis nicht erfüllt !}$

Wenn nicht erfüllt  $\Rightarrow$  Querdrukverstärkung erforderlich!

### Tragsicherheit Querdruck (Endauflager):

Nach dem alternativen Verfahren SIA 265 Anhang C



Vorholz  $v =$  0 mm

Wirksame Länge in Faserrichtung:

$$l_{ef} = l_{Aufl} + \text{MIN}(30; v; l_{Aufl}) + \text{MIN}(30; l_{Aufl}) = 150 \text{ mm}$$

Wirksame Querdruckfläche:

$$A_{ef} = b_{Aufl} * l_{ef} = 18000 \text{ mm}^2$$

Querdruckbeiwert (**grössere Eindrückungen**):

$$k_{c,90} = \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; 1.75; 1.5) = 1.75$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit  $\perp$  zur Faserrichtung nach Anhang C

$$f_{c,90,d} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holzfc90"}; fc90d; \text{FK}=\text{FK}) = 1,70 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Druchwiderstand } F_{c,90,Rd} = A_{ef} * k_{c,90} * \eta_w * \eta_t * f_{c,90,d} / 1000 = 53.55 \text{ kN}$$

$$\text{Auflagerreaktion } F_{c,90,d} = C_z = 33.90 \text{ kN}$$

**Ausnutzung:**  $\frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{33.90}{53.55} = 0.63 < 1$

Nachweis:  $\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt"}) =$  **Nachweis erfüllt**

Mit Querdruckbeiwert  $k_{c,90} = 1.0$  (**Ohne Eindrückungen**):

$$\text{Druckwiderstand } F_{c,90,Rd} = A_{ef} * f_{c,90,d} / 1000 = 30.60 \text{ kN}$$

**Ausnutzung:**  $\frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{33.90}{30.60} = 1.11 < 1$

Nachweis:  $\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt"}) =$  **Nachweis nicht erfüllt !**

Wenn nicht erfüllt  $\Rightarrow$  Querdruckverstärkung erforderlich!



## Durchbiegung im Grenzzustand Aussehen

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Aussehen, reversible Folgen eines **quasi-ständigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + quasi-ständige Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,ständig}} = g'_k + \psi_2 * q'_k = 1.50 + 0.30 * 8.00 = 3.90 \text{ kN/m}$$

$$\text{Trägheitsmoment } I_y = \frac{b * h^3}{12} = \frac{120 * 480^3}{12} = 1105.920 * 10^6 \text{ mm}^4$$

### Durchbiegung in Feldmitte Feld 1 (Colling 5.4):

$$M_0 = \frac{q'_{\text{Ed}} * (l_1 / 1000)^2}{8} = \frac{14.03 * (4000 / 1000)^2}{8} = 28.06 \text{ kNm}$$

$$k_{\text{DLT}} = 1 + 0.6 * \frac{M_b}{M_0} = 1 + 0.6 * \frac{-49.16}{28.06} = -0.05$$

$$W_{\text{Ed}} = k_{\text{DLT}} * \left( \frac{5 * q'_{\text{Ed,ständig}} * l_1^4}{384 * E_m * I_y} + \frac{q'_{\text{Ed,ständig}} * l_1^2}{8 * G * A_{\text{red}}} \right) * (1 + \varphi) = -0 \text{ mm}$$

Richtwert für den Grenzzustand Aussehen nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l_1}{300} = \frac{4000}{300} = 13 \text{ mm}$$

**Ausnutzung:**  $\frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{-0}{13} = 0.00 \leq 1$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Durchbiegung in Feldmitte Feld 2:

$$M_0 = \frac{q'_{\text{Ed}} * (l_2 / 1000)^2}{8} = \frac{14.03 * (6000 / 1000)^2}{8} = 63.13 \text{ kNm}$$

$$k_{\text{DLT}} = 1 + 0.6 * \frac{M_b}{M_0} = 1 + 0.6 * \frac{-49.16}{63.13} = 0.53$$

$$W_{\text{Ed}} = k_{\text{DLT}} * \left( \frac{5 * q'_{\text{Ed,ständig}} * l_2^4}{384 * E_m * I_y} + \frac{q'_{\text{Ed,ständig}} * l_2^2}{8 * G * A_{\text{red}}} \right) * (1 + \varphi) = 5 \text{ mm}$$

Richtwert für den Grenzzustand Aussehen nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l_2}{300} = \frac{6000}{300} = 20 \text{ mm}$$

**Ausnutzung:**  $\frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{5}{20} = 0.25 \leq 1$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**



## Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit mit duktilem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, reversible Folgen eines **häufigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + häufige Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,häufig}} = g'_k + \psi_1 * q'_k = 1.50 + 0.50 * 8.00 = 5.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{Einwirkungen in der Verformungsberechnung } F = q'_{\text{Ed,häufig}} = 5.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen } F_\varphi = q'_{\text{Ed,ständig}} = 3.90 \text{ kN/m}$$

### Durchbiegung in Feldmitte Feld 1:

$$M_0 = \frac{q'_{\text{Ed}} * (l_1 / 1000)^2}{8} = \frac{14.03 * (4000 / 1000)^2}{8} = 28.06 \text{ kNm}$$

$$k_{\text{DLT}} = 1 + 0.6 * \frac{M_b}{M_0} = 1 + 0.6 * \frac{-49.16}{28.06} = -0.05$$

$$W_{\text{Ed}} = k_{\text{DLT}} * \left( \frac{5 * q'_{\text{Ed,häufig}} * l_1^4}{384 * E_m * I_y} + \frac{q'_{\text{Ed,häufig}} * l_1^2}{8 * G * A_{\text{red}}} \right) * \left( 1 + \varphi * \frac{F_\varphi}{F} \right) = -0 \text{ mm}$$

Richtwert für den Grenzzustand Aussehen nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l_1}{300} = \frac{4000}{300} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{-0}{13} = 0.00 \leq 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Durchbiegung in Feldmitte Feld 2:

$$M_0 = \frac{q'_{\text{Ed}} * (l_2 / 1000)^2}{8} = \frac{14.03 * (6000 / 1000)^2}{8} = 63.13 \text{ kNm}$$

$$k_{\text{DLT}} = 1 + 0.6 * \frac{M_b}{M_0} = 1 + 0.6 * \frac{-49.16}{63.13} = 0.53$$

$$W_{\text{Ed}} = k_{\text{DLT}} * \left( \frac{5 * q'_{\text{Ed,häufig}} * l_2^4}{384 * E_m * I_y} + \frac{q'_{\text{Ed,häufig}} * l_2^2}{8 * G * A_{\text{red}}} \right) * \left( 1 + \varphi * \frac{F_\varphi}{F} \right) = 7 \text{ mm}$$

Richtwert für den Grenzzustand Aussehen nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l_2}{300} = \frac{6000}{300} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{7}{20} = 0.35 \leq 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**



## Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, Einbauten mit spödem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, irreversible Folgen eines **seltenen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + seltene Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,selten}} = g'_k + q'_k = 1.50 + 8.00 = 9.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{Einwirkungen in der Verformungsberechnung } F = q'_{\text{Ed,selten}} = 9.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen } F_\varphi = q'_{\text{Ed,ständig}} = 3.90 \text{ kN/m}$$

### **Durchbiegung in Feldmitte Feld 1:**

$$M_0 = \frac{q'_{\text{Ed}} \cdot (l_1 / 1000)^2}{8} = \frac{14.03 \cdot (4000 / 1000)^2}{8} = 28.06 \text{ kNm}$$

$$k_{\text{DLT}} = 1 + 0.6 \cdot \frac{M_b}{M_0} = 1 + 0.6 \cdot \frac{-49.16}{28.06} = -0.05$$

$$W_{\text{Ed}} = k_{\text{DLT}} \cdot \left( \frac{5 \cdot q'_{\text{Ed,selten}} \cdot l_1^4}{384 \cdot E_m \cdot I_y} + \frac{q'_{\text{Ed,selten}} \cdot l_1^2}{8 \cdot G \cdot A_{\text{red}}} \right) \cdot \left( 1 + \varphi \cdot \frac{F_\varphi}{F} \right) = -0 \text{ mm}$$

Richtwert für den Grenzzustand Aussehen nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l_1}{300} = \frac{4000}{300} = 13 \text{ mm}$$

**Ausnutzung:**  $\frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{-0}{13} = 0.00 \leq 1$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### **Durchbiegung in Feldmitte Feld 2:**

$$M_0 = \frac{q'_{\text{Ed}} \cdot (l_2 / 1000)^2}{8} = \frac{14.03 \cdot (6000 / 1000)^2}{8} = 63.13 \text{ kNm}$$

$$k_{\text{DLT}} = 1 + 0.6 \cdot \frac{M_b}{M_0} = 1 + 0.6 \cdot \frac{-49.16}{63.13} = 0.53$$

$$W_{\text{Ed}} = k_{\text{DLT}} \cdot \left( \frac{5 \cdot q'_{\text{Ed,selten}} \cdot l_2^4}{384 \cdot E_m \cdot I_y} + \frac{q'_{\text{Ed,selten}} \cdot l_2^2}{8 \cdot G \cdot A_{\text{red}}} \right) \cdot \left( 1 + \varphi \cdot \frac{F_\varphi}{F} \right) = 10 \text{ mm}$$

Richtwert für den Grenzzustand Aussehen nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l_2}{300} = \frac{6000}{300} = 20 \text{ mm}$$

**Ausnutzung:**  $\frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{10}{20} = 0.50 \leq 1$

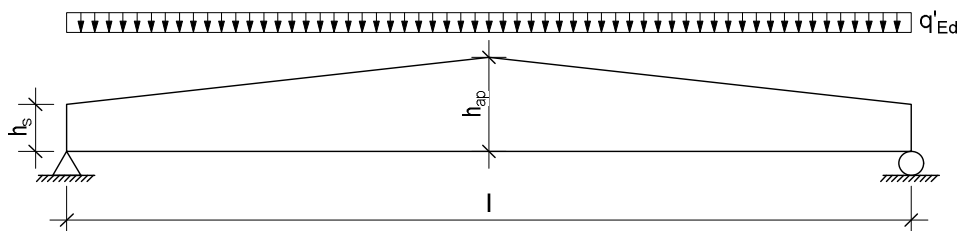
Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

**Bemerkung:** Falls Durchbiegung **nach** dem Einbau der relevanten nicht tragenden Bauteile massgebend

⇒ Abzug Durchbiegung infolge  $g_k$  (SIA 260\_Tab. 3 Fussnote 2)



### Satteldachträger mit geradem Untergurt



#### Eingaben:

Stützweite $l =$	18.00 m
Kipphalterungsabstand $a =$	3.00 m
Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; ) = 1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL) = 1,0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; ) = 1,0

#### Träger:

Trägerhöhe $h_s =$	800 mm
Trägerhöhe $h_{ap} =$	1450 mm
Trägerbreite $b =$	140 mm
Baustoff BS:	GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Brettschichtholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=BS) = GL24h
Festigkeit $f_{m,d} =$	TAB("SIA265/Holz"; fmd; FK=FK) = 16.0 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{m,k} =$	TAB("SIA265/Holz"; fmk; FK=FK) = 24.0 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{c,90,d} =$	TAB("SIA265/Holz"; fc90d; FK=FK) = 1.9 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{t,90,d} =$	TAB("SIA265/Holz"; ft90d; FK=FK) = 0.15 N/mm <sup>2</sup>
Schubfestigkeit $f_{v,d} =$	TAB("SIA265/Holz"; fvd; FK=FK) = 1.80 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul $E_m =$	TAB("SIA265/Holz"; E0mean; FK=FK) = 11000 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul $E_{0,05} =$	TAB("SIA265/Holz"; E005; FK=FK) = 9400 N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul $G =$	TAB("SIA265/Holz"; Gmean; FK=FK) = 500 N/mm <sup>2</sup>
Kriechzahl $\varphi =$	TAB("SIA265/KriechZ"; Kz; GR=BS; FK=KL) = 0.60

#### Einwirkungen:

##### Ständige Einwirkungen

$$g'_k = 4.00 \text{ kN/m}$$

##### Veränderliche Leiteinwirkung

$$\text{Kat} = \text{GEW}(\text{"SIA260/Red"; EW; }) = \text{Schnee}$$

$$q'_k = 5.00 \text{ kN/m}^2$$

#### Grenzzustand Tragsicherheit Typ 2

Massgebende Bemessungssituation:

-Eigenlast + Auflast + Schneelast

Lastbeiwerte gemäss SIA 260 Tabelle 1

$$\gamma_G = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_G; S=\text{"ungünstig"}) = 1.35$$

$$\gamma_Q = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_Q; S=\text{"allgemein"}) = 1.50$$

Bemessungswert der Einwirkung:

$$q'_{Ed} = \gamma_G * g'_k + \gamma_Q * q'_k = 12.90 \text{ kN/m}$$



### Berechnung: Gemäss Dokumentation SIA D 0185, Kapitel Bauteile ab S. 91

Stelle x mit der maximalen Biegebeanspruchung (5.6):

$$x = \frac{l \cdot h_s}{2 \cdot h_{ap}} = 4.97 \text{ m}$$

Biegemoment an der Stelle x:

$$M_{x,d} = \frac{q'_{Ed} \cdot x}{2} \cdot (l - x) = 417.70 \text{ kNm}$$

Biegemoment im First:

$$M_{ap,d} = \frac{q'_{Ed} \cdot l^2}{8} = 522.45 \text{ kNm}$$

Neigungswinkel Trägeroberkante:  $\alpha \leq 10^\circ$

$$\tan \alpha = \frac{h_{ap} - h_s}{0.5 \cdot l \cdot 1000} = 0.0722$$

$$\alpha = \text{ATAN}(\tan \alpha) = 4.13^\circ$$

$$\alpha = \text{WENN}(\alpha \leq 10; \alpha; ) = 4.13^\circ$$

Faseranschnittwinkel ( $\beta \leq 10^\circ$ ):

$$\beta = \alpha = 4.13^\circ$$

Höhe des Trägers an der Stelle x: Colling Tab. 18.2

$$h_x = h_s \cdot (2 - h_s / h_{ap}) = 1159 \text{ mm}$$

Widerstandsmoment an der Stelle x:

$$W_x = \frac{b \cdot h_x^2}{6} = \frac{140 \cdot 1159^2}{6} = 31343223 \text{ mm}^3$$

Widerstandsmoment im First:

$$W_{ap} = \frac{b \cdot h_{ap}^2}{6} = \frac{140 \cdot 1450^2}{6} = 49058333 \text{ mm}^3$$

Kippbeiwertmittlung:

Vereinfacht wird der Kippnachweis **an Stelle x mit  $h_x$**  (grösste Spannung) und **am First mit  $h_{ap}$**  (grösste Trägerhöhe) geführt. Genaueres Verfahren siehe Colling 18.5

$$\lambda_{rel,x} = 1.15 \cdot \frac{\sqrt{a \cdot 10^3 \cdot h_x}}{b} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 0.77$$

$$\text{Kippbeiwert } k_{m,x} = \text{WENN}(\lambda_{rel,x} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,x} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,x}; 1/\lambda_{rel,x}^2)) = 0.98$$

$$\lambda_{rel,ap} = 1.15 \cdot \frac{\sqrt{a \cdot 10^3 \cdot h_{ap}}}{b} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 0.87$$

$$\text{Kippbeiwert } k_{m,ap} = \text{WENN}(\lambda_{rel,ap} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,ap} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,ap}; 1/\lambda_{rel,ap}^2)) = 0.91$$



**Tragsicherheit Biegemoment: Gemäss Dokumentation SIA D 0185, Kapitel Bauteile ab S. 91**

**An der Stelle x (massgebend Biegerandspannung):**

Spannung am nicht angeschnittenen Rand (Biegezug): (5.2)

$$\sigma_{m,0,d} = \left(1 + 4 \cdot (\tan(\alpha))^2\right) \cdot \frac{M_{x,d}}{W_x} \cdot 10^6 = 13.60 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{m,0,d}}{\eta_w \cdot k_{m,x} \cdot f_{m,d}} = \frac{13.60}{1.0 \cdot 0.98 \cdot 16.0} = 0.87 \leq 1$$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

Spannung am angeschnittenen Rand: (5.3)

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \left(1 - 4 \cdot (\tan(\alpha))^2\right) \cdot \frac{M_{x,d}}{W_x} \cdot 10^6 = 13.05 \text{ N/mm}^2$$

Biegefestigkeit am angeschnittenen Rand mit Druckspannungen

$$f_{m,\alpha,d} = \frac{f_{m,d}}{f_{m,d}/f_{c,90,d} \cdot (\sin(\alpha))^2 + (\cos(\alpha))^2} = 15.41 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \sigma_{m,\alpha,d} / (\eta_w \cdot f_{m,\alpha,d}) = 0.85 < 1$$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

**Im Firstbereich:**

Faktor  $k_f$ : (5.18)

$$\text{Faktor } k_f = 1 + 1.4 \cdot \tan(\alpha) + 5.4 \cdot (\tan(\alpha))^2 = 1.13$$

Die grösste Biegespannung tritt am Innenrand des Firstquerschnittes auf (Biegedruck): (5.8)

$$\sigma_{m,ap,0,d} = k_f \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} \cdot 10^6 = 12.03 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{m,ap,0,d}}{\eta_w \cdot k_{m,ap} \cdot f_{m,d}} = \frac{12.03}{1.0 \cdot 0.91 \cdot 16.0} = 0.83 \leq 1$$

Querzugspannungen im First: (5.10)

$$\sigma_{t,ap,90,d} = 0.2 \cdot \tan(\alpha) \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} \cdot 10^6 = 0.15 \text{ N/mm}^2$$

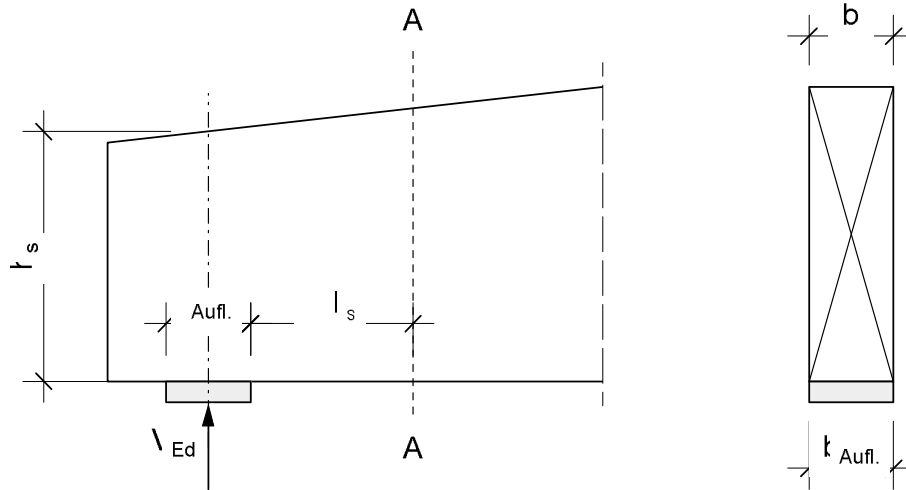
$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,ap,90,d}}{f_{t,90,d} \cdot \eta_w} = \frac{0.15}{0.15 \cdot 1.0} = 1.00 \leq 1$$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

**Bemerkung:** Wenn  $\sigma_{t,ap,90,d} > f_{t,90,d} \Rightarrow$  **Querzugverstärkung im First erforderlich!**

## Tragsicherheit Querkraft:

Schubnachweis gemäss SIA 265\_4.2.7.2 und DIN 1052\_10.2.9



Auflagerfläche:

$$\begin{aligned}
 \text{Auflagerlänge } l_{\text{Aufl}} &= 360 \text{ mm} \\
 \text{Auflagerbreite } b_{\text{Aufl}} &= 180 \text{ mm} \leq b \\
 \text{Auflagerfläche } A_{\text{Aufl}} &= l_{\text{Aufl}} \cdot b_{\text{Aufl}} = 64800 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Maximale Querkraft } V_{\text{Ed}} = \frac{q'_{\text{Ed}} \cdot l}{2} = \frac{12.90 \cdot 18.00}{2} = 116.10 \text{ kN}$$

Massgebende Querkraft im Schnitt A-A:

$$V_{\text{red,d}} = V_{\text{Ed}} - \left( \frac{l_{\text{Aufl}}}{2} + h_s \right) \cdot q'_{\text{Ed}} / 10^3 = 103.46 \text{ kN}$$

Der Schubnachweis wird mit reduzierter Querkraft und der **Trägerhöhe**  $h_s$  geführt (DIN 1052\_10.2.9)

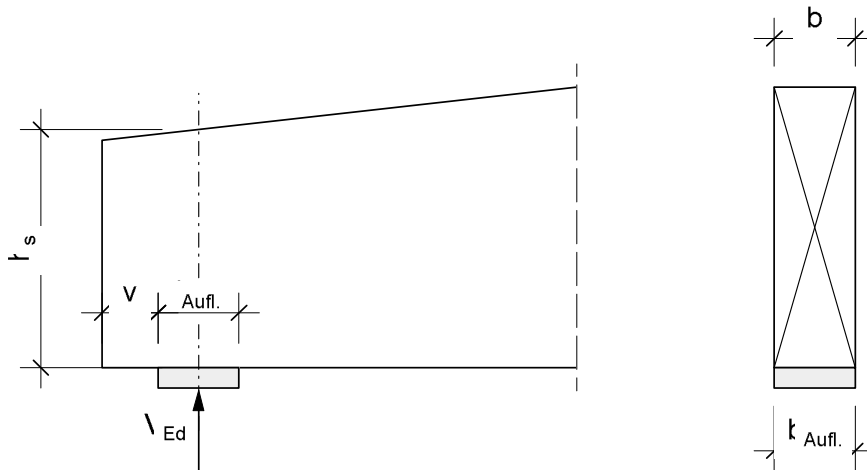
$$\text{Schubspannung } \tau_d = 1.5 \cdot \frac{V_{\text{red,d}} \cdot 1000}{b \cdot h_s} = 1.5 \cdot \frac{103.46 \cdot 1000}{140 \cdot 800} = 1.39 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\tau_d}{\eta_w \cdot f_{v,d}} = \frac{1.39}{1.0 \cdot 1.80} = 0.77 < 1$$

WENN(Ausnutzung  $\leq$  1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt") = **Nachweis erfüllt**

### Tragsicherheit Querdruck:

Nach dem alternativen Verfahren SIA 265 Anhang C



Vorholz  $v =$  100 mm

Wirksame Länge in Faserrichtung:

$$l_{ef} = l_{Aufl} + \text{MIN}(30; v; l_{Aufl}) + \text{MIN}(30; l_{Aufl}) = 420 \text{ mm}$$

Wirksame Querdruckfläche:

$$A_{ef} = b_{Aufl} \cdot l_{ef} = 75600 \text{ mm}^2$$

Querdruckbeiwert (**grössere Eindrückungen**):

$$k_{c,90} = \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; 1.75; 1.5) = 1.75$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit  $\perp$  zur Faserrichtung nach Anhang C

$$f_{c,90,d} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holzfc90"}; f_{c90d}; \text{FK}=\text{FK}) = 1,70 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Druckwiderstand } F_{c,90,Rd} = A_{ef} \cdot k_{c,90} \cdot \eta_w \cdot f_{c,90,d} / 1000 = 224.91 \text{ kN}$$

$$\text{Auflagerreaktion } F_{c,90,d} = V_{Ed} = 116.10 \text{ kN}$$

**Ausnutzung:**  $\frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{116.10}{224.91} = 0.52 < 1$

$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$

Mit Querdruckbeiwert  $k_{c,90} = 1.0$  (**Ohne Eindrückungen**):

$$\text{Druckwiderstand } F_{c,90,Rd} = A_{ef} \cdot f_{c,90,d} / 1000 = 128.52 \text{ kN}$$

**Ausnutzung:**  $\frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{116.10}{128.52} = 0.90 < 1$

$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$



## Durchbiegung im Grenzzustand Aussehen (nach colling 18.9, ohne Schubverformungen)

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Aussehen, reversible Folgen eines **quasi-ständigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + Schneelast

Reduktionsbeiwerte für Schnee gemäss SIA 260 tabelle 2

**Meereshöhe  $h_M = 550$  m**

$$\psi_1 = \text{TAB}(\text{"SIA260/Red"}; \psi_1; \text{EW=Kat}; h=h_M) = 0.54$$

$$\psi_2 = \text{TAB}(\text{"SIA260/Red"}; \psi_2; \text{EW=Kat}; h=h_M) = 0.00$$

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,ständig}} = g'_k + \psi_2 * q'_k = 4.00 + 0.00 * 5.00 = 4.00 \text{ kN/m}$$

Beiwert  $k_l$  zur Berechnung des Ersatz-Trägheitsmoments gemäss Colling Tab. 18.7

$$k_l = 0.15 + 0.85 * \frac{h_s}{h_{ap}} = 0.62$$

Ersatz-Trägheitsmoment gemäss Colling Formel 18.29

$$\text{Trägheitsmoment } I_y = k_l * \frac{b * h_{ap}^3}{12} = 0.62 * \frac{140 * 1450^3}{12} = 22.052 * 10^9 \text{ mm}^4$$

Durchbiegung in Feldmitte inkl. Kriechen:

$$W_{\text{Ed}} = \frac{5 * q'_{\text{Ed,ständig}} * (l * 1000)^4}{384 * E_m * I_y} * (1 + \varphi) = 36 \text{ mm}$$

Richtwert für den Grenzzustand Aussehen nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l * 1000}{300} = \frac{18.00 * 1000}{300} = 60 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{36}{60} = 0.60 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



## Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit mit duktilem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, reversible Folgen eines **häufigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + häufige Schneelast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,häufig}} = g'_k + \psi_1 * q'_k = 4.00 + 0.54 * 5.00 = 6.70 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Einwirkungen in der Verformungsberechnung } F &= q'_{\text{Ed,häufig}} = 6.70 \text{ kN/m} \\ \text{kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen } F_\varphi &= q'_{\text{Ed,ständig}} = 4.00 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Durchbiegung in Feldmitte inkl. Kriechen:

$$W_{\text{Ed}} = \left( \frac{5 * q'_{\text{Ed,häufig}} * (l * 1000)^4}{384 * E_m * I_y} \right) * \left( 1 + \varphi * \frac{F_\varphi}{F} \right) = 51 \text{ mm}$$

Richtwert für den Grenzzustand Funktionstüchtigkeit nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l * 1000}{350} = \frac{18.00 * 1000}{350} = 51 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{51}{51} = 1.00 \leq 1$$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

## Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, Einbauten mit spödem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, irreversible Folgen eines **seltene**n Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + seltene Schneelast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,selten}} = g'_k + q'_k = 4.00 + 5.00 = 9.00 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Einwirkungen in der Verformungsberechnung } F &= q'_{\text{Ed,selten}} = 9.00 \text{ kN/m} \\ \text{kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen } F_\varphi &= q'_{\text{Ed,ständig}} = 4.00 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Durchbiegung in Feldmitte inkl. Kriechen:

$$W_{\text{Ed}} = \left( \frac{5 * q'_{\text{Ed,selten}} * (l * 1000)^4}{384 * E_m * I_y} \right) * \left( 1 + \varphi * \frac{F_\varphi}{F} \right) = 64 \text{ mm}$$

Richtwert für den Grenzzustand Funktionstüchtigkeit nach SIA 260 Tabelle 3

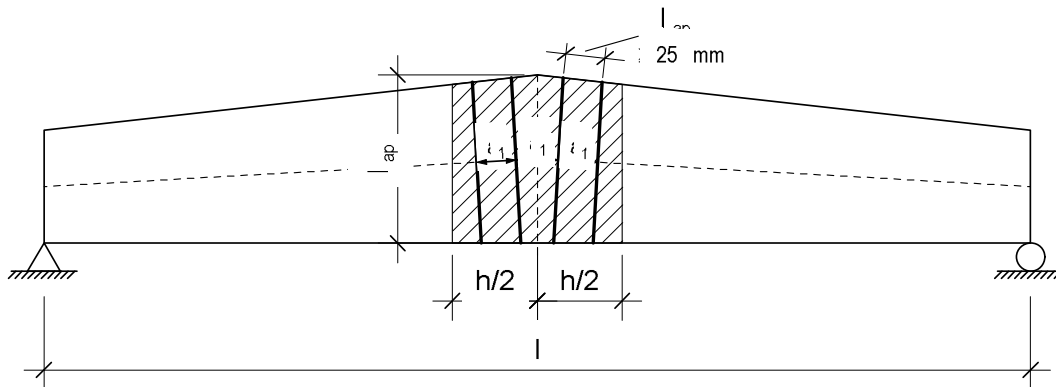
$$W_{\text{Cd}} = \frac{l * 1000}{500} = \frac{18.00 * 1000}{500} = 36 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{64}{36} = 1.78 \leq 1$$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis nicht erfüllt !**

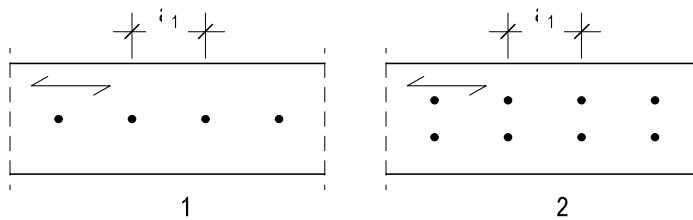
### Querzugverstärkung

Verstärkung des Querzugbeanspruchten Bereichs nach SIA 265 Anhang D.5



Abstand Verstärkungen  $a_1 = 300 \text{ mm}$

Anzahl Reihen an Verstärkungselemente:  
Anzahl Reihen  $n = 2$



Bemessungswert der maximalen Querzugspannung im First:

$$\sigma_{t,90,d} = \sigma_{t,ap,90,d} = 0.15 \text{ N/mm}^2$$

#### **Bemessungswert der Zugkraft pro Verstärkungselement**

- In den beiden **inneren** Vierteln des querzugbeanspruchten Bereichs:

$$F_{t,90,Ed} = \frac{b \cdot a_1}{n \cdot 1000} \cdot \sigma_{t,90,d} = \frac{140 \cdot 300}{2 \cdot 1000} \cdot 0.15 = 3.15 \text{ kN}$$

Wirksame Gewindelänge  $l_{ef}$  gemäss Colling Kapitel 18.8. Die untere Randlamelle wird abgezogen!

Annahme Dicke Randlamelle: 40 mm

$$l_{ef,i} = \frac{h_{ap}}{2} - 40 = 685 \text{ mm}$$

- In den beiden **äusseren** Vierteln des querzugbeanspruchten Bereichs:

$$F_{t,90,Ed} = \frac{2}{3} \cdot \frac{b \cdot a_1}{n \cdot 1000} \cdot \sigma_{t,90,d} = \frac{2}{3} \cdot \frac{140 \cdot 300}{2 \cdot 1000} \cdot 0.15 = 2.10 \text{ kN}$$

Wirksame Gewindelänge  $l_{ef}$ :

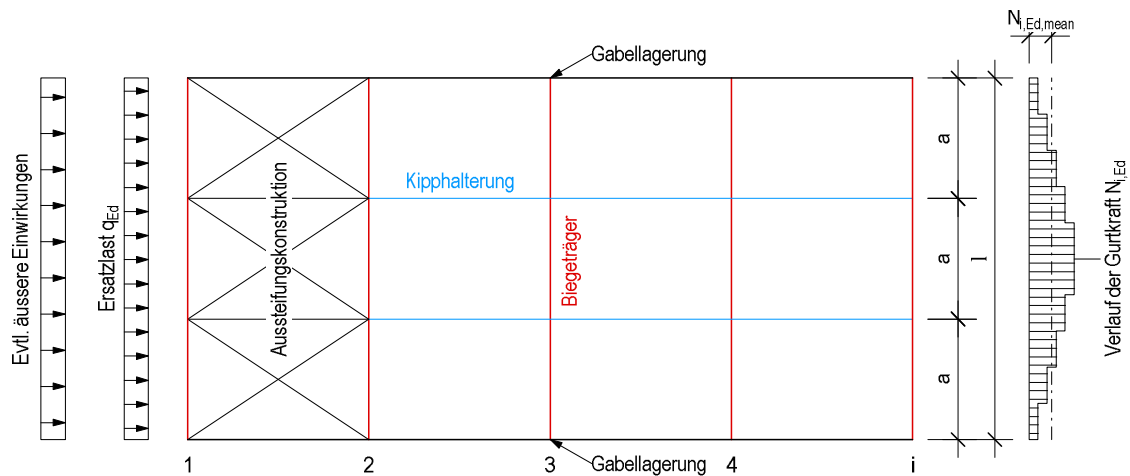
$$\text{Höhe an stelle } h/2 \text{ } h_2 = h_s + (\tan(\alpha) \cdot (0.5 \cdot l \cdot 1000 - 0.5 \cdot h_{ap})) = 1398 \text{ mm}$$

$$l_{ef,a} = \frac{h_2}{2} - 40 = 659 \text{ mm}$$

**Bemerkung:** Der Nachweis der Verbindungsmittel wird in einer separaten Vorlage geführt.



### Ersatzlast zur Stabilisierung



**Anzahl zu stabilisierender Träger  $n_T = 8$**

Maximales Biegemoment im Träger:

$$M_{Ed} = \frac{q'_{Ed} \cdot l^2}{8} = \frac{12.90 \cdot 18.00^2}{8} = 522 \text{ kNm}$$

Kippbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.9.3):

Querschnittshöhe bei 0.65-fache Stablänge nach DIN 1052:2008-12 Ziffer 8.4.3(4)

$$h_{065} = h_s + (h_{ap} - h_s) \cdot 0.65 = 1223 \text{ mm}$$

Der Kippbeiwert ist für den unausgesteiften Biegeträger zu ermitteln  $\Rightarrow$  Kipphalterungsabstand  $a = l$

$$\lambda_{rel,m} = 1.15 \cdot \frac{\sqrt{l \cdot 1000 \cdot h_{065}}}{b} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 1.15 \cdot \frac{\sqrt{18.00 \cdot 1000 \cdot 1223}}{140} \cdot \sqrt{\frac{24.0}{9400}} = 1.95$$

$$\text{Kippbeiwert } k_m = \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m}; 1/\lambda_{rel,m}^2)) = 0.26$$

Ersatz-Normalkraft  $N_{Ed}$  für **einen** Biegeträger (SIA 265\_5.8.2.4):

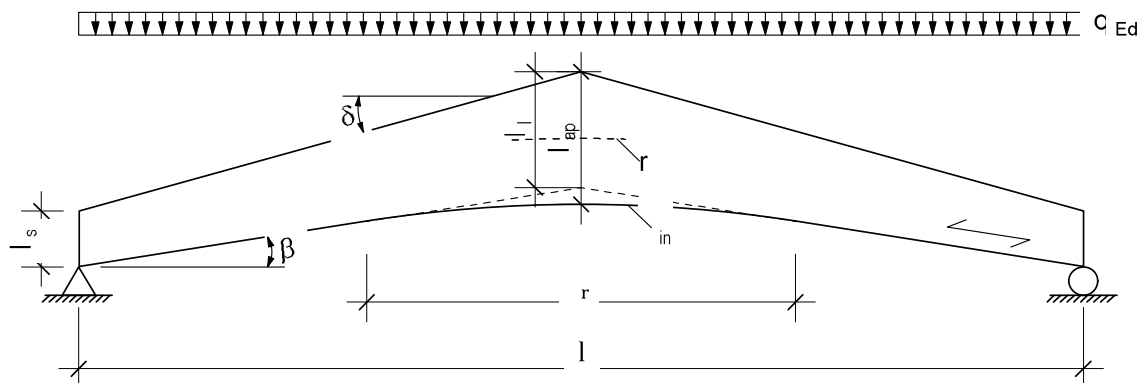
$$N_{Ed} = (1 - k_m) \cdot \frac{M_{Ed}}{h_{065} / 1000} = 316 \text{ kN}$$

Ersatzlast  $q'_{Ed}$  für die  $n$  Biegeträger (SIA 265\_5.8.4.4):

$$q'_{Ed} = \frac{n_T \cdot N_{Ed}}{30 \cdot l} = \frac{8 \cdot 316}{30 \cdot 18.00} = 4.68 \text{ kN/m}$$

Hinweis: Für die Bemessung der Aussteifungskonstruktion sind nebst der Ersatzlast  $q'_{Ed}$  evtl. noch äussere Einwirkungen mitzuberechnen. Die erforderlichen Nachweise werden nicht dargestellt.

### Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt



#### Eingaben:

Stützweite l =	20.00 m		
Kipphalterungsabstand a =	5.00 m		
Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Träger:

Trägerbreite b =	180 mm
Trägerhöhe $h_s$ =	842 mm
Lamellendicke t =	40 mm
Winkel Unterkante $\beta$ =	6.30 °
Winkel Oberkante $\delta$ =	10.00 ° ≤ 20
Ausrundungslänge $l_r$ =	7.18 m

Gemäss Colling Bild 18.4:

$$\text{Ausrundungsradius } r_{in} = l_r / 2 * \sin(\beta) = 32.72 \text{ m}$$

$$\text{Trägerhöhe } h_l = h_s + \frac{l * 1000}{2} * (\tan(\delta) - \tan(\beta)) = 1501 \text{ mm}$$

$$\text{Trägerhöhe } h_{ap} = h_l + r_{in} * 10^3 * (1 - \cos(\beta)) / \cos(\beta) = 1700 \text{ mm}$$

$$\text{Ausrundungsradius } r = r_{in} + 0.5 * h_{ap} / 1000 = 33.57 \text{ m}$$

Gemäss SIA 265 Gleichung 56:

$$\text{Kleinste zulässige Krümmungsradius } r_{min} = 200 * t / 1000 = 8.00 \text{ m} \leq r_{in}$$

Baustoff BS:	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Brettschichtholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=BS)	=	GL28k
Festigkeit $f_{m,d}$ =	TAB("SIA265/Holz"; fmd; FK=FK)	=	18.5 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{m,k}$ =	TAB("SIA265/Holz"; fmk; FK=FK)	=	28.0 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{c,90,d}$ =	TAB("SIA265/Holz"; fc90d; FK=FK)	=	2.0 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{t,90,d}$ =	TAB("SIA265/Holz"; ft90d; FK=FK)	=	0.15 N/mm <sup>2</sup>
Schubfestigkeit $f_{v,d}$ =	TAB("SIA265/Holz"; fvd; FK=FK)	=	1.80 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul $E_m$ =	TAB("SIA265/Holz"; E0mean; FK=FK)	=	12000 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul $E_{0,05}$ =	TAB("SIA265/Holz"; E005; FK=FK)	=	10200 N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul G =	TAB("SIA265/Holz"; Gmean; FK=FK)	=	500 N/mm <sup>2</sup>
Kriechzahl $\varphi$ =	TAB("SIA265/KriechZ"; Kz; GR=BS; FK=KL)	=	0.60



### Einwirkungen:

#### Ständige Einwirkungen

$$g'_k = 5.50 \text{ kN/m}$$

#### Veränderliche Leiteinwirkung

$$\text{Kat} = \text{GEW}(\text{"SIA260/Red"; EW;}) = \text{Schnee}$$

$$q'_k = 5.00 \text{ kN/m}^2$$

#### Grenzzustand Tragsicherheit Typ 2

Massgebende Bemessungssituation:

-Eigenlast + Auflast + Schneelast

Lastbeiwerte gemäss SIA 260 Tabelle 1

$$\gamma_G = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_G; S=\text{"ungünstig"}) = 1.35$$

$$\gamma_Q = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_Q; S=\text{"allgemein"}) = 1.50$$

Bemessungswert der Einwirkung:

$$q'_{Ed} = \gamma_G * g'_k + \gamma_Q * q'_k = 14.93 \text{ kN/m}$$

#### **Berechnung: Gemäss Dokumentation SIA D 0185, Kapitel Bauteile ab S. 91**

Stelle x mit der maximalen Biegebeanspruchung (5.15):

$$x = \frac{l * h_s}{2 * h_l} = \frac{20.00 * 842}{2 * 1501} = 5.61 \text{ m}$$

Biegemoment an der Stelle x:

$$M_{x,d} = \frac{q'_{Ed} * x}{2} * (l - x) = 602.63 \text{ kNm}$$

Biegemoment im First:

$$M_{ap,d} = \frac{q'_{Ed} * l^2}{8} = 746.50 \text{ kNm}$$

Faseranschnittwinkel ( $\beta \leq 10^\circ$ ):

$$\alpha = \delta - \beta = 3.70^\circ \leq 10$$

Höhe des Trägers an der Stelle x:

$$h'_x = h_s * (2 - h_s / h_l) = 1212 \text{ mm}$$

Rechtwinklig zum unteren Rand:

$$h_x = h'_x * \cos(\alpha) = 1209 \text{ mm}$$

Widerstandsmoment an der Stelle x:

$$W_x = \frac{b * h_x^2}{6} = \frac{180 * 1209^2}{6} = 43850430 \text{ mm}^3$$

Widerstandsmoment im First:

$$W_{ap} = \frac{b * h_{ap}^2}{6} = \frac{180 * 1700^2}{6} = 86700000 \text{ mm}^3$$



Beiwerte  $k_i$  zur Ermittlung der Biegerandspannung im First (5.18 - 8.21):

$$\text{Faktor } k_1 = 1 + 1.4 * \tan(\delta) + 5.4 * (\tan(\delta))^2 = 1.41$$

$$\text{Faktor } k_2 = 0.35 - 8 * \tan(\delta) = -1.06$$

$$\text{Faktor } k_3 = 0.6 + 8.3 * \tan(\delta) - 7.8 * (\tan(\delta))^2 = 1.82$$

$$\text{Faktor } k_4 = 6 * (\tan(\delta))^2 = 0.19$$

Faktor  $k_i$  (5.17):

$$k_i = k_1 + k_2 * \frac{h_{ap}}{r * 1000} + k_3 * \left(\frac{h_{ap}}{r * 1000}\right)^2 + k_4 * \left(\frac{h_{ap}}{r * 1000}\right)^3 = 1.361$$

Beiwerte  $k_p$  zur Ermittlung der Querkzugspannung im First (5.24 - 5.26):

$$\text{Faktor } k_5 = 0.2 * \tan(\delta) = 0.035$$

$$\text{Faktor } k_6 = 0.25 - 1.5 * \tan(\delta) + 2.6 * (\tan(\delta))^2 = 0.066$$

$$\text{Faktor } k_7 = 2.1 * \tan(\delta) - 4 * (\tan(\delta))^2 = 0.246$$

Faktor  $k_p$  (5.23)

$$k_p = k_5 + k_6 * \frac{h_{ap}}{r * 1000} + k_7 * \left(\frac{h_{ap}}{r * 1000}\right)^2 = 0.039$$

Reduktionsbeiwert  $k_r$  um der Einfluss der Vorkrümmung bei Zug am Aussenrand zu berücksichtigen (5.12):

$$k_r = 1 - 40 * \frac{t}{r_{in} * 1000} = 0.951$$

Kippbeiwertermittlung:

Vereinfacht wird der Kippnachweis **an Stelle x mit  $h_x$**  (grösste Spannung) und **am First mit  $h_{ap}$**  (grösste Trägerhöhe) geführt. Genaueres Verfahren siehe Colling 18.5

$$\lambda_{rel,x} = 1.15 * \frac{\sqrt{a * 10^3 * h_x}}{b} * \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 0.82$$

$$\text{Kippbeiwert } k_{m,x} = \text{WENN}(\lambda_{rel,x} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,x} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 * \lambda_{rel,x}; 1 / \lambda_{rel,x}^2)) = 0.94$$

$$\lambda_{rel,ap} = 1.15 * \frac{\sqrt{a * 10^3 * h_{ap}}}{b} * \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 0.98$$

$$\text{Kippbeiwert } k_{m,ap} = \text{WENN}(\lambda_{rel,ap} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,ap} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 * \lambda_{rel,ap}; 1 / \lambda_{rel,ap}^2)) = 0.82$$



**Nachweis der Randspannung: Gemäss Dokumentation SIA D 0185, Kapitel Bauteile ab S. 91**

**An der Stelle x (massgebend Biegerandspannung):**

Spannung am nicht angeschnittenen Rand (Biegezug): (5.2)

$$\sigma_{m,0,d} = \left(1 + 4 \cdot (\tan(\alpha))^2\right) \cdot \frac{M_{x,d}}{W_x} \cdot 10^6 = 13.97 \text{ N/mm}^2$$

**Ausnutzung:** 
$$\frac{\sigma_{m,0,d}}{\eta_w \cdot k_{m,x} \cdot f_{m,d}} = \frac{13.97}{1.0 \cdot 0.94 \cdot 18.5} = 0.80 \leq 1$$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

Spannung am angeschnittenen Rand: (5.3)

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \left(1 - 4 \cdot (\tan(\alpha))^2\right) \cdot \frac{M_{x,d}}{W_x} \cdot 10^6 = 13.51 \text{ N/mm}^2$$

Biegefestigkeit am angeschnittenen Rand mit Druckspannungen: (5.5)

$$f_{m,\alpha,d} = \frac{f_{m,d}}{f_{m,d}/f_{c,90,d} \cdot (\sin(\alpha))^2 + (\cos(\alpha))^2} = 17.89 \text{ N/mm}^2$$

**Ausnutzung:** 
$$\sigma_{m,\alpha,d} / (\eta_w \cdot f_{m,\alpha,d}) = 0.76 \leq 1$$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

**Im Firstbereich:**

Die grösste Biegespannung tritt am Innenrand des Firstquerschnittes auf (Biegezug): (5.16)

$$\sigma_{m,ap,0,d} = k_l \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} \cdot 10^6 = 11.72 \text{ N/mm}^2$$

**Ausnutzung:** 
$$\frac{\sigma_{m,ap,0,d}}{\eta_w \cdot k_r \cdot k_{m,ap} \cdot f_{m,d}} = \frac{11.72}{1.0 \cdot 0.951 \cdot 0.82 \cdot 18.5} = 0.81 \leq 1$$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

Querzugspannungen im First:

$$\sigma_{t,ap,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} \cdot 10^6 = 0.34 \text{ N/mm}^2$$

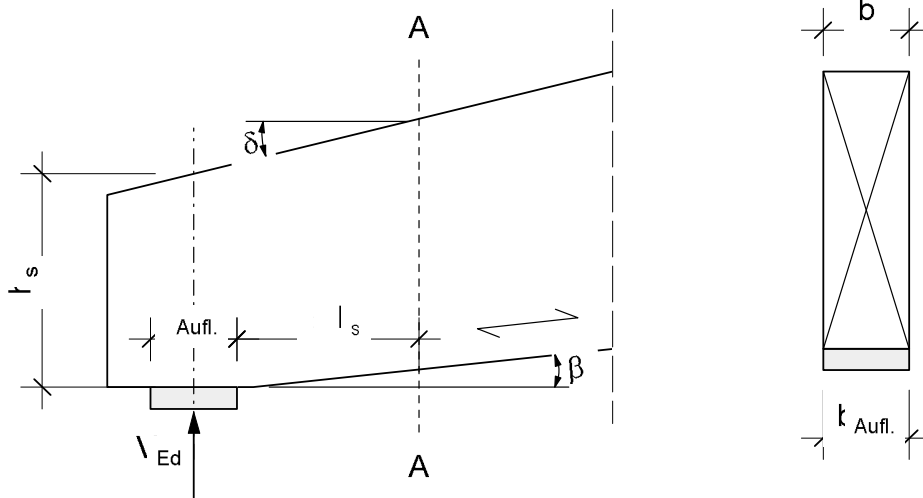
**Ausnutzung:** 
$$\frac{\sigma_{t,ap,90,d}}{f_{t,90,d} \cdot \eta_w} = \frac{0.34}{0.15 \cdot 1.0} = 2.27 \leq 1$$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis nicht erfüllt !**

**Bemerkung:** Wenn  $\sigma_{t,ap,90,d} > f_{t,90,d} \Rightarrow$  **Querzugverstärkung im First erforderlich!**

### Tragsicherheit Querkraft:

Schubnachweis gemäss SIA 265\_4.2.7.2 und DIN 1052\_10.2.9



Auflagerfläche:

Auflagerlänge  $l_{Aufl} = 360 \text{ mm}$   
 Auflagerbreite  $b_{Aufl} = 180 \text{ mm} \leq b$   
 Auflagerfläche  $A_{Aufl} = l_{Aufl} \cdot b_{Aufl} = 64800 \text{ mm}^2$

Maximale Querkraft  $V_{Ed} = \frac{q'_{Ed} \cdot l}{2} = \frac{14.93 \cdot 20.00}{2} = 149.30 \text{ kN}$

Massgebende Querkraft im Schnitt A-A:

$V_{red,d} = V_{Ed} \cdot \left( \frac{l_{Aufl}}{2} + h_s \right) \cdot q'_{Ed} / 10^3 = 134.04 \text{ kN}$

Der Schubnachweis wird mit reduzierter Querkraft und der **Trägerhöhe  $h_s$**  geführt (DIN 1052\_10.2.9)

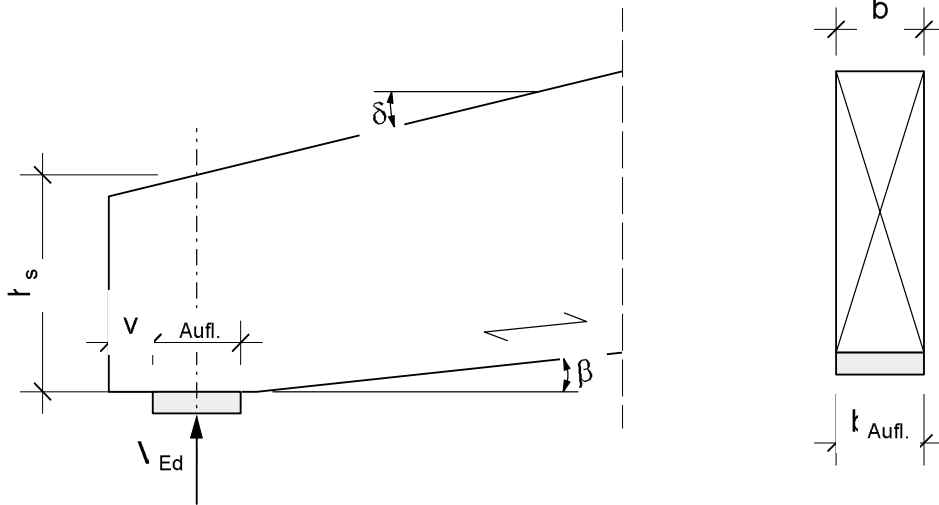
Schubspannung  $\tau_d = 1.5 \cdot \frac{V_{red,d} \cdot 1000}{b \cdot h_s} = 1.5 \cdot \frac{134.04 \cdot 1000}{180 \cdot 842} = 1.33 \text{ N/mm}^2$

**Ausnutzung:**  $\frac{\tau_d}{\eta_w \cdot f_{v,d}} = \frac{1.33}{1.0 \cdot 1.80} = 0.74 < 1$

WENN(Ausnutzung  $\leq 1$ ; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Tragsicherheit Querdruck:

Nachweis nach SIA 265\_4.2.2



#### Ohne Eindrückungen:

Auflagersituation AL =	GEW("SIA265/fc90d"; AL; )	=	Endauflager
Querdruckfläche =	$A_{\text{Aufl}}$	=	64800 mm <sup>2</sup>
Auflagerreaktion $F_{c,90,d}$ =	$V_{\text{Ed}}$	=	149.30 kN
$f_{c,90,d}$ =	TAB("SIA265/fc90d"; fc90d; FK=FK; AL=AL)	=	2.70 N/mm <sup>2</sup>
$f_{c,0,d}$ =	TAB("SIA265/Holz"; fc0d; FK=FK)	=	16.00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{c,\alpha,d}$ =	$\frac{f_{c,90,d} * f_{c,0,d}}{f_{c,0,d} * (\sin(90 - \beta))^2 + f_{c,90,d} * (\cos(90 - \beta))^2}$	=	2.73 N/mm <sup>2</sup>
Druchwiderstand $F_{c,90,Rd}$ =	$A_{\text{Aufl}} * \eta_w * f_{c,\alpha,d} / 1000$	=	176.90 kN

**Ausnutzung:**

$$\frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{149.30}{176.90} = 0.84 < 1$$

WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

Falls **grössere Eindrückungen** zulässig sind:

Auflagersituation AL =	GEW("SIA265/fc90d"; AL; )	=	Endauflager grössere Eindrückungen
$f_{c,90,d}$ =	TAB("SIA265/fc90d"; fc90d; FK=FK; AL=AL)	=	4.30 N/mm <sup>2</sup>
$f_{c,\alpha,d}$ =	$\frac{f_{c,90,d} * f_{c,0,d}}{f_{c,0,d} * (\sin(90 - \beta))^2 + f_{c,90,d} * (\cos(90 - \beta))^2}$	=	4.34 N/mm <sup>2</sup>
Druchwiderstand $F_{c,90,Rd}$ =	$A_{\text{Aufl}} * \eta_w * f_{c,\alpha,d} / 1000$	=	281.23 kN

**Ausnutzung:**

$$\frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{149.30}{281.23} = 0.53 < 1$$

WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**



## Durchbiegung im Grenzzustand Aussehen: (nach colling 18.9, ohne Schubverformungen)

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Aussehen, reversible Folgen eines **quasi-ständigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + quasi-ständige Schneelast

Reduktionsbeiwerte für Schnee gemäss SIA 260 tabelle 2

**Meereshöhe  $h_M = 550$  m**

$$\psi_1 = \text{TAB}(\text{"SIA260/Red"; } \psi_1; \text{EW=Kat; } h=h_M) = 0.54$$

$$\psi_2 = \text{TAB}(\text{"SIA260/Red"; } \psi_2; \text{EW=Kat; } h=h_M) = 0.00$$

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,ständig}} = g'_k + \psi_2 * q'_k = 5.50 + 0.00 * 5.00 = 5.50 \text{ kN/m}$$

Beiwert  $k_l$  zur Berechnung des Ersatz-Trägheitsmoments gemäss Colling Tab. 18.7

$$k_l = 0.15 + 0.85 * \frac{h_s}{h_{ap}} = 0.57$$

Ersatz-Trägheitsmoment gemäss Colling Formel 18.29

$$\text{Trägheitsmoment } I_y = k_l * \frac{b * h_{ap}^3}{12} = 0.57 * \frac{180 * 1700^3}{12} = 42.006 * 10^9 \text{ mm}^4$$

Durchbiegung in Feldmitte inkl. Kriechen:

$$W_{\text{Ed,ständig}} = \frac{5 * q'_{\text{Ed,ständig}} * (l * 1000)^4}{384 * E_m * I_y} * (1 + \varphi) = 36 \text{ mm}$$

Richtwert für den Grenzzustand Aussehen nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l * 1000}{300} = \frac{20.00 * 1000}{300} = 67 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed,ständig}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{36}{67} = 0.54 \leq 1$$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**





## Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit mit duktilem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, reversible Folgen eines **häufigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + häufige Schneelast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,häufig}} = g'_k + \psi_1 * q'_k = 5.50 + 0.54 * 5.00 = 8.20 \text{ kN/m}$$

$$\text{Einwirkungen in der Verformungsberechnung } F = q'_{\text{Ed,häufig}} = 8.20 \text{ kN/m}$$

$$\text{kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen } F_\varphi = q'_{\text{Ed,ständig}} = 5.50 \text{ kN/m}$$

Durchbiegung in Feldmitte inkl. Kriechen:

$$W_{\text{Ed,häufig}} = \left( \frac{5 * q'_{\text{Ed,häufig}} * (l * 1000)^4}{384 * E_m * I_y} \right) * \left( 1 + \varphi * \frac{F_\varphi}{F} \right) = 48 \text{ mm}$$

Richtwert für den Grenzzustand Funktionstüchtigkeit nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l * 1000}{350} = \frac{20.00 * 1000}{350} = 57 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed,häufig}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{48}{57} = 0.84 \leq 1$$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

## Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, Einbauten mit spödem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, irreversible Folgen eines **seltene**n Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + seltene Schneelast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{\text{Ed,selten}} = g'_k + q'_k = 5.50 + 5.00 = 10.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{Einwirkungen in der Verformungsberechnung } F = q'_{\text{Ed,selten}} = 10.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen } F_\varphi = q'_{\text{Ed,ständig}} = 5.50 \text{ kN/m}$$

Durchbiegung in Feldmitte inkl. Kriechen:

$$W_{\text{Ed,selten}} = \left( \frac{5 * q'_{\text{Ed,selten}} * (l * 1000)^4}{384 * E_m * I_y} \right) * \left( 1 + \varphi * \frac{F_\varphi}{F} \right) = 57 \text{ mm}$$

Richtwert für den Grenzzustand Funktionstüchtigkeit nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{Cd}} = \frac{l * 1000}{500} = \frac{20.00 * 1000}{500} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{W_{\text{Ed,selten}}}{W_{\text{Cd}}} = \frac{57}{40} = 1.43 \leq 1$$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis nicht erfüllt !**



## Horizontale Auflagerverschiebung gemäss Colling Kapitel 18.10

### Im Grenzzustand Aussehen :

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Aussehen, reversible Folgen eines **quasi-ständigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + quasi-ständige Schneelast

Colling Formel 8.33 (nach dem Kraftgrössenverfahren)

$$w_H = w_{Ed,ständig} * \left( 3.2 * \frac{h_s}{l * 1000} + 2 * \tan\left(\frac{\beta + \delta}{2}\right) \right) = 15.2 \text{ mm}$$

### Im Grenzzustand Funktionstüchtigkeit mit duktilem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, reversible Folgen eines **häufigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + häufige Schneelast

$$w_H = w_{Ed,häufig} * \left( 3.2 * \frac{h_s}{l * 1000} + 2 * \tan\left(\frac{\beta + \delta}{2}\right) \right) = 20.2 \text{ mm}$$

### Im Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, Einbauten mit spödem Verhalten

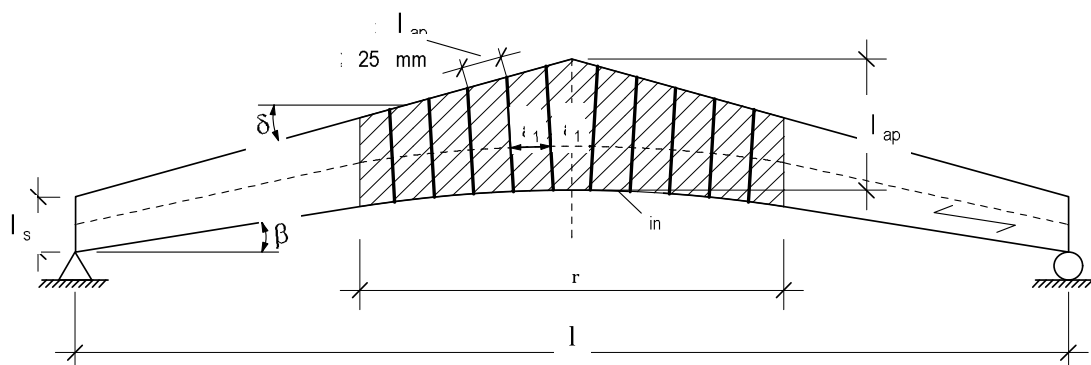
Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, irreversible Folgen eines **seltenen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + seltene Schneelast

$$w_H = w_{Ed,selten} * \left( 3.2 * \frac{h_s}{l * 1000} + 2 * \tan\left(\frac{\beta + \delta}{2}\right) \right) = 24.0 \text{ mm}$$

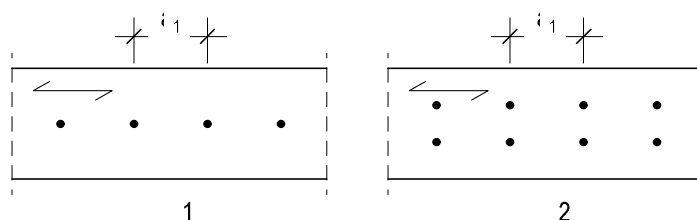
### Querzugverstärkung

Verstärkung des Querzugbeanspruchten Bereichs nach SIA 265 Anhang D.5



Abstand Verstärkungen  $a_1 = 300 \text{ mm}$

Anzahl Reihen an Verstärkungselemente:  
Anzahl Reihen  $n = 2$



Bemessungswert der maximalen Querzugspannung im First:

$$\sigma_{t,90,d} = \sigma_{t,ap,90,d} = 0.34 \text{ N/mm}^2$$

### Bemessungswert der Zugkraft pro Verstärkungselement

- In den beiden **inneren** Vierteln des querzugbeanspruchten Bereichs:

$$F_{t,90,Ed} = \frac{b \cdot a_1}{n \cdot 1000} \cdot \sigma_{t,90,d} = \frac{180 \cdot 300}{2 \cdot 1000} \cdot 0.34 = 9.18 \text{ kN}$$

- In den beiden **äusseren** Vierteln des querzugbeanspruchten Bereichs:

$$F_{t,90,Ed} = \frac{2}{3} \cdot \frac{b \cdot a_1}{n \cdot 1000} \cdot \sigma_{t,90,d} = \frac{2}{3} \cdot \frac{180 \cdot 300}{2 \cdot 1000} \cdot 0.34 = 6.12 \text{ kN}$$

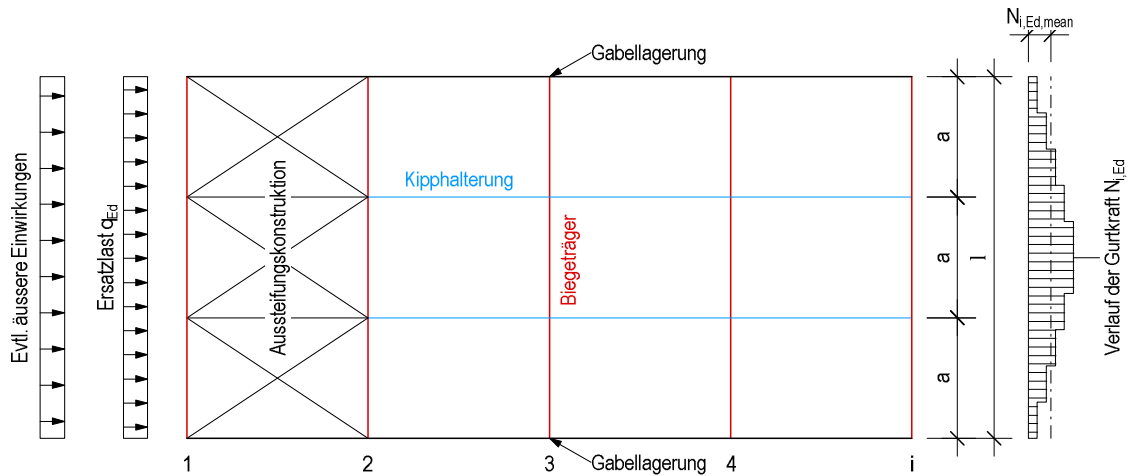
Wirksame Gewindelänge  $l_{ef}$ . Die untere Randlamelle wird abgezogen!

Annahme Dicke Randlamelle: 40 mm

$$l_{ef} = \frac{(r - r_{in}) \cdot 1000}{2} - 40 = 385.0 \text{ mm}$$

**Bemerkung:** Der Nachweis der Verbindungsmittel wird in einer separaten Vorlage geführt. Innenliegende Verstärkungen müssen mit Ausnahme einer Randlamelle über die ganze Trägerhöhe durchgehen. Der Abstand der Verstärkung an der Trägeroberkante muss untereinander mindestens 250 mm, jedoch nicht mehr als 75% der maximalen Trägerhöhe betragen (SIA 265\_D.5.2).

### Ersatzlast zur Stabilisierung



$$\text{Anzahl zu stabilisierender Träger } n_T = 8$$

Maximales Biegemoment im Träger:

$$M_{Ed} = \frac{q'_{Ed} \cdot l^2}{8} = \frac{14.93 \cdot 20.00^2}{8} = 747 \text{ kNm}$$

Kippbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.9.3):

Annahme Querschnittshöhe bei 0.65-fache Stablänge nach DIN 1052:2008-12 Ziffer 8.4.3(4)

$$h_{065} = h_s + (h_{ap} - h_s) \cdot 0.65 = 1400 \text{ mm}$$

Der Kippbeiwert ist für den unausgesteiften Biegeträger zu ermitteln  $\Rightarrow$  Kipphalterungsabstand  $a = l$

$$\lambda_{rel,m} = 1.15 \cdot \frac{\sqrt{l \cdot 1000 \cdot h_{065}}}{b} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 1.15 \cdot \frac{\sqrt{20.00 \cdot 1000 \cdot 1400}}{180} \cdot \sqrt{\frac{28.0}{10200}} = 1.77$$

$$\text{Kippbeiwert } k_m = \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m}; 1/\lambda_{rel,m}^2)) = 0.32$$

Ersatz-Normalkraft  $N_{Ed}$  für **einen** Biegeträger (SIA 265\_5.8.2.4):

$$N_{Ed} = (1 - k_m) \cdot \frac{M_{Ed}}{h_{065} / 1000} = 363 \text{ kN}$$

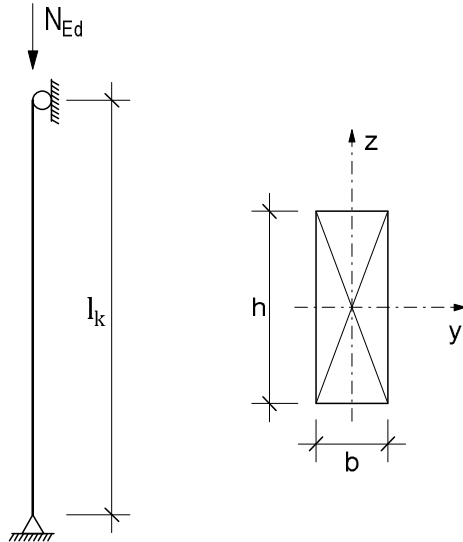
Ersatzlast  $q'_{Ed}$  für pro Biegeträger (SIA 265\_5.8.4.4):

$$q'_{Ed} = \frac{N_{Ed} \cdot n_T}{30 \cdot l} = \frac{363 \cdot 8}{30 \cdot 20.00} = 4.84 \text{ kN/m}$$

Hinweis: Für die Bemessung der Aussteifungskonstruktion sind nebst der Ersatzlast  $q'_{Ed}$  evtl. noch äussere Einwirkungen mitzubersichtigen. Die erforderlichen Nachweise werden nicht dargestellt.

## Kapitel Stützen

### Pendelstütze



#### Eingaben:

Knicklänge $l_k$ =	3000 mm		
Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Träger:

Breite $b$ =	120 mm		
Höhe $h$ =	320 mm		
Baustoff BS:	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Brettschichtholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=BS)	=	GL24h
Rohdichte $\rho_k$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK)	=	380 kg/m <sup>3</sup>
Festigkeit $f_{m,d}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $f_{md}$ ; FK=FK)	=	16.0 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{m,k}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $f_{mk}$ ; FK=FK)	=	24.0 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{c,0,d}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $f_{c0d}$ ; FK=FK)	=	14.5 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{c,0,k}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $f_{c0k}$ ; FK=FK)	=	24.0 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul $E_m$ =	TAB("SIA265/Holz"; $E_{0mean}$ ; FK=FK)	=	11000 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul $E_{0,05}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $E_{005}$ ; FK=FK)	=	9400 N/mm <sup>2</sup>

#### Einwirkungen (Massgebende Lastkombination Tragsicherheit):

Druckkraft $N_{Ed}$ =	280.00 kN
Biegung $M_{y,Ed}$ =	0.00 kNm
Biegung $M_{z,Ed}$ =	0.00 kNm



### Grenzzustand Tragsicherheit Typ 2

#### Druck mit Biegung um y-Achse:

$$\begin{aligned}
 \text{QS Fläche } A &= b \cdot h &= & 38400 \text{ mm}^2 \\
 \text{Widerstandsmoment } W_y &= \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{120 \cdot 320^2}{6} &= & 2048000 \text{ mm}^3 \\
 \text{Biegerandspannung } \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_{y,Ed} \cdot 10^6}{W_y} = \frac{0.00 \cdot 10^6}{2048000} &= & 0.00 \text{ N/mm}^2 \\
 \text{Druckspannung } \sigma_{c,0,d} &= \frac{N_{Ed} \cdot 1000}{A} = \frac{280.00 \cdot 1000}{38400} &= & 7.29 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Knickbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.8):

Um die starke Achse

$$\begin{aligned}
 \text{Trägheitsradius } i_y &= \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{320}{\sqrt{12}} &= & 92.38 \text{ mm} \\
 \text{geom. Schlankheit } \lambda &= \frac{l_k}{i_y} = \frac{3000}{92.38} &= & 32.47 \\
 \text{rel. Schlankheit } \lambda_{rel} &= \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{32.47}{3.14159} \cdot \sqrt{\frac{24.0}{9400}} &= & 0.52 \\
 \text{Hilfswert } \beta_c &= \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; 0.1; 0.2) &= & 0.1 \\
 \text{Faktor } k &= 0.5 \cdot \left( 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2 \right) &= & 0.65 \\
 \text{Knickbeiwert } k_{c,y} &= \text{MIN}\left(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}; 1\right) &= & 0.96
 \end{aligned}$$

Kippbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.9.3):

Um die starke Achse

$$\begin{aligned}
 \lambda_{rel,m} &= 1.15 \cdot \frac{\sqrt{l_k \cdot h}}{b} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} &= & 0.47 \\
 \text{Kippbeiwert } k_{m,y} &= \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m}^{0.1} / \lambda_{rel,m}^2)) &= & 1.00 \\
 \text{Höhenbeiwert } k_h &= \text{MIN}(1.1; \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; \left(\frac{600}{h}\right)^{0.1}; 1)) &= & 1.06
 \end{aligned}$$

#### Stabilitätsnachweis um starke Achse (SIA 265 Formel 37)

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{c,0,d}}{\eta_w \cdot k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{\eta_w \cdot k_{m,y} \cdot k_h \cdot f_{m,d}} = 0.52 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



### Druck mit Biegung um z-Achse:

$$\text{Widerstandsmoment } W_z = \frac{h \cdot b^2}{6} = \frac{320 \cdot 120^2}{6} = 768000 \text{ mm}^3$$

$$\text{Biegegrandspannung } \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,Ed} \cdot 10^6}{W_z} = \frac{0.00 \cdot 10^6}{768000} = 0.00 \text{ N/mm}^2$$

Knickbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.8):

Um die schwache Achse

$$\text{Trägheitsradius } i_z = \frac{b}{\sqrt{12}} = \frac{120}{\sqrt{12}} = 34.64 \text{ mm}$$

$$\text{geom. Schlankheit } \lambda = \frac{l_k}{i_z} = \frac{3000}{34.64} = 86.61$$

$$\text{rel. Schlankheit } \lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{86.61}{3.14159} \cdot \sqrt{\frac{24.0}{9400}} = 1.39$$

$$\text{Hilfswert } \beta_c = \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; 0.1; 0.2) = 0.1$$

$$\text{Faktor } k = 0.5 \cdot \left( 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2 \right) = 1.52$$

$$\text{Knickbeiwert } k_{c,z} = \text{MIN}\left(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}; 1\right) = 0.47$$

Kippbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.9.3):

Um die schwache Achse

$$\lambda_{rel,m} = 1.15 \cdot \frac{\sqrt{l_k \cdot b}}{h} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 0.11$$

$$\text{Kippbeiwert } k_{m,z} = \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m}; 1/\lambda_{rel,m}^2)) = 1.00$$

$$\text{Höhenbeiwert } k_h = \text{MIN}\left(1.1; \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; \left(\frac{600}{h}\right)^{0.1}; 1)\right) = 1.06$$

### Stabilitätsnachweis um swache Achse (SIA 265 Formel 37)

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{c,0,d}}{\eta_w \cdot k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{\eta_w \cdot k_{m,z} \cdot k_h \cdot f_{m,d}} = 1.07 < 1$$

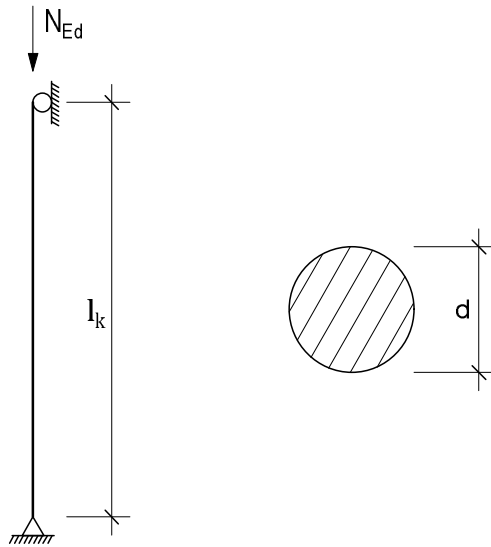
$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis nicht erfüllt !}$$

### Festigkeitsnachweis (SIA 265 Formel 22)

$$\text{Ausnutzung: } \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{\eta_w \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{\eta_w \cdot k_h \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{\eta_w \cdot k_h \cdot f_{m,d}} = 0.25 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Pendelstütze Rundstab



#### Eingaben:

Knicklänge $l_k$ =	3000 mm		
Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1,0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1,0

#### Träger:

Durchmesser $d$ =	220 mm		
Baustoff BS:	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Nadelholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=BS)	=	C24
Rohdichte $\rho_k$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK)	=	350 kg/m <sup>3</sup>
Festigkeit $f_{m,d}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $f_{m,d}$ ; FK=FK)	=	14.0 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{c,0,d}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $f_{c,0,d}$ ; FK=FK)	=	12.0 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{c,0,k}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $f_{c,0,k}$ ; FK=FK)	=	21.0 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul $E_m$ =	TAB("SIA265/Holz"; $E_{0mean}$ ; FK=FK)	=	11000 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul $E_{0,05}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $E_{005}$ ; FK=FK)	=	7300 N/mm <sup>2</sup>

#### Einwirkungen (Massgebende Lastkombination Tragsicherheit):

Druckkraft $N_{Ed}$ =	120.00 kN
Biegung $M_{Ed}$ =	5.00 kNm





### Grenzzustand Tragsicherheit Typ 2

#### Druck mit Biegung:

$$\begin{aligned} \text{QS Fläche } A &= \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 &= & 38013 \text{ mm}^2 \\ \text{Widerstandsmoment } W &= \frac{\pi \cdot (d/2)^3}{4} = \frac{3.14159 \cdot (220/2)^3}{4} &= & 1045364 \text{ mm}^3 \\ \text{Biegerandspannung } \sigma_{m,d} &= \frac{M_{Ed} \cdot 10^6}{W} = \frac{5.00 \cdot 10^6}{1045364} &= & 4.78 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Druckspannung } \sigma_{c,0,d} &= \frac{N_{Ed} \cdot 1000}{A} = \frac{120.00 \cdot 1000}{38013} &= & 3.16 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Knickbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.8):

$$\begin{aligned} \text{Trägheitsradius } i &= \frac{d}{4} = \frac{220}{4} &= & 55.00 \text{ mm} \\ \text{geom. Schlankheit } \lambda &= \frac{l_k}{i} = \frac{3000}{55.00} &= & 54.55 \\ \text{rel. Schlankheit } \lambda_{rel} &= \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{54.55}{3.14159} \cdot \sqrt{\frac{21.0}{7300}} &= & 0.93 \\ \text{Hilfswert } \beta_c &= \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; 0.1; 0.2) &= & 0.2 \\ \text{Faktor } k &= 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2\right) &= & 1.00 \\ \text{Knickbeiwert } k_c &= \text{MIN}\left(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}; 1\right) &= & 0.73 \end{aligned}$$

#### Stabilitätsnachweis (SIA 265 Formel 37)

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{m,d}}{\eta_w \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{\eta_w \cdot k_c \cdot f_{c,0,d}} = \frac{4.78}{1.0 \cdot 14.0} + \frac{3.16}{1.0 \cdot 0.73 \cdot 12.0} = 0.70 < 1$$

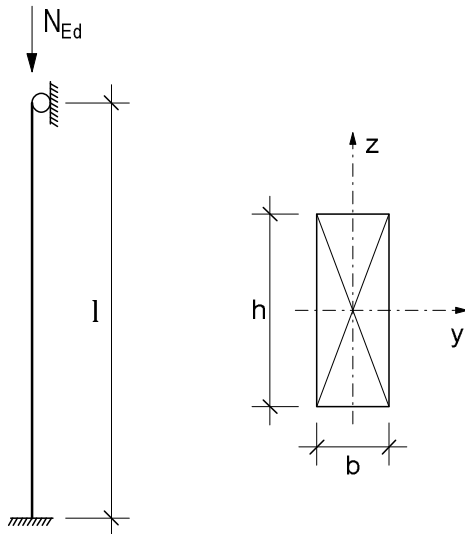
WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt!") = **Nachweis erfüllt**

#### Festigkeitsnachweis (SIA 265 Formel 22)

$$\text{Ausnutzung: } \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{\eta_w \cdot f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{\eta_w \cdot f_{m,d}} = 0.41 < 1$$

WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt!") = **Nachweis erfüllt**

### Eingespannte Stütze



#### Eingaben:

Stablänge $l$ =			3000 mm
Knicklänge $l_k$ =	$0.7 \cdot l$	=	2100 mm
Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Träger:

Breite $b$ =			120 mm
Höhe $h$ =			320 mm
Baustoff BS:	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Brettschichtholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=BS)	=	GL24h
Rohdichte $\rho_k$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK)	=	380 kg/m <sup>3</sup>
Festigkeit $f_{m,d}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $f_{m,d}$ ; FK=FK)	=	16.0 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{m,k}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $f_{m,k}$ ; FK=FK)	=	24.0 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{c,0,d}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $f_{c,0,d}$ ; FK=FK)	=	14.5 N/mm <sup>2</sup>
Festigkeit $f_{c,0,k}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $f_{c,0,k}$ ; FK=FK)	=	24.0 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul $E_m$ =	TAB("SIA265/Holz"; $E_{0mean}$ ; FK=FK)	=	11000 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul $E_{0,05}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $E_{005}$ ; FK=FK)	=	9400 N/mm <sup>2</sup>

#### Einwirkungen (Massgebende Lastkombination):

Druckkraft $N_{Ed}$ =			250.00 kN
Biegung $M_{y,Ed}$ =			5.00 kNm
Biegung $M_{z,Ed}$ =			0.00 kNm



### Grenzzustand Tragsicherheit Typ 2

#### Druck mit Biegung um y-Achse:

$$\begin{aligned}
 \text{QS Fläche } A &= b \cdot h &= & 38400 \text{ mm}^2 \\
 \text{Widerstandsmoment } W_y &= \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{120 \cdot 320^2}{6} &= & 2048000 \text{ mm}^3 \\
 \text{Biegerandspannung } \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_{y,Ed} \cdot 10^6}{W_y} = \frac{5.00 \cdot 10^6}{2048000} &= & 2.44 \text{ N/mm}^2 \\
 \text{Druckspannung } \sigma_{c,0,d} &= \frac{N_{Ed} \cdot 1000}{A} = \frac{250.00 \cdot 1000}{38400} &= & 6.51 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Knickbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.8):

Um die starke Achse

$$\begin{aligned}
 \text{Trägheitsradius } i_y &= \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{320}{\sqrt{12}} &= & 92.38 \text{ mm} \\
 \text{geom. Schlankheit } \lambda &= \frac{l_k}{i_y} = \frac{2100}{92.38} &= & 22.73 \\
 \text{rel. Schlankheit } \lambda_{rel} &= \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{22.73}{3.14159} \cdot \sqrt{\frac{24.0}{9400}} &= & 0.37 \\
 \text{Hilfswert } \beta_c &= \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; 0.1; 0.2) &= & 0.1 \\
 \text{Faktor } k &= 0.5 \cdot \left( 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2 \right) &= & 0.57 \\
 \text{Knickbeiwert } k_{c,y} &= \text{MIN}\left(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}; 1\right) &= & 1.00
 \end{aligned}$$

Kippbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.9.3):

Um die starke Achse

$$\begin{aligned}
 \lambda_{rel,m} &= 1.15 \cdot \frac{\sqrt{l_k \cdot h}}{b} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} &= & 0.40 \\
 \text{Kippbeiwert } k_{m,y} &= \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m}; 1 / \lambda_{rel,m}^2)) &= & 1.00 \\
 \text{Höhenbeiwert } k_h &= \text{MIN}(1.1; \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; \left(\frac{600}{h}\right)^{0.1}; 1)) &= & 1.06
 \end{aligned}$$

#### Stabilitätsnachweis um starke Achse (SIA 265 Formel 37)

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{c,0,d}}{\eta_w \cdot k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{\eta_w \cdot k_{m,y} \cdot k_h \cdot f_{m,d}} = 0.59 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



### Druck mit Biegung um z-Achse:

$$\text{Widerstandsmoment } W_z = \frac{h \cdot b^2}{6} = \frac{320 \cdot 120^2}{6} = 768000 \text{ mm}^3$$

$$\text{Biegegrandspannung } \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,Ed} \cdot 10^6}{W_z} = \frac{0.00 \cdot 10^6}{768000} = 0.00 \text{ N/mm}^2$$

Knickbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.8):

Um die schwache Achse

$$\text{Trägheitsradius } i_z = \frac{b}{\sqrt{12}} = \frac{120}{\sqrt{12}} = 34.64 \text{ mm}$$

$$\text{geom. Schlankheit } \lambda = \frac{l_k}{i_z} = \frac{2100}{34.64} = 60.62$$

$$\text{rel. Schlankheit } \lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{60.62}{3.14159} \cdot \sqrt{\frac{24.0}{9400}} = 0.98$$

$$\text{Hilfswert } \beta_c = \text{WENN}(\text{BS}="Brettschichtholz"; 0.1; 0.2) = 0.1$$

$$\text{Faktor } k = 0.5 \cdot \left( 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2 \right) = 1.01$$

$$\text{Knickbeiwert } k_{c,z} = \text{MIN}\left(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}; 1\right) = 0.80$$

Kippbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.9.3):

Um die schwache Achse

$$\lambda_{rel,m} = 1.15 \cdot \frac{\sqrt{l_k \cdot b}}{h} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 0.09$$

$$\text{Kippbeiwert } k_{m,z} = \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m}; 1/\lambda_{rel,m}^2)) = 1.00$$

$$\text{Höhenbeiwert } k_h = \text{MIN}\left(1.1; \text{WENN}(\text{BS}="Brettschichtholz"; \left(\frac{600}{h}\right)^{0.1}; 1)\right) = 1.06$$

### Stabilitätsnachweis um swache Achse (SIA 265 Formel 37)

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{c,0,d}}{\eta_w \cdot k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{\eta_w \cdot k_{m,z} \cdot k_h \cdot f_{m,d}} = 0.56 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = \text{Nachweis erfüllt}$$

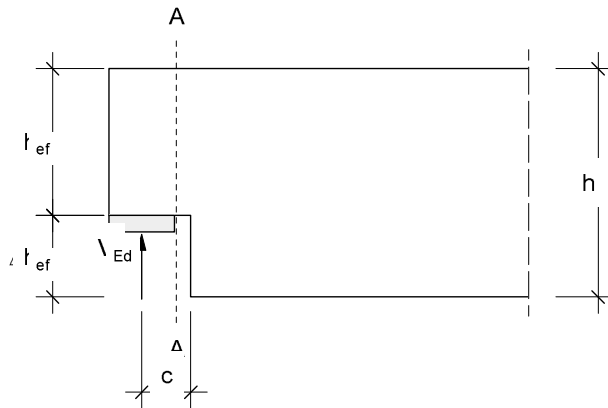
### Festigkeitsnachweis (SIA 265 Formel 22)

$$\text{Ausnutzung: } \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{\eta_w \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{\eta_w \cdot k_h \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{\eta_w \cdot k_h \cdot f_{m,d}} = 0.35 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = \text{Nachweis erfüllt}$$

## Kapitel Ausklinkungen

### Auslinkung mit Verstärkung



#### Eingaben:

##### Träger:

Breite b =		200 mm
Höhe h =		450 mm
Höhe h <sub>ef</sub> =		300 mm
Höhe Δh <sub>ef</sub> =	h-h <sub>ef</sub>	= 150 mm
Abstand c =		100 mm

Material Mat:	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Brettschichtholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=Mat)	=	GL24h
Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor η <sub>w</sub> :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor η <sub>t</sub> :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### **Belastung (Massgebende Lastkombination Tragsicherheit):**

Bemessungskraft V<sub>Ed</sub> = 30.00 kN

Die Reduktion der Querkraft für den Schubnachweis gemäss SIA 265 (4.2.7.2) ist bei Ausklinkungen im Auflagerbereich nicht zulässig. Somit ist die massgebende Querkraft V<sub>Ed,red</sub> im Schnitt A-A:

Querkraft für Schubnachweis V<sub>Ed,red</sub> = 28.00 kN

#### Nachweise

##### Querdruck:

Auflagerfläche A =	200*200	=	40000 mm <sup>2</sup>
Druck rechtwinklig f <sub>c,90,d</sub> =	TAB("SIA265/Holz"; fc90d; FK=FK)	=	1.90 N/mm <sup>2</sup>
Querdruckspannung σ <sub>c,90,d</sub> =	$\frac{V_{Ed} * 10^3}{A}$	=	0.75 N/mm <sup>2</sup>

**Ausnutzung:**  $\frac{\sigma_{c,90,d}}{\eta_w * \eta_t * f_{c,90,d}} = \frac{0.75}{1.0 * 1.0 * 1.90} = 0.39 \leq 1$

Nachweis: WENN(Ausnutzung≤1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Schub:

Bei rechtwinkligen, unverstärkten Ausklinkungen im Auflagerbereich gilt für den Schubnachweis im Schnitt A-A:

$$\tau_d = 1.5 \cdot \frac{V_{Ed,red} \cdot 10^3}{b \cdot h_{ef}} = 0.70 \text{ N/mm}^2$$

Reduktionsbeiwert  $k_{red}$  bei Schub mit **Querdruck** und bei schrägen Ausklinkungen mit Steigungen  $\leq 1:10$ :  
 $k_{red} = 1$

Reduktionsbeiwert  $k_{red}$  bei Schub mit **Querzug** (SIA 265\_5.2.2.1 Tabelle 12):

$$h_0 = \text{WENN}(\text{Mat}=\text{"Brettschichtholz"};45;25) = 45 \text{ mm}$$

$$k_{red} = \text{MIN}\left(\frac{\sqrt{h_0}}{\sqrt{h}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{h_{ef}}{h} - \left(\frac{h_{ef}}{h}\right)^2} + 0.8 \cdot \frac{c}{h} \cdot \sqrt{\frac{h}{h_{ef}} - \left(\frac{h_{ef}}{h}\right)^2}}}; 1\right) = 0.48 \leq 1$$

$$f_{v,d} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"}; f_{vd}; \text{FK}=\text{FK}) = 1.80 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Reduzierter Schub } f_{v,d,red} = k_{red} \cdot f_{v,d} \cdot \eta_w \cdot \eta_t = 0.86 \text{ N/mm}^2$$

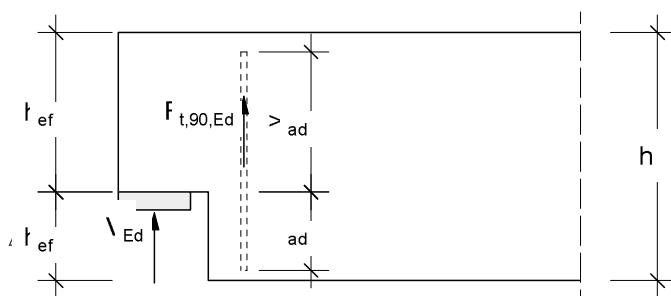
$$\text{Ausnutzung: } \frac{\tau_d}{\eta_w \cdot \eta_t \cdot f_{v,d,red}} = \frac{0.70}{1.0 \cdot 1.0 \cdot 0.86} = 0.81 \leq 1$$

$$\text{Nachweis: } \text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

**Bemerkung:** Wenn  $\tau_d > f_{v,d,red} \Rightarrow$  **Querzugverstärkung erforderlich!**

### Innenliegende Querzugverstärkung (SIA 265\_Anhang D.3)

#### Bemessungswert der Zugkraft für die Verstärkung



$$\text{Zugkraft } F_{t,90,Ed} = 1.3 \cdot (3 \cdot (\Delta h_{ef} / h)^2 - 2 \cdot (\Delta h_{ef} / h)^3) \cdot V_{Ed} = 10.11 \text{ kN}$$

Bemessungswert des Ausziehwiiderstands einer Schraubengruppe beträgt:

$$R_{ax,d} = n_{tot}^{0.9} \pi d l_{ef} f_{v,90,d} \quad (\text{SIA 265}_6.5.3.5)$$

Die Verstärkungselemente sind unter 90° zur Faserrichtung mit dem kleinstmöglichen Abstand zur Ausklinkungsecke anzuordnen. Die Verstärkung muss von der querzugbeanspruchten Seite min. über die 0.7-fache der Trägerhöhe h geführt werden. Bei innenliegenden Verstärkungen darf in Trägerlängsrichtung nur ein Verbindungsmittel in Rechnung gestellt werden.

### Wahl Verbindungsmittel: 2 Vollgewindeschrauben 8x 400mm

Schraubendurchmesser d =		8.0 mm
Schraubenlänge l =		400 mm
Anzahl n =		2
Wirksame Gewindelänge $l_{ef} = \text{MIN}(h-h_{ef}; l-(h-h_{ef}))$	=	150 mm
Rohdichte $\rho_k = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"}; \rho_k; \text{FK}=\text{FK})$	=	380 kg/m <sup>3</sup>
Faktor $k_d = \text{MIN}(d/8; 1)$	=	1
Auszeifestigkei $f_{ax,k} = 0.52 * d^{-0.5} * l_{ef}^{-0.1} * \rho_k^{0.8} * k_d$	=	12.90 N/mm <sup>2</sup>
Faktor $k_\alpha =$		0.62



Für Durchmesser  $6\text{mm} \leq d \leq 12\text{mm}$  (6.5.3.7)

$$\text{Scherfestigkeit } f_{v,90,d} = \frac{k_\alpha * f_{ax,k}}{\pi * (\sin(90)^2 + 1.2 * \cos(90)^2)} = 2.55 \text{ N/mm}^2$$

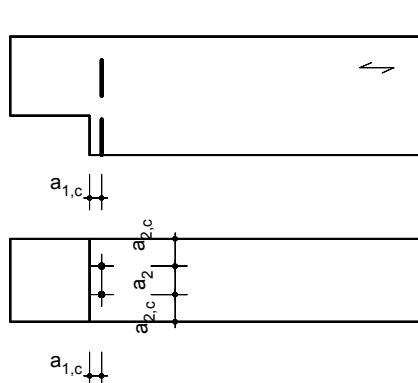
$$\text{Ausziehwiiderstand } R_{ax,d} = \frac{n^{0.9} * \pi * d * l_{ef} * f_{v,90,d}}{10^3} * \eta_w * \eta_t = 17.94 \text{ kN}$$

#### Nachweis:

**Ausnutzung:**  $\frac{F_{t,90,Ed}}{\eta_w * \eta_t * R_{ax,d}} = \frac{10.11}{1.0 * 1.0 * 17.94} = 0.56 < 1$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

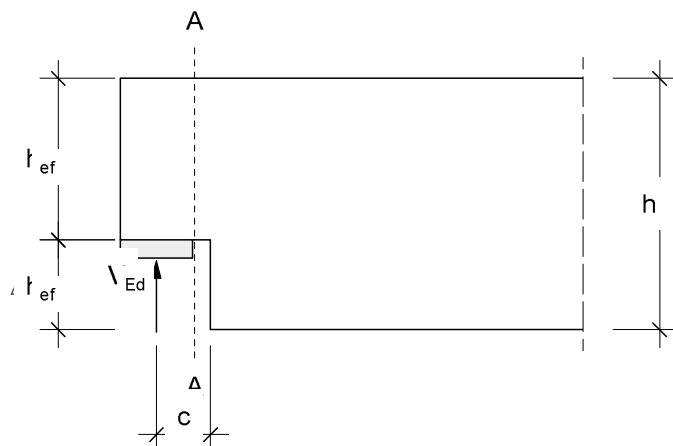
#### Mindestabstände:



Bei Beanspruchung in Schaftrichtung gelten bei Holzdicken  $t \geq 12d$  folgende minimale Abstände (SIA 265\_Tab. 34):

$a_{1,c} =$	$10 * d$	=	80 mm
$a_2 =$	$5 * d$	=	40 mm
$a_{2,c} =$	$4 * d$	=	32 mm

## Auslinkung Kerto-Q



### Eingaben:

#### Träger:

Breite b =		207 mm
Höhe h =		320 mm
Höhe h <sub>ef</sub> =		260 mm
Höhe Δh <sub>ef</sub> =	h - h <sub>ef</sub> =	60 mm
Abstand c =		100 mm
Auflagerfläche A =	160*200 =	32000 mm <sup>2</sup>

Klasse der Lasteinwirkungsdauer (Tabelle 15 SIA 265/1)

KLED =	GEW("SIA265/kmod"; K; )	=	mittel
Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1

Material Mat: GEW("SIA265/Kerto"; GR; ) = Furnierschichtholz

Baustoff BS: GEW("SIA265/Kerto"; B; ) = Kerto-Q 69  
 Dicke d: TAB("SIA265/Kerto"; D; B=BS) = 69.0 mm  
 Aufbau: TAB("SIA265/Kerto"; AUF; B=BS) = 2-4-3-3-4-2

Druck f<sub>c,90,k</sub> = TAB("SIA265/Kerto"; fc90k; B=BS) = 9.0 N/mm<sup>2</sup>  
 Schub f<sub>v,k</sub> = TAB("SIA265/Kerto"; fvk; B=BS) = 4.80 N/mm<sup>2</sup>  
 E-Modul E<sub>m</sub> = TAB("SIA265/Kerto"; E0mean; B=BS) = 10500 N/mm<sup>2</sup>  
 Schubmodul G = TAB("SIA265/Kerto"; Gmean; B=BS) = 500 N/mm<sup>2</sup>

Beiwert γ<sub>M</sub> = TAB("SIA265/GammaM"; gamaM; B=Mat) = 1.3  
 Beiwert η<sub>mod</sub> = TAB("SIA265/kmod"; k; B=Mat; N=KL; K=KLED) = 0.80  
 Kriechzahl φ = TAB("SIA265/KriechZ"; Kz; GR=Mat; FK=KL) = 0.60

### Belastung (massgebende Lastkombination Tragsicherheit):

Bemessungskraft V<sub>Ed</sub> = 48.00 kN

Die Reduktion der Querkraft für den Schubnachweis gemäss SIA 265 (4.2.7.2) ist bei Ausklinkungen im Auflagerbereich nicht zulässig. Somit ist die massgebende Querkraft V<sub>Ed,red</sub> im Schnitt A-A:

Querkraft für Schubnachweis V<sub>Ed,red</sub> = 48.00 kN





## Nachweise

### Querdruck:

$$\text{Druck rechtwinklig } f_{c,90,d} = f_{c,90,k} \cdot \frac{\eta_{\text{mod}}}{\gamma_M} = 5.54 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Querdruckspannung } \sigma_{c,90,d} = \frac{V_{\text{Ed}} \cdot 10^3}{A} = 1.50 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{c,90,d}}{f_{c,90,d}} = \frac{1.50}{5.54} = 0.27 \leq 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Schub (nach DIN 1052:2008 Kapitel 11.2):

Bei rechtwinkligen, unverstärkten Ausklinkungen im Auflagerbereich gilt für den Schubnachweis im Schnitt A-A:

$$\tau_d = 1.5 \cdot \frac{V_{\text{Ed,red}} \cdot 10^3}{b \cdot h_{\text{ef}}} = 1.5 \cdot \frac{48.00 \cdot 10^3}{207 \cdot 260} = 1.34 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = f_{v,k} \cdot \frac{\eta_{\text{mod}}}{\gamma_M} = 4.80 \cdot \frac{0.80}{1.3} = 2.95 \text{ N/mm}^2$$

Faktor  $k_h$  gemäss Zulassung Z-9.1-100 (Furnierschichtholz "Kerto-Q")

$$k_h = 16$$

Faktor  $k_g = 1$  bei einem Steigungswinkel des Ausschnitts von  $90^\circ$

$$k_g = 1$$

$$\alpha = h_{\text{ef}} / h = 0.81$$

$$k_{90} = \frac{k_h}{\sqrt{h \cdot 10^3} \cdot \left( \sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha)} + 0.8 \cdot \frac{c}{h} \cdot \sqrt{\frac{1 - \alpha^2}{\alpha}} \right)} = 0.49$$

$$k_v = \text{MIN}(1; k_{90} \cdot k_g) = 0.49$$

$$\text{Reduzierter Schub } f_{v,d,\text{red}} = k_v \cdot f_{v,d} = 1.45 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\tau_d}{f_{v,d,\text{red}}} = \frac{1.34}{1.45} = 0.92 \leq 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

Bemerkung: Wenn  $\tau_d > f_{v,d,\text{red}}$   $\Rightarrow$  Querzugverstärkung erforderlich!

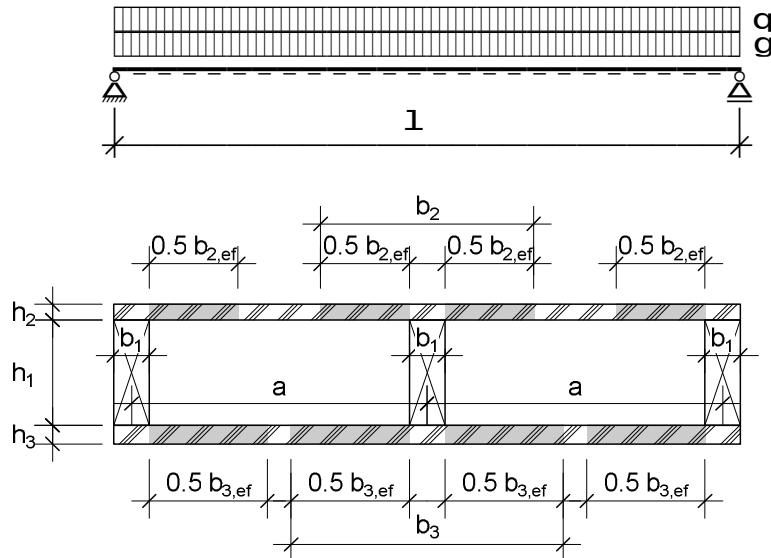
Bemessungswert der Zugkraft für die Verstärkung (SIA 265\_Anhang D.3.2):

$$\text{Zugkraft } F_{t,90,\text{Ed}} = 1.3 \cdot (3 \cdot (\Delta h_{\text{ef}} / h)^2 - 2 \cdot (\Delta h_{\text{ef}} / h)^3) \cdot V_{\text{Ed}} = 5.76 \text{ kN}$$

## Kapitel Hohlkastenträger

### Hohlkastenträger

Grundlagen für diese Vorlage sind SIA 265 (2012), SIA 265/1 (2009) und die SIA Dok. D0235. Die Berechnung der Durchbiegung basiert auf Angaben von Dr. Andrea Frangi ETH Zürich.



#### Eingaben

Spannweite $l =$	5000 mm
Klasse der Lasteinwirkungsdauer (Tabelle 15 SIA 265/1)	
KLED =	GEW("SIA265/kmod"; K; ) = mittel
Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; ) = 1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL) = 1.0

#### Rippen (Teilquerschnitt 1)

Baustoff Rippen $BS_1$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	= Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_1$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $BS_1$ )	= C24
Rohdichte $\rho_{k,1}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_1$ )	= 350 kg/m <sup>3</sup>
E-Modul $E_{m,1}$ =	TAB("SIA265/Holz"; E0mean; FK= $FK_1$ )	= 11000 N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul $G_1$ =	TAB("SIA265/Holz"; Gmean; FK= $FK_1$ )	= 500 N/mm <sup>2</sup>
Kriechzahl $\varphi_1$ =	TAB("SIA265/KriechZ"; Kz; GR= $BS_1$ ; FK=KL)	= 0.60

<b>Breite <math>b_1</math> =</b>	<b>100 mm</b>
<b>Höhe <math>h_1</math> =</b>	<b>160 mm</b>
<b>Rippenabstand <math>a</math> =</b>	<b>600 mm</b>

#### Beplankung oben (Teilquerschnitt 2)

Beplankung oben $BS_2$ =	GEW("SIA265/HWSHK"; GR; )	= 3-Schichtplatte
Plattentyp $typ_2$ =	GEW("SIA265/HWSHK"; B; GR= $BS_2$ .)	= Novatop Basic 27b
Plattendicke $h_2$ =	TAB("SIA265/HWSHK"; D; B= $typ_2$ )	= 27 mm
Plattenaufbau :	TAB("SIA265/HWSHK"; AUF; B= $typ_2$ )	= 9-9-9 mm
Biegefestigkeit $f_{m,k,2}$ =	TAB("SIA265/HWSHK"; fm0k; B= $typ_2$ )	= 28.9 N/mm <sup>2</sup>
Zugfestigkeit $f_{t,0,k,2}$ =	TAB("SIA265/HWSHK"; ft0k; B= $typ_2$ )	= 13.6 N/mm <sup>2</sup>



Druckfestigkeit $f_{c,0,k,2}$ =	TAB("SIA265/HWSHK"; fc0k; B=typ <sub>2</sub> )	=	20.3 N/mm <sup>2</sup>
Schubfestigkeit $f_{v,k,2}$ =	TAB("SIA265/HWSHK"; fvk; B=typ <sub>2</sub> )	=	3.0 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul längs $E_{t,2}$ =	TAB("SIA265/HWSHK"; Etmear; B=typ <sub>2</sub> )	=	7800 N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul $G_2$ =	TAB("SIA265/HWSHK"; Gmean; B=typ <sub>2</sub> )	=	600 N/mm <sup>2</sup>
Beiwert $\gamma_{M,2}$ =	TAB("SIA265/GammaM"; gamaM; B=BS <sub>2</sub> )	=	1.3
Beiwert $\eta_{mod,2}$ =	TAB("SIA265/kmod"; k; B=BS <sub>2</sub> ; N=KL; K=KLED)	=	0.80
Kriechzahl $\varphi_2$ =	TAB("SIA265/KriechZ"; Kz; GR=BS <sub>2</sub> ; FK=KL)	=	0.60

### Beplankung unten (Teilquerschnitt 3)

Beplankung unten BS <sub>3</sub> =	GEW("SIA265/HWSHK"; GR; )	=	3-Schichtplatte
Plattentyp typ <sub>3</sub> =	GEW("SIA265/HWSHK"; B; GR=BS <sub>3</sub> )	=	Novatop Basic 27b
Plattendicke h <sub>3</sub> =	TAB("SIA265/HWSHK"; D; B=typ <sub>3</sub> )	=	27 mm
Plattenaufbau :	TAB("SIA265/HWSHK"; AUF; B=typ <sub>3</sub> )	=	9-9-9 mm
Biegefestigkeit $f_{m,k,3}$ =	TAB("SIA265/HWSHK"; fm0k; B=typ <sub>3</sub> )	=	28.9 N/mm <sup>2</sup>
Zugfestigkeit $f_{t,0,k,3}$ =	TAB("SIA265/HWSHK"; ft0k; B=typ <sub>3</sub> )	=	13.6 N/mm <sup>2</sup>
Druckfestigkeit $f_{c,0,k,3}$ =	TAB("SIA265/HWSHK"; fc0k; B=typ <sub>3</sub> )	=	20.3 N/mm <sup>2</sup>
Schubfestigkeit $f_{v,k,3}$ =	TAB("SIA265/HWSHK"; fvk; B=typ <sub>3</sub> )	=	3.0 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul längs $E_{t,3}$ =	TAB("SIA265/HWSHK"; Etmear; B=typ <sub>3</sub> )	=	7800 N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul $G_3$ =	TAB("SIA265/HWSHK"; Gmean; B=typ <sub>3</sub> )	=	600 N/mm <sup>2</sup>
Beiwert $\gamma_{M,3}$ =	TAB("SIA265/GammaM"; gamaM; B=BS <sub>3</sub> )	=	1.3
Beiwert $\eta_{mod,3}$ =	TAB("SIA265/kmod"; k; B=BS <sub>3</sub> ; N=KL; K=KLED)	=	0.80
Kriechzahl $\varphi_3$ =	TAB("SIA265/KriechZ"; Kz; GR=BS <sub>3</sub> ; FK=KL)	=	0.60

### Einwirkungen (massgebende Lastkombination Tragsicherheit)

#### Ständige Einwirkungen (aus Belastungsannahme)

Eigengewicht + Auflast $g_k$ =			<b>2.05 kN/m<sup>2</sup></b>
Pro Rippe $g'_k$ =	$a * g_k / 10^3$	=	1.23 kN/m

#### Veränderliche Leiteinwirkung

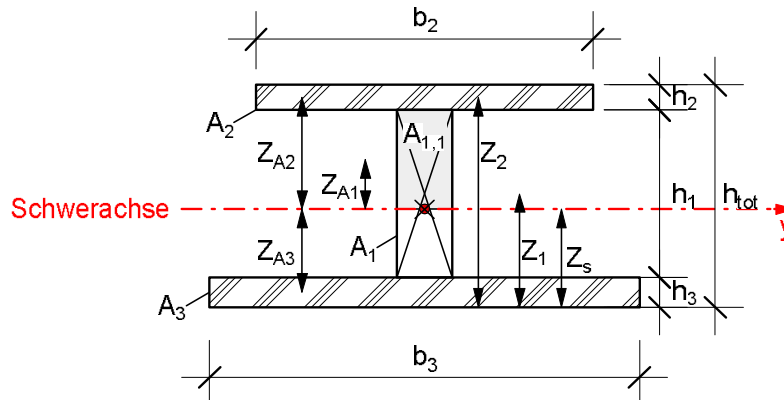
Für die Einwirkungen *Schnee, Wind und Temperatur* müssen die Lasten  $q_k$  selber berechnet werden (manuelle Eingabe).

Einwirkung Kat: GEW("SIA260/NutzL"; BSP; )	=	<b>Kat. A1: Wohnräume</b>
Nutzlast $q_k$ =	TAB("SIA260/NutzL"; qk; BSP=Kat)	= 2.00 kN/m <sup>2</sup>
Pro Rippe $q'_k$ =	$a * q_k / 10^3$	= 1.20 kN/m

Reduktionsbeiwerte gemäss SIA 260 tabelle 2

Mereshöhe $h_M$ =			<b>612 m</b>
$\psi_0$ =	TAB("SIA260/Red"; $\psi_0$ ; BSP=Kat; h=h <sub>M</sub> )	=	0.70
$\psi_1$ =	TAB("SIA260/Red"; $\psi_1$ ; BSP=Kat; h=h <sub>M</sub> )	=	0.50
$\psi_2$ =	TAB("SIA260/Red"; $\psi_2$ ; BSP=Kat; h=h <sub>M</sub> )	=	0.30

### Querschnittswerte des Hohlkastenträgers



### Mitragende Breiten

Werte gemäss SIA 265 Tabelle 13. Für **3-Schichtplatten** und **Furnierschichtholz** gilt:  $0.1 \cdot l$  und  $20 \cdot h$

Für **OSB-Platten**:  $0.15 \cdot l$  und  $25 \cdot h_2$

$$x_2 = \text{WENN}(BS_2="OSB/2" \text{ ODER } BS_2="OSB/3" \text{ ODER } BS_2="OSB/4"; 0.15; 0.1) = 0.10$$

$$y_2 = \text{WENN}(BS_2="OSB/2" \text{ ODER } BS_2="OSB/3" \text{ ODER } BS_2="OSB/4"; 25; 20) = 20.00$$

$$x_3 = \text{WENN}(BS_3="OSB/2" \text{ ODER } BS_3="OSB/3" \text{ ODER } BS_3="OSB/4"; 0.15; 0.1) = 0.10$$

$$\text{Druckseite } b_{ef,2} = \text{MIN}(a - b_1; x_2 \cdot l; y_2 \cdot h_2) = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Zugseite } b_{ef,3} = \text{MIN}(a - b_1; x_3 \cdot l) = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Breite } b_2 = b_1 + b_{ef,2} = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Breite } b_3 = b_1 + b_{ef,3} = 600 \text{ mm}$$

### Trägheitsmoment und Steifigkeit

$$\text{Fläche } A_1 = b_1 \cdot h_1 = 16000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Fläche } A_2 = b_2 \cdot h_2 = 16200 \text{ mm}^2$$

$$\text{Fläche } A_3 = b_3 \cdot h_3 = 16200 \text{ mm}^2$$

$$\text{Distanz } Z_1 = \frac{h_1}{2} + h_3 = 107.0 \text{ mm}$$

$$\text{Distanz } Z_2 = \frac{h_2}{2} + h_1 + h_3 = 200.5 \text{ mm}$$

$$\text{Distanz } Z_3 = \frac{h_3}{2} = 13.5 \text{ mm}$$

$$\text{Gesamthöhe } h_{tot} = h_1 + h_2 + h_3 = 214 \text{ mm}$$



**n-Verfahren (starrer Verbund):** Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften der Einzelnen Schichten werden berücksichtigt.  
Kraftumlagerungen infolge unterschiedlicher Kriechzahlen der Einzelnen Schichten müssen ebenfalls berücksichtigt werden (der stärker kriechende Werkstoff entzieht sich im Laufe der Zeit der Belastung).  
Der Anfangszustand ( $t=0$ ) und der Endzustand ( $t=\infty$ ) wird betrachtet.

### Anfangszustand ( $t=0$ )

$$\text{Vergleichsgrösse } E_V = E_{m,1} = 11000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Faktor } n_{1,0} = \frac{E_{m,1}}{E_V} = \frac{11000}{11000} = 1.000$$

$$\text{Faktor } n_{2,0} = \frac{E_{t,2}}{E_V} = \frac{7800}{11000} = 0.709$$

$$\text{Faktor } n_{3,0} = \frac{E_{t,3}}{E_V} = \frac{7800}{11000} = 0.709$$

$$\text{Schwerpunktlage } Z_{S,0} = \frac{\sum_{i=1}^3 n_{i,0} \cdot A_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^3 n_{i,0} \cdot A_i} = 107.00 \text{ mm}$$

$$\text{Trägheitsmoment } I_{y,0} = \sum_{i=1}^3 n_{i,0} \cdot \left( \frac{b_i \cdot h_i^3}{12} + (Z_i - Z_{S,0})^2 \cdot A_i \right) = 236352328 \text{ mm}^4$$

$$\text{Biegesteifigkeit } EI_{y,0} = E_V \cdot I_{y,0} = 2599875608000 \text{ Nmm}^2$$

### Endzustand ( $t=\infty$ )

$$\text{Vergleichsgrösse } \varphi_V = \varphi_1 = 0.60$$

$$\text{Faktor } n_{1,\infty} = \frac{E_{m,1} \cdot (1 + \varphi_V)}{E_V \cdot (1 + \varphi_1)} = \frac{11000 \cdot (1 + 0.60)}{11000 \cdot (1 + 0.60)} = 1.000$$

$$\text{Faktor } n_{2,\infty} = \frac{E_{t,2} \cdot (1 + \varphi_1)}{E_V \cdot (1 + \varphi_2)} = \frac{7800 \cdot (1 + 0.60)}{11000 \cdot (1 + 0.60)} = 0.709$$

$$\text{Faktor } n_{3,\infty} = \frac{E_{t,3} \cdot (1 + \varphi_1)}{E_V \cdot (1 + \varphi_3)} = \frac{7800 \cdot (1 + 0.60)}{11000 \cdot (1 + 0.60)} = 0.709$$

$$\text{Schwerpunktlage } Z_{S,\infty} = \frac{\sum_{i=1}^3 n_{i,\infty} \cdot A_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^3 n_{i,\infty} \cdot A_i} = 107.00 \text{ mm}$$

$$\text{Trägheitsmoment } I_{y,\infty} = \sum_{i=1}^3 n_{i,\infty} \cdot \left( \frac{b_i \cdot h_i^3}{12} + (Z_i - Z_{S,\infty})^2 \cdot A_i \right) = 236352328 \text{ mm}^4$$

$$\text{Biegesteifigkeit } EI_{y,\infty} = \frac{E_V}{1 + \varphi_V} \cdot I_{y,\infty} = 1624922255000 \text{ Nmm}^2$$



## Statisches Moment

### Anfangszustand (t=0)

$$\begin{aligned} \text{Distanz } Z_{A1} &= \frac{h_1 + h_3 - Z_{S,0}}{2} = 40.0 \text{ mm} \\ \text{Fläche } A_{1,1} &= 2 * Z_{A1} * b_1 = 8000.0 \text{ mm}^2 \\ \text{Distanz } Z_{A2} &= Z_2 - Z_{S,0} = 93.5 \text{ mm} \\ \text{Distanz } Z_{A3} &= Z_{S,0} - Z_3 = 93.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Statisches Moment für den Schnitt durch Schwerachse:

$$S_{y,1,0} = Z_{A1} * A_{1,1} + n_{2,0} * Z_{A2} * A_2 = 1393922 \text{ mm}^3$$

Statisches Moment für den Schnitt Rippe-Beplankung oben:

$$S_{y,2,0} = n_{2,0} * Z_{A2} * A_2 = 1073922 \text{ mm}^3$$

Statisches Moment für den Schnitt Rippe-Beplankung unten:

$$S_{y,3,0} = n_{3,0} * Z_{A3} * A_3 = 1073922 \text{ mm}^3$$

### Endzustand (t=∞)

$$\begin{aligned} \text{Distanz } Z_{A1} &= \frac{h_1 + h_3 - Z_{S,\infty}}{2} = 40.0 \text{ mm} \\ \text{Fläche } A_{1,1} &= 2 * Z_{A1} * b_1 = 8000.0 \text{ mm}^2 \\ \text{Distanz } Z_{A2} &= Z_2 - Z_{S,\infty} = 93.5 \text{ mm} \\ \text{Distanz } Z_{A3} &= Z_{S,\infty} - Z_3 = 93.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Statisches Moment für den Schnitt durch die Schwerachse:

$$S_{y,1,\infty} = Z_{A1} * A_{1,1} + n_{2,\infty} * Z_{A2} * A_2 = 1393922 \text{ mm}^3$$

Statisches Moment für den Schnitt Rippe-Beplankung 2:

$$S_{y,2,\infty} = n_{2,\infty} * Z_{A2} * A_2 = 1073922 \text{ mm}^3$$

Statisches Moment für den Schnitt Rippe-Beplankung 2:

$$S_{y,3,\infty} = n_{3,\infty} * Z_{A3} * A_3 = 1073922 \text{ mm}^3$$

## 1. Grenzzustand Tragsicherheit Typ 2

Massgebende Bemessungssituation:

-Eigenlast + Auflast + Nutzlast (SIA 260 Formel 16)

Lastbeiwerte gemäss SIA 260 Tabelle 1

$$\text{Lastbeiwert } \gamma_G = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_G; S=\text{"ungünstig"}) = 1.35$$

$$\text{Lastbeiwert } \gamma_Q = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_Q; S=\text{"allgemein"}) = 1.50$$

$$\text{Massgebender Lastfall } q_{ED} = \gamma_G * g_k + \gamma_Q * q_k = 5.77 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pro Rippe } q'_{ED} = a * q_{ED} / 10^3 = 3.46 \text{ kN/m}$$



## 1.1 Tragsicherheit Biegemoment

$$\text{maximales Biegemoment } M_{ED} = \frac{q'_{ED} * (l/10^3)^2}{8} = \frac{3.46 * (5000/10^3)^2}{8} = 10.81 \text{ kNm}$$

### Steg oben:

maximale Biegeandspannung (Biegedruckspannung), massgebend ist  $t = \infty$

$$\sigma_{m,d,1,o} = \frac{M_{ED} * 10^6 * (h_{tot} - Z_{S,0} - h_2)}{I_{y,0}} = \frac{10.81 * 10^6 * (214 - 107.00 - 27)}{236352328} = 3.66 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,d,1,o} = \frac{M_{ED} * 10^6 * (h_{tot} - Z_{S,\text{y}} - h_2)}{I_{y,\text{y}}} = \frac{10.81 * 10^6 * (214 - 107.00 - 27)}{236352328} = 3.66 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d,1} = \eta_w * \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; fmd; FK=FK}_1) = 14.00 \text{ N/mm}^2$$

**Ausnutzung:**  $\frac{\sigma_{m,d,1,o}}{f_{m,d,1}} = \frac{3.66}{14.00} = 0.26 \leq 1$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Steg unten:

maximale Biegeandspannung (Biegezugspannung), massgebend ist  $t = \infty$

$$\sigma_{m,d,1,u} = \frac{M_{ED} * 10^6 * (Z_{S,\text{y}} - h_3)}{I_{y,\text{y}}} = \frac{10.81 * 10^6 * (107.00 - 27)}{236352328} = 3.66 \text{ N/mm}^2$$

**Ausnutzung:**  $\frac{\sigma_{m,d,1,u}}{f_{m,d,1}} = \frac{3.66}{14.00} = 0.26 \leq 1$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Obere Beplankung:

maximale Biegeandspannung (Biegedruckspannung), massgebend ist  $t = 0$

$$\sigma_{m,d,2} = n_{2,0} * \frac{M_{ED} * 10^6 * (h_{tot} - Z_{S,0})}{I_{y,0}} = 0.709 * \frac{10.81 * 10^6 * (214 - 107.00)}{236352328} = 3.47 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,d,2} = n_{2,\text{y}} * \frac{M_{ED} * 10^6 * (h_{tot} - Z_{S,\text{y}})}{I_{y,\text{y}}} = 0.709 * \frac{10.81 * 10^6 * (214 - 107.00)}{236352328} = 3.47 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d,2} = \frac{\eta_{mod,2} * f_{m,k,2}}{\gamma_{M,2}} = \frac{0.80 * 28.9}{1.3} = 17.78 \text{ N/mm}^2$$

**Ausnutzung:**  $\frac{\sigma_{m,d,2}}{f_{m,d,2}} = \frac{3.47}{17.78} = 0.20 \leq 1$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

maximale Druckspannung im Schwerpunkt der Beplankung, massgebend ist  $t = 0$

$$\sigma_{c,0,d,2} = n_{2,0} * \frac{M_{ED} * 10^6 * Z_{A2}}{I_{y,0}} = 0.709 * \frac{10.81 * 10^6 * 93.5}{236352328} = 3.03 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d,2} = \frac{\eta_{mod,2} * f_{c,0,k,2}}{\gamma_{M,2}} = \frac{0.80 * 20.3}{1.3} = 12.49 \text{ N/mm}^2$$

**Ausnutzung:**  $\frac{\sigma_{c,0,d,2}}{f_{c,0,d,2}} = \frac{3.03}{12.49} = 0.24 \leq 1$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**



### Untere Beplankung:

maximale Biegerandspannung (Biegezugspannung)  
massgebend ist  $t = 0$

$$\sigma_{m,d,3} = n_{3,0} * \frac{M_{ED} * 10^6 * Z_{S,0}}{I_{y,0}} = 0.709 * \frac{10.81 * 10^6 * 107.00}{236352328} = 3.47 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d,3} = \frac{\eta_{mod,3} * f_{m,k,3}}{\gamma_{M,3}} = \frac{0.80 * 28.9}{1.3} = 17.78 \text{ N/mm}^2$$

**Ausnutzung:**  $\frac{\sigma_{m,d,3}}{f_{m,d,3}} = \frac{3.47}{17.78} = 0.20 \leq 1$

WENN(Ausnutzung  $\leq 1$ ; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

maximale Zugspannung im Schwerpunkt der Beplankung  
massgebend ist  $t = 0$

$$\sigma_{t,0,d,2} = n_{3,0} * \frac{M_{ED} * 10^6 * Z_{A3}}{I_{y,0}} = 0.709 * \frac{10.81 * 10^6 * 93.5}{236352328} = 3.03 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,d,2} = \frac{\eta_{mod,2} * f_{t,0,k,2}}{\gamma_{M,2}} = \frac{0.80 * 13.6}{1.3} = 8.37 \text{ N/mm}^2$$

**Ausnutzung:**  $\frac{\sigma_{t,0,d,2}}{f_{t,0,d,2}} = \frac{3.03}{8.37} = 0.36 \leq 1$

WENN(Ausnutzung  $\leq 1$ ; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### 1.2 Tragsicherheit Querkraft

maximale Querkraft  $V_{ED} = \frac{q'_{ED} * l / 10^3}{2} = \frac{3.46 * 5000 / 10^3}{2} = 8.65 \text{ kN}$

### Steg:

maximale Schubspannung in Schwerachse  
massgebend ist  $t = \infty$

$$\tau_{v,d,1} = \frac{V_{ED} * 10^3 * S_{y,1,0}}{b_1 * I_{y,0}} = \frac{8.65 * 10^3 * 1393922}{100 * 236352328} = 0.51 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{v,d,1} = \frac{V_{ED} * 10^3 * S_{y,1,\cancel{0}}}{b_1 * I_{y,\cancel{0}}} = \frac{8.65 * 10^3 * 1393922}{100 * 236352328} = 0.51 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d,1} = \eta_w * \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; fvd; FK=FK}_1) = 1.50 \text{ N/mm}^2$$

**Ausnutzung:**  $\frac{\tau_{v,d,1}}{f_{v,d,1}} = \frac{0.51}{1.50} = 0.34 \leq 1$

WENN(Ausnutzung  $\leq 1$ ; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**





### Obere Beplankung:

maximale Schubspannung bei der Fuge Steg-Beplankung  
massgebend ist  $t = 0$

$$\tau_{v,d,2} = \frac{V_{ED} \cdot 10^3 \cdot S_{y,2,0}}{b_1 \cdot I_{y,0}} = \frac{8.65 \cdot 10^3 \cdot 1073922}{100 \cdot 236352328} = 0.39 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{v,d,2} = \frac{V_{ED} \cdot 10^3 \cdot S_{y,2,\neq}}{b_1 \cdot I_{y,\neq}} = \frac{8.65 \cdot 10^3 \cdot 1073922}{100 \cdot 236352328} = 0.39 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d,2} = \frac{\eta_{mod,2} \cdot f_{v,k,2}}{\gamma_{M,2}} = \frac{0.80 \cdot 3.0}{1.3} = 1.85 \text{ N/mm}^2$$

**Ausnutzung:**  $\frac{\tau_{v,d,2}}{f_{v,d,2}} = \frac{0.39}{1.85} = 0.21 \leq 1$

WENN(Ausnutzung  $\leq 1$ ; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Untere Beplankung:

maximale Schubspannung bei der Fuge Steg-Beplankung  
massgebend ist  $t = 0$

$$\tau_{v,d,3} = \frac{V_{ED} \cdot 10^3 \cdot S_{y,3,0}}{b_1 \cdot I_{y,0}} = \frac{8.65 \cdot 10^3 \cdot 1073922}{100 \cdot 236352328} = 0.39 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d,3} = \frac{\eta_{mod,3} \cdot f_{v,k,3}}{\gamma_{M,3}} = \frac{0.80 \cdot 3.0}{1.3} = 1.85 \text{ N/mm}^2$$

**Ausnutzung:**  $\frac{\tau_{v,d,3}}{f_{v,d,3}} = \frac{0.39}{1.85} = 0.21 \leq 1$

WENN(Ausnutzung  $\leq 1$ ; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

Hinweis: Für den massgebenden Bemessungswert der Schubfestigkeit für die Beplankung ist die Orientierung der Faserrichtung der Decklage zu beachten. Falls die Faserrichtung der Decklage nicht parallel zur Beanspruchungsrichtung (bzw. zu den Stegen) ist, muss die Schubfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung (Rollschub) eingesetzt werden.

### 1.3 Tragsicherheit Biegemoment bei mangelhafter Verklebung (aussergewöhnliche Bemessungssituation)

Massgebende aussergewöhnliche Bemessungssituation:

-Eigenlast + Auflast + quasi-ständiger Anteil Nutzlast (SIA 260\_4.4.3.5)

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{ED,ständig} = g'_k + \psi_2 \cdot q'_k = 1.23 + 0.30 \cdot 1.20 = 1.59 \text{ kN/m}$$

$$\text{maximales Biegemoment } M_{ED,ständig} = \frac{q'_{ED,ständig} \cdot (l/1000)^2}{8} = 4.97 \text{ kNm}$$

Bei fehlender Verbundwirkung trägt der Steg des Hohlkastenträgers die vorhandenen Lasten praktisch vollständig ab. Die Beplankung übernimmt dabei keine Lasten.

$$\text{Widerstandsmoment Steg } W_{y,1} = \frac{b_1 \cdot h_1^2}{6} = \frac{100 \cdot 160^2}{6} = 426667 \text{ mm}^3$$



maximale Biegegrandspannung im Steg:

$$\sigma_{m,d,1,ständig} = \frac{M_{ED,ständig} \cdot 10^6}{W_{y,1}} = \frac{4.97 \cdot 10^6}{426667} = 11.65 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d,1} = \eta_w \cdot \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; fmd; FK=FK}_1) = 14.00 \text{ N/mm}^2$$

**Ausnutzung:**  $\frac{\sigma_{m,d,1,ständig}}{f_{m,d,1}} = \frac{11.65}{14.00} = 0.83 \leq 1$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

## 2. Gebrauchstauglichkeit

### Voraussetzungen

- Es werden die Grenzzustände Aussehen und Funktionstüchtigkeit (häufige und seltene Lastfall) untersucht.
- Für die reduzierte Schubfläche wird näherungsweise **nur die Fläche der Rippe** angesetzt.

### 2.1 Durchbiegung Grenzzustand Aussehen

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Aussehen, reversible Folgen eines **quasi-ständigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + quasi-ständige Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{ED,ständig} = g'_k + \psi_2 \cdot q'_k = 1.23 + 0.30 \cdot 1.20 = 1.59 \text{ kN/m}$$

Der **gesamte** Anteil der Einwirkung ist Kriechwirksam

Durchbiegung in Feldmitte (massgebend ist  $t = \infty$ )

$$W_{ED,ständig,\infty} = \frac{5 \cdot q'_{ED,ständig} \cdot l^4}{384 \cdot E I_{y,\neq}} + \frac{q'_{ED,ständig} \cdot l^2}{8 \cdot \frac{G_1}{1 + \varphi_1} \cdot A_1} = 9 \text{ mm}$$

$$\text{Bruchteil der Spannweite} = l / W_{ED,ständig,\infty} = 556$$

Richtwert für den Grenzzustand Aussehen nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{CD} = \frac{l}{300} = \frac{5000}{300} = 17 \text{ mm}$$

**Nachweis:**  $\frac{W_{ED,ständig,\neq}}{W_{CD}} = \frac{9}{17} = 0.53 \leq 1$

WENN(Nachweis $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**



### 2.2 Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit mit duktilem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, reversible Folgen eines **häufigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + häufige Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{ED,\text{häufig}} = g'_k + \psi_1 * q'_k = 1.23 + 0.50 * 1.20 = 1.83 \text{ kN/m}$$

Nur der ständige Anteil der Einwirkung ist Kriechwirksam

#### Durchbiegung zum Endpunkt des Kriechens

Durchbiegung aus Biegung infolge ständiger Lasten ( $t=\infty$ ) und Nutzlast (kriechwirksam:  $\psi_2$ )

$$W_{\text{brutto},M,\infty} = \frac{5 * q'_{ED,\text{ständig}} * l^4}{384 * E_{I,y,\neq}} + \frac{5 * (\psi_1 - \psi_2) * q'_k * l^4}{384 * E_{I,y,0}} = 8.7 \text{ mm}$$

Durchbiegung aus Schubverformung infolge ständiger Lasten ( $t=\infty$ ) und Nutzlast (kriechwirksam:  $\psi_2$ )

$$W_{\text{brutto},V,\infty} = (1 + \varphi_1) * \frac{q'_{ED,\text{ständig}} * l^2}{8 * G_1 * A_1} + \frac{(\psi_1 - \psi_2) * q'_k * l^2}{8 * G_1 * A_1} = 1.1 \text{ mm}$$

Gesamtdurchbiegung infolge ständiger Lasten ( $t=\infty$ ) und Nutzlast (kriechwirksam:  $\psi_2$ )

$$W_{ED,\text{häufig},\infty} = W_{\text{brutto},M,\neq} + W_{\text{brutto},V,\neq} = 8.7 + 1.1 = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Bruchteile der Spannweite} = l / W_{ED,\text{häufig},\infty} = 500$$

Richtwert für den Grenzzustand Funktionstüchtigkeit nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{CD} = \frac{l}{350} = \frac{5000}{350} = 14.3 \text{ mm}$$

$$\text{Nachweis: } \frac{W_{ED,\text{häufig},\neq}}{W_{CD}} = \frac{10}{14.3} = 0.70 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Nachweis} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt!"; "Nachweis nicht erfüllt!"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### 2.3 Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, Einbauten mit spödem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, irreversible Folgen eines **seltene**n Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + seltene Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{ED,\text{seltene}} = g'_k + q'_k = 1.23 + 1.20 = 2.43 \text{ kN/m}$$

Nur der ständige Anteil der Einwirkung ist Kriechwirksam

#### Durchbiegung zum Endpunkt des Kriechens

Durchbiegung aus Biegung infolge ständiger Lasten ( $t=\infty$ ) und Nutzlast (kriechwirksam:  $\psi_2$ )

$$W_{\text{brutto},M,\infty} = \frac{5 * q'_{ED,\text{ständig}} * l^4}{384 * E_{I,y,\neq}} + \frac{5 * (1 - \psi_2) * q'_k * l^4}{384 * E_{I,y,0}} = 10.6 \text{ mm}$$

Durchbiegung aus Schubverformung infolge ständiger Lasten ( $t=\infty$ ) und Nutzlast (kriechwirksam:  $\psi_2$ )



$$W_{\text{brutto},V,\infty} = (1 + \varphi_1) * \frac{q'_{\text{ED,ständig}} * l^2}{8 * G_1 * A_1} + \frac{(1 - \psi_2) * q'_k * l^2}{8 * G_1 * A_1} = 1.3 \text{ mm}$$

$$W_{\text{ED,selten},\infty} = W_{\text{brutto},M,\neq} + W_{\text{brutto},V,\neq} = 10.6 + 1.3 = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Bruchteil der Spannweite} = l / W_{\text{ED,selten},\infty} = 417$$

Richtwert für den Grenzzustand Funktionstüchtigkeit nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{CD}} = \frac{l}{500} = \frac{5000}{500} = 10.0 \text{ mm}$$

$$\text{Nachweis: } \frac{W_{\text{ED,selten},\neq}}{W_{\text{CD}}} = \frac{12}{10.0} = 1.20 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Nachweis} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis nicht erfüllt !}$$

Betrachtet man die Durchbiegung **nach dem Einbau** der relevanten nicht tragenden Bauteile (z.B. ein Fenster), so darf gemäss SIA 260\_Tabelle 3 Fussnote 2 die elastische Anfangsdurchbiegung infolge ständiger Lasten  $g_k$  abgezogen werden.

### Elastische Anfangsdurchbiegung infolge ständiger Lasten $g_k$

Durchbiegung aus Biegung infolge ständiger Lasten ( $t=0$ )

$$W_{\text{gk},M,0} = \frac{5 * g'_k * l^4}{384 * E I_{y,0}} = \frac{5 * 1.23 * 5000^4}{384 * 2599875608000} = 3.9 \text{ mm}$$

Durchbiegung aus Schubverformung der Rippen infolge ständiger Lasten ( $t=0$ )

$$W_{\text{gk},V,0} = \frac{g_k * l^2}{8 * G_1 * A_1} = \frac{2.05 * 5000^2}{8 * 500 * 16000} = 0,8 \text{ mm}$$

Gesamtdurchbiegung infolge ständiger Lasten ( $t=0$ )

$$W_{\text{gk},0} = W_{\text{gk},M,0} + W_{\text{gk},V,0} = 4.7 \text{ mm}$$

Gesamtdurchbiegung infolge ständiger Lasten ( $t=\infty$ ) und Nutzlast (kriechwirksam:  $\psi_2$ ) **nach** dem Einbau der relevanten nicht tragenden Bauteile (Abzug der elastischen Anfangsdurchbiegung gemäss SIA 260\_Tabelle 3 Fussnote 2)

$$W_{\text{ED,selten2},\infty} = W_{\text{brutto},M,\neq} + W_{\text{brutto},V,\neq} - W_{\text{gk},0} = 10.6 + 1.3 - 4.7 = 7 \text{ mm}$$

Richtwert für den Grenzzustand Funktionstüchtigkeit nach SIA 260 Tabelle 3

$$W_{\text{CD}} = \frac{l}{500} = \frac{5000}{500} = 10,0 \text{ mm}$$

$$\text{Nachweis: } \frac{W_{\text{ED,selten2},\neq}}{W_{\text{CD}}} = \frac{7}{10.0} = 0.70 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Nachweis} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



## 2.4 Schwingungsnachweis

Die Nachweise werden gemäss dem Bemessungsvorschlag von Kreuzinger-Mohr (siehe SIA Dokumentation D0195, S. 53) geführt.

Die Masse infolge **quasi ständiger** Einwirkungen beträgt:

$$q_d = g_k + \psi_2 \cdot q_k = 2.05 + 0.30 \cdot 2.00 = 2.65 \text{ kN/m}^2$$
$$m = \frac{q_d \cdot 10^3}{9.81} = \frac{2.65 \cdot 10^3}{9.81} = 270 \text{ kg/m}^2$$

Dämpfungskoeffizient für Decken aus verklebten, flächig wirkenden Elementen (HBT1 2012, S. 47):

$$\text{Dämpfungskoeffizient } \xi = \text{TAB}(\text{"SIA265/HK"; Y; X=1}) = 0.02$$

Biegesteifigkeit in Haupttragrichtung pro m Deckenbreite:

$$EI_l = \frac{EI_{y,0}}{a/10^3} = \frac{2599875608000}{600/10^3} = 4.333 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2/\text{m}$$

Biegesteifigkeit rechtwinklig zur Haupttragrichtung pro m Deckenbreite (vereinfacht wird nur die obere und untere Beplankung berücksichtigt):

$$\text{obere Beplankung } E_{90,\text{mean},2} = \text{TAB}(\text{"SIA265/HWSHK"; E90mean; B=typ2}) = 800 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{untere Beplankung } E_{90,\text{mean},3} = \text{TAB}(\text{"SIA265/HWSHK"; E90mean; B=typ3}) = 800 \text{ N/mm}^2$$

$$EI_b = E_{90,\text{mean},2} \cdot \frac{1000 \cdot h_2^3}{12} + E_{90,\text{mean},3} \cdot \frac{1000 \cdot h_3^3}{12} = 2.624 \cdot 10^9 \text{ Nmm}^2/\text{m}$$

Hinweis: Bei der Beurteilung des Schwingungsverhalten dürfen für die Biegesteifigkeit rechtwinklig zur Haupttragrichtung ( $EI_b$ ) Schichten wie z.B. Zement-Unterlagsböden, die normalerweise als nichttragend eingestuft werden, mitberücksichtigt werden (SIA Dokumentation D 0195, S.55).

Rechnerische mitwirkende Breite

$$b_{m,\text{rechn}} = \frac{l/10^3}{1.1} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_b}{EI_l}} = 0.71 \text{ m}$$

Frequenzanforderung (Resonanz- bzw. Schwingungsbeschleunigung)

### 1. Eigenfrequenz:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_l \cdot 10^6}{m}} = 8.0 \text{ Hz} \geq 8 \text{ Hz}$$

$$\text{WENN}(f_1 > 8.0; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis nicht erfüllt !}$$

Liegt die 1. Eigenfrequenz **über 8 Hz** ist ein zusätzlicher Nachweis der Schwingbeschleunigung nicht erforderlich. Falls die 1. Eigenfrequenz **unter 8 Hz** liegt, muss die effektive Schwingbeschleunigung  $a_{Ed}$  untersucht werden.

**Schwingbeschleunigung:** Nachweis gilt nur wenn  $3.4 \text{ Hz} < f_1 < 8 \text{ Hz}$

Fournierkoeffizient:

$$\alpha_F = \text{WENN}(f_1 > 3.4 \text{ UND } f_1 \leq 5.1; 0.2; \text{WENN}(f_1 > 5.1 \text{ UND } f_1 \leq 8.0; 0.06; 0)) = 0.06$$

Anregungsfrequenz:



$$f_F = \text{WENN}(f_1 > 3.4 \text{ UND } f_1 \leq 6.9; f_1; \text{WENN}(f_1 > 6.9 \text{ UND } f_1 \leq 8.0; 6.9; 0)) = 6.9 \text{ Hz}$$

$$\text{Gewichtskraft einer Person } F_0 = \text{TAB}(\text{"SIA265/HK"}; Y; X=4) = 700 \text{ N}$$

$$\text{generalisierte Masse } M_{\text{gen}} = m \cdot \frac{l/10^3}{2} \cdot b_{m,\text{rechn}} = 270 \cdot \frac{5000/10^3}{2} \cdot 0.71 = 479 \text{ kg}$$

Grenzwert  $a_{Cd}$  der Schwingbeschleunigung, um störende Auswirkungen zu vermeiden:

$$a_{Cd} = \text{TAB}(\text{"SIA265/HK"}; Y; X=2) = 0.1 \text{ m/s}^2$$

effektive Schwingbeschleunigung:

$$a_{Ed} = 0.4 \cdot \frac{F_0 \cdot \alpha_F}{M_{\text{gen}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\left(\frac{f_1}{f_F}\right)^2 - 1\right)^2 + \left(2 \cdot \xi \cdot \frac{f_1}{f_F}\right)^2}} = 0.10 \text{ m/s}^2 \leq a_{Cd}$$

$$\text{WENN}(a_{Ed} \leq a_{Cd}; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt!"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Steifigkeitsanforderung:

Der Nachweis kann näherungsweise durch die Beschränkung der statischen Durchbiegung unter einer Einheitslast von 1 kN geführt werden

Der Grenzwert für die Hohlkastendecke mit einem Dämpfungskoeffizient  $x = 0.02$  als einfacher Balken beträgt:

$$W_{Cd} = \text{TAB}(\text{"SIA265/HK"}; Y; X=3) = 1.15 \text{ mm}$$

Durchbiegung infolge einer Einheitslast  $F$ :

$$W_F = \frac{1000 \cdot l^3}{48 \cdot b_{m,\text{rechn}} \cdot E I_I} = 0.85 \text{ mm} \leq W_{Cd}$$

$$\text{WENN}(W_F \leq W_{Cd}; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt!"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Massenanforderung:

Die effektive Schwinggeschwindigkeit  $v_{E,Ed}$  infolge eines Einheitsimpulses von 1 Ns kann wie folgt abgeschätzt werden:

$$\text{Grenzwert } v_{E,Cd} = \frac{1000}{3} \cdot 100^{(f_1 \cdot \xi - 1)} = \frac{1000}{3} \cdot 100^{(8.0 \cdot 0.02 - 1)} = 6.96 \text{ mm/s}$$

$$\text{Schwinggeschwindigkeit } v_{E,Ed} = \frac{364 \cdot 10^3}{b_{m,\text{rechn}} \cdot \sqrt[4]{m^3 \cdot E I_I}} = 5.33 \text{ mm/s}$$

$$\text{Nachweis : } \frac{v_{E,Ed}}{v_{E,Cd}} = \frac{5.33}{6.96} = 0.77 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Nachweis} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt!"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



## Zusammenfassung der Nachweise

### 1. Grenzzustand Tragsicherheit Typ 2

Massgebende Bemessungssituation:

-Eigenlast + Auflast + Nutzlast (SIA 260 Formel 16), Lastbeiwerte gemäss SIA 260 Tabelle 1

$$\text{Massgeb. Lastfall } q_{ED} = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k = 1.35 \cdot 2.05 + 1.50 \cdot 2.00 = 5.77 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{max. Biegemoment } M_{ED} = \frac{q'_{ED} \cdot (l/1000)^2}{8} = \frac{3.46 \cdot (5000/1000)^2}{8} = 10.81 \text{ kNm}$$

$$\text{max. Querkraft } V_{ED} = \frac{q'_{ED} \cdot l/1000}{2} = \frac{3.46 \cdot 5000/1000}{2} = 8.65 \text{ kN}$$

#### 1.1 Tragsicherheit Biegemoment

Steg oben:

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{m,d,1,o}}{f_{m,d,1}} = \frac{3.66}{14.00} = 0.26 \leq 1$$

Steg unten:

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{m,d,1,u}}{f_{m,d,1}} = \frac{3.66}{14.00} = 0.26 \leq 1$$

Obere Beplankung:

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{m,d,2}}{f_{m,d,2}} = \frac{3.47}{17.78} = 0.20 \leq 1$$

maximale Druckspannung im Schwerpunkt der Beplankung

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{c,0,d,2}}{f_{c,0,d,2}} = \frac{3.03}{12.49} = 0.24 \leq 1$$

Untere Beplankung:

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{m,d,3}}{f_{m,d,3}} = \frac{3.47}{17.78} = 0.20 \leq 1$$

maximale Zugspannung im Schwerpunkt der Beplankung

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d,2}}{f_{t,0,d,2}} = \frac{3.03}{8.37} = 0.36 \leq 1$$

#### 1.2 Tragsicherheit Querkraft

Steg:

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\tau_{v,d,1}}{f_{v,d,1}} = \frac{0.51}{1.50} = 0.34 \leq 1$$

Obere Beplankung:

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\tau_{v,d,2}}{f_{v,d,2}} = \frac{0.39}{1.85} = 0.21 \leq 1$$

Untere Beplankung:

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\tau_{v,d,3}}{f_{v,d,3}} = \frac{0.39}{1.85} = 0.21 \leq 1$$



## 1.3 Tragsicherheit Biegemoment bei mangelhafter Verklebung (aussergewöhnliche Bemessungssituation)

Massgebende aussergewöhnliche Bemessungssituation:

-Eigenlast + Auflast + quasi-ständiger Anteil Nutzlast (SIA 260\_4.4.3.5)

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{ED,\text{ständig}} = g'_k + \psi_2 * q'_k = 1.23 + 0.30 * 1.20 = 1.59 \text{ kN/m}$$

$$\text{maximales Biegemoment } M_{ED,\text{ständig}} = \frac{q'_{ED,\text{ständig}} * (l/1000)^2}{8} = 4.97 \text{ kNm}$$

**Steg:**

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{m,d,1,\text{ständig}}}{f_{m,d,1}} = \frac{11.65}{14.00} = 0.83 \leq 1$$

## 2. Gebrauchstauglichkeit

### 2.1 Durchbiegung Grenzzustand Aussehen

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Aussehen, reversible Folgen eines **quasi-ständigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + quasi-ständige Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{ED,\text{ständig}} = g'_k + \psi_2 * q'_k = 1.23 + 0.30 * 1.20 = 1.59 \text{ kN/m}$$

$$W_{CD} = \frac{l}{300} = \frac{5000}{300} = 16.7 \text{ mm}$$

$$\text{Nachweis: } \frac{W_{ED,\text{ständig},\text{¥}}}{W_{CD}} = \frac{9}{16.7} = 0.54 \leq 1$$

### 2.2 Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit mit duktilem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, reversible Folgen eines **häufigen** Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + häufige Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{ED,\text{häufig}} = g'_k + \psi_1 * q'_k = 1.23 + 0.50 * 1.20 = 1.83 \text{ kN/m}$$

$$W_{CD} = \frac{l}{350} = \frac{5000}{350} = 14.3 \text{ mm}$$

$$\text{Nachweis: } \frac{W_{ED,\text{häufig},\text{¥}}}{W_{CD}} = \frac{10}{14.3} = 0.70 \leq 1$$

### 2.3 Durchbiegung Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, Einbauten mit spödem Verhalten

Massgebende Bemessungssituation:

-Grenzzustand Funktionstüchtigkeit, irreversible Folgen eines **seltene**n Lastfalles  
Eigenlast + Auflast + seltene Nutzlast

$$\text{massgebende Einwirkung } q'_{ED,\text{seltene}} = g'_k + q'_k = 1.23 + 1.20 = 2.43 \text{ kN/m}$$

$$W_{CD} = \frac{l}{500} = \frac{5000}{500} = 10.0 \text{ mm}$$

$$\text{Nachweis: } \frac{W_{ED,\text{seltene},\text{¥}}}{W_{CD}} = \frac{12}{10.0} = 1.20 \leq 1$$





## 2.4 Schwingungsnachweis

### 1. Eigenfrequenz:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_I \cdot 10^6}{m}} = 8.0 \text{ Hz} \geq 8 \text{ Hz}$$

WENN( $f_1 > 8,0$ ; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis nicht erfüllt !**

Falls die 1. Eigenfrequenz **unter 8 Hz** liegt, muss die effektive Schwingbeschleunigung  $a_{Ed}$  untersucht werden:

**Schwingbeschleunigung:** Nachweis gilt nur wenn  $3.4 \text{ Hz} < f_1 < 8 \text{ Hz}$

Grenzwert  $a_{Cd}$  der Schwingbeschleunigung, um störende Auswirkungen zu vermeiden:

$$a_{Cd} = \text{TAB}(\text{"SIA265/HK"; Y; X=2}) = 0,1 \text{ m/s}^2$$

effektive Schwingbeschleunigung:

$$a_{Ed} = 0.4 \cdot \frac{F_0 \cdot \alpha_F}{M_{\text{gen}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\left(\frac{f_1}{f_F}\right)^2 - 1\right)^2 + \left(2 \cdot \xi \cdot \frac{f_1}{f_F}\right)^2}} = 0.10 \text{ m/s}^2 \leq a_{Cd}$$

WENN( $a_{Ed} \leq a_{Cd}$ ; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Steifigkeitsanforderung:

$$W_F = \frac{1000 \cdot l^3}{48 \cdot b_{m,\text{rechn}} \cdot EI_I} = 0.85 \text{ mm} \leq W_{Cd}$$

WENN( $W_F \leq W_{Cd}$ ; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Massenanforderung:

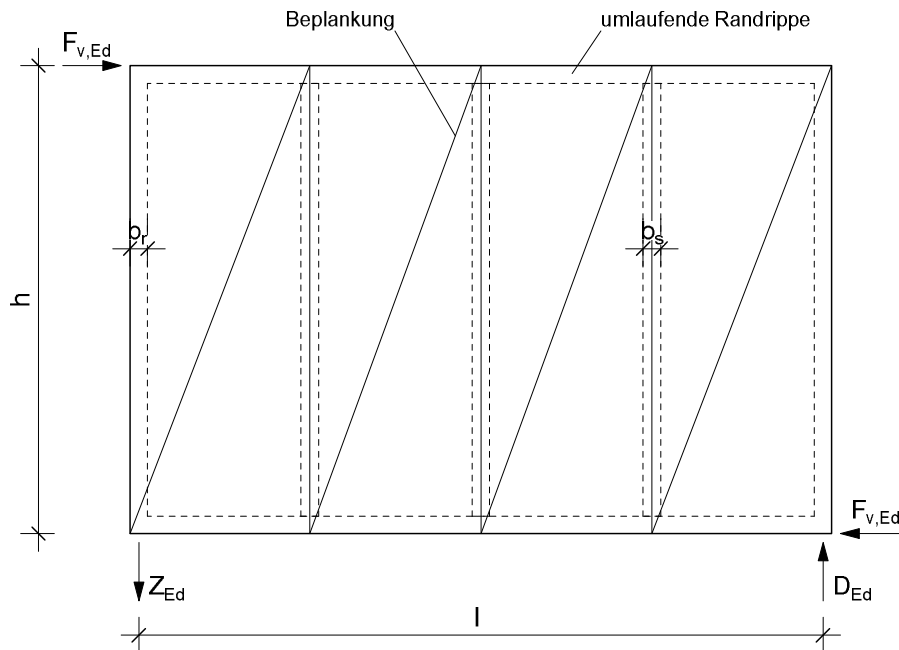
$$\text{Grenzwert } v_{E,Cd} = \frac{1000}{3} \cdot 100^{(f_1 \cdot \xi - 1)} = 6.96 \text{ mm/s}$$

$$\text{Schwinggeschwindigkeit } v_{E,Ed} = \frac{364 \cdot 10^3}{b_{m,\text{rechn}} \cdot \sqrt[4]{m^3 \cdot EI_I}} = 5.33 \text{ mm/s}$$

$$\text{Nachweis : } \frac{v_{E,Ed}}{v_{E,Cd}} = \frac{5.33}{6.96} = 0.77 \leq 1$$

## Kapitel Scheiben

### Wandscheibe



#### Voraussetzungen

- Die Nachweisführung und Bemessung von Wandscheiben in Holztafelbauweise wird nach dem Schubfeldmodell durchgeführt.
- In der Norm SIA 265 sind nur grundsätzliche Vorgaben für die Bemessung von Scheiben enthalten. Im EUROCODE 5 und in der DIN 1052 sind ausführlichere Regeln und Nachweise enthalten. Da diese Regeln auch im Einklang mit den grundsätzlichen Vorgaben gemäss SIA 265\_5.4.1 stehen, ist es naheliegend diese Regeln soweit möglich zu übernehmen.
- Die Verbindung zwischen Beplankung und Rippe ist **umlaufend** für den Schubfluss zu bemessen, wobei der **Tragwiderstand der Verbindungsmittel ohne Reduktion** der Anzahl hintereinander liegenden Verbindungsmittel angesetzt werden darf, wenn eine gleichmässige Schubkrafteinleitung vorliegt.
- Falls unterschiedliche Platten verwendet werden, muss eine ungleichmässige Kraftverteilung infolge unterschiedlicher Schubverformungen der Beplankungen berücksichtigt werden.
- Alle Verbindungsmittel werden **ohne Vorbohren** eingebracht

#### Eingaben

Wandlänge l =		6000 mm
Wandhöhe h =		3000 mm
Beplankung Bpl:	GEW("SIA265/Bpl"; AUF; )	= Beidseitig
Klasse der Lasteinwirkungsdauer (Tabelle 15 SIA 265/1)		
KLED =	GEW("SIA265/kmod"; K; )	= kurz
Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	= 1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	= 1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	= 1.0



## Randrippen

Baustoff Rippen $BS_r$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_r$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $BS_r$ )	=	C24
Rohdichte $\rho_{k,r}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_r$ )	=	350 kg/m <sup>3</sup>

Breite $b_r$ =	120 mm
Höhe $h_r$ =	140 mm

## Ständer

Baustoff Rippen $BS_s$ :	TAB("SIA265/Holz"; B; B= $BS_r$ )	=	Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_s$ :	TAB("SIA265/Holz"; FK; FK= $FK_r$ )	=	C24

Breite $b_s$ =	80 mm
Höhe $h_s$ =	$h_r$ = 140 mm
Ständerabstand $a_s$ =	625 mm

## Beplankung 1

Beplankung1 $BS_1$ =	GEW("SIA265/HWSS"; GR; )	=	OSB/3
Plattentyp $typ_1$ =	GEW("SIA265/HWSS"; B; GR= $BS_1$ .)	=	OSB/3 (12)
Plattendicke $h_1$ =	TAB("SIA265/HWSS"; D; B= $typ_1$ )	=	12.0 mm
Plattenaufbau :	TAB("SIA265/HWSS"; AUF; B= $typ_1$ )	=	SN EN 300
Schubfestigkeit $f_{v,k,1}$ =	TAB("SIA265/HWSS"; $f_{vk}$ ; B= $typ_1$ )	=	6,8 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul längs $E_{t,1}$ =	TAB("SIA265/HWSS"; E <sub>tmean</sub> ; B= $typ_1$ )	=	3800 N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul $G_1$ =	TAB("SIA265/HWSS"; G <sub>mean</sub> ; B= $typ_1$ )	=	1080 N/mm <sup>2</sup>
Beiwert $\gamma_{M,1}$ =	TAB("SIA265/GammaM"; $\gamma_{M}$ ; B= $BS_1$ )	=	1.2
Beiwert $\eta_{mod,1}$ =	TAB("SIA265/kmod"; k; B= $BS_1$ ; N=KL; K=KLED)	=	0.90
Kriechzahl $\varphi_1$ =	TAB("SIA265/KriechZ"; Kz; GR= $BS_1$ ; FK=KL)	=	1.50

## Beplankung 2

Beplankung2 $BS_2$ =	GEW("SIA265/HWSS"; GR; )	=	Furnierschichtholz
Plattentyp $typ_2$ =	GEW("SIA265/HWSS"; B; GR= $BS_2$ .)	=	Kerto-Q 21
Plattendicke $h_2$ =	TAB("SIA265/HWSS"; D; B= $typ_2$ )	=	21.0 mm
Plattenaufbau :	TAB("SIA265/HWSS"; AUF; B= $typ_2$ )	=	1-3-1
Schubfestigkeit $f_{v,k,2}$ =	TAB("SIA265/HWSS"; $f_{vk}$ ; B= $typ_2$ )	=	4,8 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul längs $E_{t,2}$ =	TAB("SIA265/HWSS"; E <sub>tmean</sub> ; B= $typ_2$ )	=	10000 N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul $G_2$ =	TAB("SIA265/HWSS"; G <sub>mean</sub> ; B= $typ_2$ )	=	500 N/mm <sup>2</sup>
Beiwert $\gamma_{M,2}$ =	TAB("SIA265/GammaM"; $\gamma_{M}$ ; B= $BS_2$ )	=	1.3
Beiwert $\eta_{mod,2}$ =	TAB("SIA265/kmod"; k; B= $BS_2$ ; N=KL; K=KLED)	=	0.90
Kriechzahl $\varphi_2$ =	TAB("SIA265/KriechZ"; Kz; GR= $BS_2$ ; FK=KL)	=	0.60



## Einwirkungen

### Horizontale Lasten

Resultierende Horizontalkraft auf Wandscheibe:

1) aus Wind

$$F_{\text{Wind,Ed}} = 45.00 \text{ kN}$$

2) aus Erdbeben

$$F_{\text{Erdb,Ed}} = 26.00 \text{ kN}$$

$$\text{Massgebender Bemessungswert } F_{\text{v,Ed}} = \text{MAX}(F_{\text{Wind,Ed}}; F_{\text{Erdb,Ed}}) = 45.00 \text{ kN}$$

$$\text{Resultierender Schubfluss } S_{\text{v,0,d}} = \frac{F_{\text{v,Ed}} \cdot 10^3}{l} = \frac{45.00 \cdot 10^3}{6000} = 7.50 \text{ kN/m}$$

### Grenzzustand Tragsicherheit Typ 2

#### Beplankung

Beiwerte  $k_{\text{v},1}$  und  $k_{\text{v},2}$  nach DIN 1052:2008-12\_10.6

Beiwert  $k_{\text{v},1} = 1.0$  bei **allseitig** schubsteif verbundene Plattenränder

Beiwert  $k_{\text{v},1} = 0.66$  bei **nicht allseitig** schubsteif verbundene Plattenränder

Beiwert  $k_{\text{v},2} = 0.33$  bei **einseitiger** Beplankung

Beiwert  $k_{\text{v},2} = 0.5$  bei **beidseitiger** Beplankung

$$\text{Beiwert } k_{\text{v},1} = \text{GEW}(\text{"SIA265/Bpl"}; kv1; ) = 1.00$$

$$\text{Beiwert } k_{\text{v},2} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Bpl"}; kv2; \text{AUF=Bpl}) = 0.50$$

Faktoren zur Berücksichtigung unterschiedlicher Beplankungen  
(massgebend Schubverformungen!)

$$\text{Faktor } n_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} = \frac{1080}{1080 + 500} = 0.68$$

$$\text{Faktor } n_2 = \frac{G_2}{G_1 + G_2} = \frac{500}{1080 + 500} = 0.32$$

#### Nachweis Schubwiderstand

$$f_{\text{v,d},1} = \frac{\eta_{\text{mod},1}}{\gamma_{\text{M},1}} \cdot f_{\text{v,k},1} = \frac{0.90}{1.2} \cdot 6.8 = 5.10 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{\text{v,d},2} = \frac{\eta_{\text{mod},2}}{\gamma_{\text{M},2}} \cdot f_{\text{v,k},2} = \frac{0.90}{1.3} \cdot 4.8 = 3.32 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{\text{v,0,d},1} = k_{\text{v},1} \cdot k_{\text{v},2} \cdot f_{\text{v,d},1} \cdot h_1 = 1.00 \cdot 0.50 \cdot 5.10 \cdot 12.0 = 30.60 \text{ kN/m}$$

$$f_{\text{v,0,d},2} = k_{\text{v},1} \cdot k_{\text{v},2} \cdot f_{\text{v,d},2} \cdot h_2 = 1.00 \cdot 0.50 \cdot 3.32 \cdot 21.0 = 34.86 \text{ kN/m}$$

$$S_{\text{v,0,d},1} = n_1 \cdot S_{\text{v,0,d}} = 0.68 \cdot 7.50 = 5.10 \text{ kN/m}$$

$$S_{\text{v,0,d},2} = n_2 \cdot S_{\text{v,0,d}} = 0.32 \cdot 7.50 = 2.40 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ausnutzung Beplankung 1: } \frac{S_{\text{v,0,d},1}}{f_{\text{v,0,d},1}} = \frac{5.10}{30.60} = 0.17 \leq 1$$

$$\text{Ausnutzung Beplankung 2: } \frac{S_{\text{v,0,d},2}}{f_{\text{v,0,d},2}} = \frac{2.40}{34.86} = 0.07 \leq 1$$



### Nachweis Beulwiderstand

$$f_{v,0,d,1} = k_{v1} * k_{v2} * f_{v,d,1} * 35 * \frac{h_1^2}{a_s} = 1.00 * 0.50 * 5.10 * 35 * \frac{12.0^2}{625} = 20.56 \text{ kN/m}$$

$$f_{v,0,d,2} = k_{v1} * k_{v2} * f_{v,d,2} * 35 * \frac{h_2^2}{a_s} = 1.00 * 0.50 * 3.32 * 35 * \frac{21.0^2}{625} = 41.00 \text{ kN/m}$$

**Ausnutzung Beplankung 1:**  $\frac{S_{v,0,d,1}}{f_{v,0,d,1}} = \frac{5.10}{20.56} = 0.25 \leq 1$

**Ausnutzung Beplankung 2:**  $\frac{S_{v,0,d,2}}{f_{v,0,d,2}} = \frac{2.40}{41.00} = 0.06 \leq 1$

### Verbindungsmittel (ohne Vorbohrung)

#### Klammer

Klammer Typ = GEW("Verbindungsmittel/Klammer"; TYP; ) = Haubold 700  
 Länge L = GEW("Verbindungsmittel/Klammer"; L; TYP=Typ) = 60 mm  
 Durchmesser D = TAB("Verbindungsmittel/Klammer"; D; TYP=Typ) = 1.53 mm

Erforderliche Einschlagtiefe  $s_{\text{erf}} = \text{WENN}(BS_1="GF\text{-Platte" ODER } BS_2="GF\text{-Platte"; } 32; 14 \cdot D) = 21 \text{ mm}$

Effektive Einschlagtiefe  $s_1 = L - h_1 = 60 - 12.0 = 48 \text{ mm} \geq s_{\text{erf}}$

Effektive Einschlagtiefe  $s_2 = L - h_2 = 60 - 21.0 = 39 \text{ mm} \geq s_{\text{erf}}$

Tragwiderstand pro Scherfuge und Verbindungsmittel mit **Winkel zwischen Klammerrücken und Faserrichtung  $\geq 30^\circ$**   $\Rightarrow$  Erhöhung um Faktor 1.5 gemäss SIA 265/1\_8.3.4.2

$$R_d = 1.5 \cdot 110 \cdot D^{1.7} / 10^3 = 1.5 \cdot 110 \cdot 1.53^{1.7} / 10^3 = 0.34 \text{ kN}$$

Charakteristische Lochleibungsfestigkeiten gemäss SIA 265/1 Tab. 31 bzw. SIA 265 Tab. 18.  
Für Fermacell Gipsfaser-Platten gemäss Zulassung Z-9.1-434

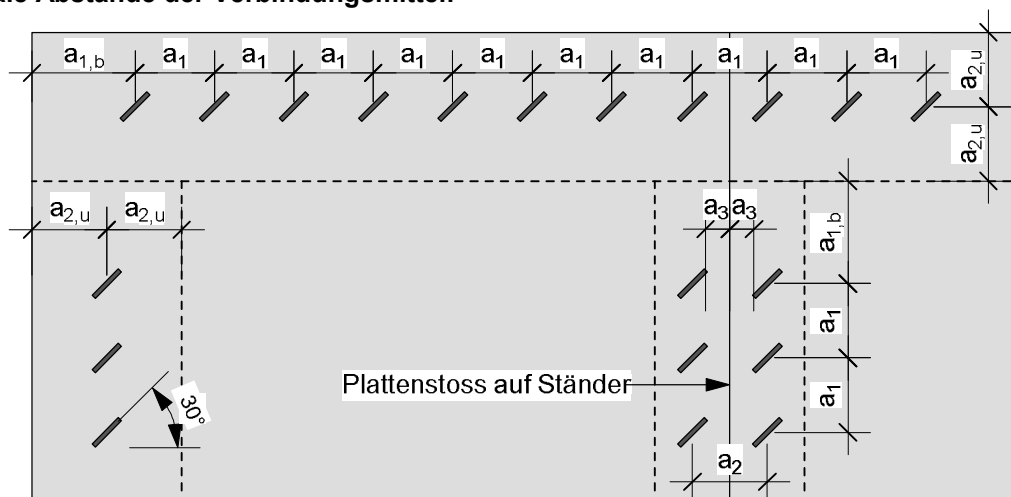
$f_{h,k,1} = \text{TAB}(\text{"Verbindungsmittel/LochLK"; } fh_0; \text{HWS}=BS_1; t=h_1; D=D) = 61.88 \text{ N/mm}^2$

$f_{h,k,2} = \text{TAB}(\text{"Verbindungsmittel/LochLK"; } fh_0; \text{HWS}=BS_2; t=h_2; D=D) = 46.47 \text{ N/mm}^2$

$$R_{d,\text{HWS},1} = \text{MIN}(\eta_w \cdot \eta_t \cdot R_d; \frac{2}{3} \cdot \frac{\eta_{\text{mod},1}}{\gamma_{M,1}} \cdot \frac{f_{h,k,1}}{1000} \cdot 2 \cdot D \cdot (h_1 - 2)) = 0.34 \text{ kN}$$

$$R_{d,\text{HWS},2} = \text{MIN}(\eta_w \cdot \eta_t \cdot R_d; \frac{2}{3} \cdot \frac{\eta_{\text{mod},2}}{\gamma_{M,2}} \cdot \frac{f_{h,k,2}}{1000} \cdot 2 \cdot D \cdot (h_2 - 2)) = 0.34 \text{ kN}$$

#### Minimale Abstände der Verbindungsmittel:



|| zur Faser, untereinander  $a_1 = 15 \cdot D = 23 \text{ mm}$

|| zur Faser, beanspr. Rand  $a_{1,b} = 20 \cdot D = 31 \text{ mm}$

⊥ zur Faser, untereinander  $a_2 = 15 \cdot D = 23 \text{ mm}$

⊥ zur Faser, unbeanspr. Rand  $a_{2,u} = 10 \cdot D = 15 \text{ mm}$

Allgemein (SIA 265/1, Tabelle 35):

Im HWS, unbeanspr. Rand  $a_3 = 3 \cdot D = 5 \text{ mm}$

Für Fermacell (Zulassung Z-9.1-434):

Im HWS, unbeanspr. Rand  $a_3 = 4 \cdot D = 6 \text{ mm}$

**Kontrolle Ständerbreite:**  $2 \cdot a_{2,u} + \text{MAX}(2 \cdot a_3; a_2) = 53 \text{ mm} \leq b_s$



### Gewählte Klammerabstände:

Beplankung 1:

$$\text{Erforderlich } a_{\min} = k_{v1} \cdot \frac{R_{d,HWS,1}}{S_{v,0,d,1}} \cdot 1000 = 67 \text{ mm}$$

Beplankung 2:

$$\text{Erforderlich } a_{\min} = k_{v1} \cdot \frac{R_{d,HWS,2}}{S_{v,0,d,2}} \cdot 1000 = 142 \text{ mm}$$

$$\text{Gewählter Klammerabstand } a_v = 65 \text{ mm} \geq a_1$$

SIA 265/1\_8.1.9:

$$\text{Maximaler Abstand zwischen VM } a_{\max} = 80 \cdot D = 122 \geq a_v$$

### Nachweis der Verbindungsmittel Beplankung 1:

$$f_{v,0,d,1} = k_{v1} \cdot \frac{R_{d,HWS,1}}{a_v / 1000} = 1.00 \cdot \frac{0.34}{65 / 1000} = 5.23 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{S_{v,0,d,1}}{f_{v,0,d,1}} = \frac{5.10}{5.23} = 0.98 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Nachweis der Verbindungsmittel Beplankung 2:

$$f_{v,0,d,2} = k_{v1} \cdot \frac{R_{d,HWS,2}}{a_v / 1000} = 1.00 \cdot \frac{0.34}{65 / 1000} = 5.23 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{S_{v,0,d,2}}{f_{v,0,d,2}} = \frac{2.40}{5.23} = 0.46 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Glattschaftige Nägel

Durchmesser  $D =$  GEW("Verbindungsmitel/Glattschaftig2";  $D$ ; ) = 2.8 mm  
 Für **Fermacell GF-Platten** gilt:  $2 \leq D \leq 3$ mm (Zulassung Z-9.1-434)  
 Länge  $L =$  GEW("Verbindungsmitel/Glattschaftig2";  $L; D=D$  ) = 60.0 mm

Erforderliche Einschlagtiefe  $s_{\text{eff}} =$  WENN( $BS_1="GF-Platte"$  ODER  $BS_2="GF-Platte"; 30; 9*D$ )= 25 mm  
 Effektive Einschlagtiefe  $s_1 =$   $L - h_1 = 60.0 - 12.0 = 48 \text{ mm} \geq s_{\text{eff}}$   
 Effektive Einschlagtiefe  $s_2 =$   $L - h_2 = 60.0 - 21.0 = 39 \text{ mm} \geq s_{\text{eff}}$

Tragwiderstand pro Scherfuge und Verbindungsmittel gemäss SIA 265 Tabelle 22 (Erhöhung um Faktor 1.13 gemäss SIA 265/1\_8.3.1.4)

$$R_d = 1.13 * 92 * D^{1.7} / 10^3 = 1.13 * 92 * 2.8^{1.7} / 10^3 = 0.60 \text{ kN}$$

Charakteristische Lochleibungsfestigkeiten gemäss SIA 265/1 Tab. 31 bzw. SIA 265 Tab. 18.  
 Für Fermacell Gipsfaser-Platten gemäss Zulassung Z-9.1-434

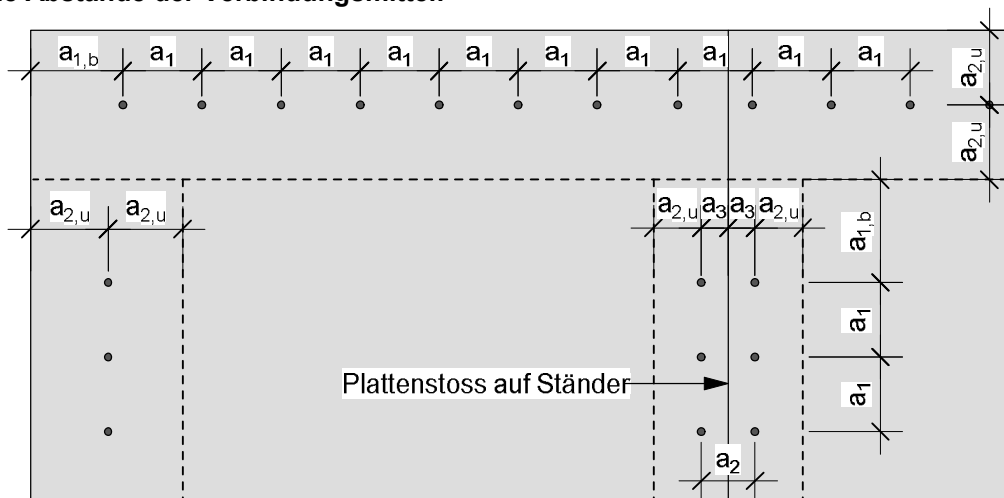
$$f_{h,k,1} = \text{TAB}(\text{"Verbindungsmitel/LochLG"; } fh0; \text{HWS=BS}_1; t=h_1; D=D) = 40.53 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,k,2} = \text{TAB}(\text{"Verbindungsmitel/LochLG"; } fh0; \text{HWS=BS}_2; t=h_2; D=D) = 38.77 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{d,\text{HWS},1} = \text{MIN}(\eta_w * \eta_t * R_d; \frac{2}{3} * \frac{\eta_{\text{mod},1}}{\gamma_{M,1}} * \frac{f_{h,k,1}}{1000} * D * (h_1 - 2)) = 0.57 \text{ kN}$$

$$R_{d,\text{HWS},2} = \text{MIN}(\eta_w * \eta_t * R_d; \frac{2}{3} * \frac{\eta_{\text{mod},2}}{\gamma_{M,2}} * \frac{f_{h,k,2}}{1000} * D * (h_2 - 2)) = 0.60 \text{ kN}$$

### Minimale Abstände der Verbindungsmittel:



|| zur Faserrichtung, untereinander  $a_1 =$  WENN( $D \leq 4; 10*D; 12*D$ ) = 28 mm

|| zur Faserrichtung, beanspr. Rand  $a_{1,b} =$   $15*D$  = 42 mm

⊥ zur Faserrichtung, untereinander  $a_2 =$   $5*D$  = 14 mm

Da die Holzdicke der Ständer immer  $\geq 14d$  kann  $a_{2,u}$  auf  $5d$  rediziert werden (SIA 265 Tab. 24):

⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand  $a_{2,u} =$   $5*D$  = 14 mm

Allgemein (SIA 265/1, Tabelle 33):

Im HWS, unbeanspr. Rand  $a_3 =$   $3*D$  = 8 mm

Für Fermacell (Zulassung Z-9.1-434):

Im HWS, unbeanspr. Rand  $a_3 =$   $4*D$  = 11 mm

**Kontrolle Ständerbreite:**  $2*a_{2,u} + \text{MAX}(2*a_3; a_2) = 50 \text{ mm} \leq b_s$





### Gewählte Nagelabstände:

Beplankung 1:

$$\text{Erforderlich } a_{\min} = k_{v1} * \frac{R_{d,HWS,1}}{S_{v,0,d,1}} * 1000 = 112 \text{ mm}$$

Beplankung 2:

$$\text{Erforderlich } a_{\min} = k_{v1} * \frac{R_{d,HWS,2}}{S_{v,0,d,2}} * 1000 = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Gewählter Nagelabstand } a_v = 100 \text{ mm} \geq a_1$$

SIA 265/1\_8.1.9:

$$\text{Maximaler Abstand zwischen VM } a_{\max} = 80 * D = 224 \geq a_v$$

### Nachweis der Verbindungsmittel Beplankung 1:

$$f_{v,0,d,1} = k_{v1} * \frac{R_{d,HWS,1}}{a_v / 1000} = 1.00 * \frac{0.57}{100/1000} = 5.70 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{S_{v,0,d,1}}{f_{v,0,d,1}} = \frac{5.10}{5.70} = 0.89 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Nachweis der Verbindungsmittel Beplankung 2:

$$f_{v,0,d,2} = k_{v1} * \frac{R_{d,HWS,2}}{a_v / 1000} = 1.00 * \frac{0.60}{100/1000} = 6.00 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{S_{v,0,d,2}}{f_{v,0,d,2}} = \frac{2.40}{6.00} = 0.40 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Rillennägel

$$\text{Durchmesser } D = \text{GEW}(\text{"Verbindungsmittel/Rillen2"; } D; ) = 2.8 \text{ mm}$$

Für **Fermacell GF-Platten** gilt:  $2 \leq D \leq 3 \text{ mm}$  (Zulassung Z-9.1-434)

$$\text{Länge } L = \text{GEW}(\text{"Verbindungsmittel/Rillen2"; } L; D=D ) = 60.0 \text{ mm}$$

$$\text{Erforderliche Einschlagtiefe } s_{\text{eff}} = \text{WENN}(BS_1=\text{"GF-Platte" ODER } BS_2=\text{"GF-Platte"; } 27; 9 \cdot D) = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Effektive Einschlagtiefe } s_1 = L - h_1 = 60.0 - 12.0 = 48 \text{ mm} \geq s_{\text{eff}}$$

$$\text{Effektive Einschlagtiefe } s_2 = L - h_2 = 60.0 - 21.0 = 39 \text{ mm} \geq s_{\text{eff}}$$

Tragwiderstand pro Scherfuge und Verbindungsmittel gemäss SIA 265 Tabelle 22 (Erhöhung um Faktor 1.13 gemäss SIA 265/1\_8.3.1.4)

$$R_d = 1.13 \cdot 104 \cdot D^{1.7} / 10^3 = 1.13 \cdot 104 \cdot 2.8^{1.7} / 10^3 = 0.68 \text{ kN}$$

Charakteristische Lochleibungsfestigkeiten gemäss SIA 265/1 Tab. 31 bzw. SIA 265 Tab. 18 (für DSP).

Für Fermacell Gipsfaser-Platten gemäss Zulassung Z-9.1-434

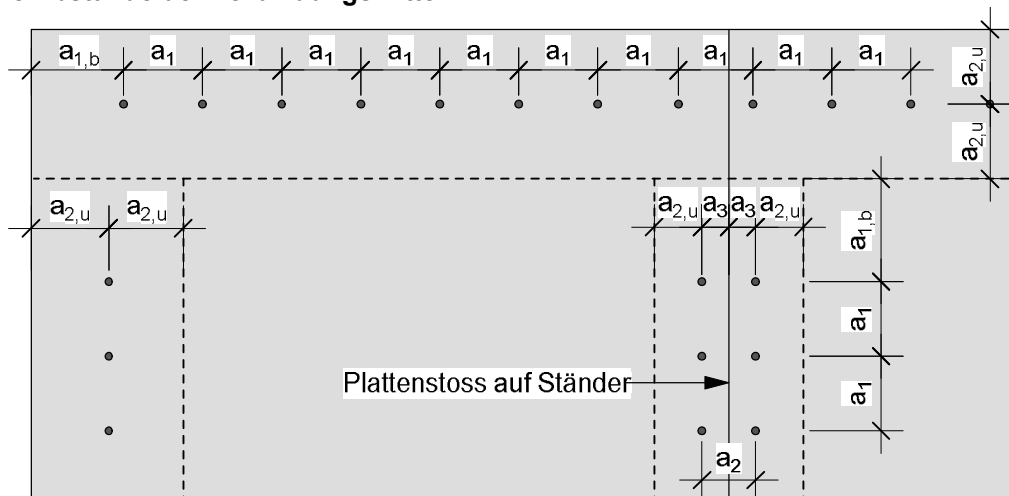
$$f_{h,k,1} = \text{TAB}(\text{"Verbindungsmittel/LochLR"; } fh0; \text{HWS}=BS_1; t=h_1; D=D) = 40.53 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,k,2} = \text{TAB}(\text{"Verbindungsmittel/LochLR"; } fh0; \text{HWS}=BS_2; t=h_2; D=D) = 38.77 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{d,\text{HWS},1} = \text{MIN}(\eta_w \cdot \eta_t \cdot R_d; \frac{2}{3} \cdot \frac{\eta_{\text{mod},1}}{\gamma_{M,1}} \cdot \frac{f_{h,k,1}}{1000} \cdot D \cdot (h_1 - 2)) = 0.57 \text{ kN}$$

$$R_{d,\text{HWS},2} = \text{MIN}(\eta_w \cdot \eta_t \cdot R_d; \frac{2}{3} \cdot \frac{\eta_{\text{mod},2}}{\gamma_{M,2}} \cdot \frac{f_{h,k,2}}{1000} \cdot D \cdot (h_2 - 2)) = 0.68 \text{ kN}$$

### Minimale Abstände der Verbindungsmittel



$$\parallel \text{ zur Faserrichtung, untereinander } a_1 = \text{WENN}(D \leq 4; 10 \cdot D; 12 \cdot D) = 28 \text{ mm}$$

$$\parallel \text{ zur Faserrichtung, beanspr. Rand } a_{1,b} = 15 \cdot D = 42 \text{ mm}$$

$$\perp \text{ zur Faserrichtung, untereinander } a_2 = 5 \cdot D = 14 \text{ mm}$$

Da die Holzdicke der Ständer immer  $\geq 14d$  kann  $a_{2,u}$  auf  $5d$  rediziert werden (SIA 265 Tab. 24):

$$\perp \text{ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand } a_{2,u} = 5 \cdot D = 14 \text{ mm}$$

Allgemein (SIA 265/1, Tabelle 33):

$$\text{Im HWS, unbeanspr. Rand } a_3 = 3 \cdot D = 8 \text{ mm}$$

Für Fermacell (Zulassung Z-9.1-434):

$$\text{Im HWS, unbeanspr. Rand } a_3 = 4 \cdot D = 11 \text{ mm}$$

$$\text{Kontrolle Ständerbreite: } 2 \cdot a_{2,u} + \text{MAX}(2 \cdot a_3; a_2) = 50 \text{ mm} \leq b_r$$



### Gewählte Nagelabstände:

Beplankung 1:

$$\text{Erforderlich } a_{\min} = k_{v1} * \frac{R_{d,HWS,1}}{S_{v,0,d,1}} * 1000 = 112 \text{ mm}$$

Beplankung 2:

$$\text{Erforderlich } a_{\min} = k_{v1} * \frac{R_{d,HWS,2}}{S_{v,0,d,2}} * 1000 = 283 \text{ mm}$$

$$\text{Gewählter Nagelabstand } a_v = 100 \text{ mm} \geq a_1$$

SIA 265/1\_8.1.9:

$$\text{Maximaler Abstand zwischen VM } a_{\max} = 80 * D = 224 \geq a_v$$

### Nachweis der Verbindungsmittel Beplankung 1:

$$f_{v,0,d,1} = k_{v1} * \frac{R_{d,HWS,1}}{a_v / 1000} = 1.00 * \frac{0.57}{100 / 1000} = 5.70 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{S_{v,0,d,1}}{f_{v,0,d,1}} = \frac{5.10}{5.70} = 0.89 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Nachweis der Verbindungsmittel Beplankung 2:

$$f_{v,0,d,2} = k_{v1} * \frac{R_{d,HWS,2}}{a_v / 1000} = 1.00 * \frac{0.68}{100 / 1000} = 6.80 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{S_{v,0,d,2}}{f_{v,0,d,2}} = \frac{2.40}{6.80} = 0.35 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Schrauben

Durchmesser  $D =$  GEW("Verbindungsmitel/Schrauben2";  $D$ ; ) = 5 mm  
 Für **Fermacell GF-Platten** gilt:  $2 \leq D \leq 3$ mm (Zulassung Z-9.1-434)  
 Länge  $L =$  GEW("Verbindungsmitel/Schrauben2";  $L; D=D$ ) = 60.0 mm

Erforderliche Einschlagtiefe  $s_{\text{eff}} = 9 \cdot D = 45.0$  mm  
 Effektive Einschlagtiefe  $s_1 = L - h_1 = 60.0 - 12.0 = 48$  mm  $\geq s_{\text{eff}}$   
 Effektive Einschlagtiefe  $s_2 = L - h_2 = 60.0 - 21.0 = 39$  mm  $\geq s_{\text{eff}}$

Tragwiderstand pro Scherfuge und Verbindungsmittel gemäss SIA 265 Tabelle 22 (erhöhung um Faktor 1.13 gemäss SIA 265/1\_8.3.1.4)

$$R_d = 1.13 \cdot 3.3 \cdot D^{1.8} \cdot \rho_{k,r}^{0.5} / 10^3 = 1.13 \cdot 3.3 \cdot 5^{1.8} \cdot 350^{0.5} / 10^3 = 1.26 \text{ kN}$$

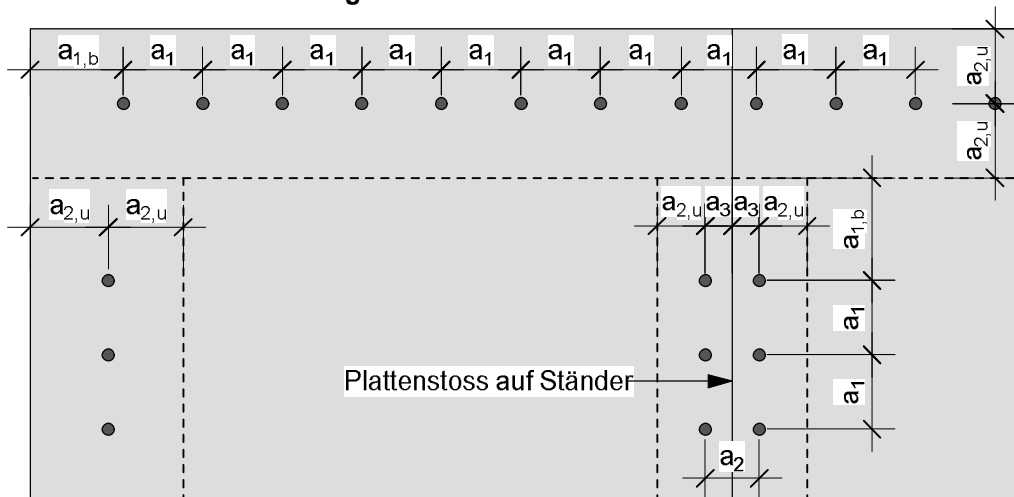
Charakteristische Lochleibungsfestigkeiten gemäss SIA 265/1 Tab. 31 bzw. SIA 265 Tab. 18.  
 Für Fermacell Gipsfaser-Platten gemäss Zulassung Z-9.1-434

$f_{h,k,1} =$  TAB("Verbindungsmitel/LochLS";  $fh_0$ ; HWS=BS<sub>1</sub>;  $t=h_1$ ;  $D=D$ ) = 27.01 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{h,k,2} =$  TAB("Verbindungsmitel/LochLS";  $fh_0$ ; HWS=BS<sub>2</sub>;  $t=h_2$ ;  $D=D$ ) = 32.58 N/mm<sup>2</sup>

$$R_{d,HWS,1} = \text{MIN}(\eta_w \cdot \eta_t \cdot R_d; \frac{2}{3} \cdot \frac{\eta_{\text{mod},1}}{\gamma_{M,1}} \cdot \frac{f_{h,k,1}}{1000} \cdot D \cdot (h_1 - 2)) = 0.68 \text{ kN}$$

$$R_{d,HWS,2} = \text{MIN}(\eta_w \cdot \eta_t \cdot R_d; \frac{2}{3} \cdot \frac{\eta_{\text{mod},2}}{\gamma_{M,2}} \cdot \frac{f_{h,k,2}}{1000} \cdot D \cdot (h_2 - 2)) = 1.26 \text{ kN}$$

### Minimale Abstände der Verbindungsmittel:



Werte gelten für Holzschrauben mit  $d_1/d \leq 0.75$  (SIA 265, Tabelle 34)

|| zur Faserrichtung, untereinander  $a_1 =$  WENN( $D=4; 8 \cdot D; 10 \cdot D$ ) = 50 mm  
 || zur Faserrichtung, beanspr. Rand  $a_{1,b} = 13 \cdot D = 65$  mm  
 ⊥ zur Faserrichtung, untereinander  $a_2 = 5 \cdot D = 25$  mm  
 ⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand  $a_{2,u} =$  WENN( $h_r \geq 14 \cdot D; 4 \cdot D; 8 \cdot D$ ) = 20 mm

Allgemein (SIA 265/1, Tabelle 33):

Im HWS, unbeanspr. Rand  $a_3 = 3 \cdot D = 15$  mm

Für Fermacell (Zulassung Z-9.1-434):

Im HWS, unbeanspr. Rand  $a_3 = 4 \cdot D = 20$  mm

**Kontrolle Ständerbreite:**  $2 \cdot a_{2,u} + \text{MAX}(2 \cdot a_3; a_2) = 80 \text{ mm} \leq b_r$



### Gewählte Schraubenabstände:

Beplankung 1:

$$\text{Erforderlich } a_{\min} = k_{v1} * \frac{R_{d,HWS,1}}{S_{v,0,d,1}} * 1000 = 133 \text{ mm}$$

Beplankung 2:

$$\text{Erforderlich } a_{\min} = k_{v1} * \frac{R_{d,HWS,2}}{S_{v,0,d,2}} * 1000 = 525 \text{ mm}$$

$$\text{Gewählter Schraubenabstand } a_v = 130 \text{ mm} \geq a_1$$

SIA 265/1\_8.1.9:

$$\text{Maximaler Abstand zwischen VM } a_{\max} = 80 * D = 400 \geq a_v$$

### Nachweis der Verbindungsmittel Beplankung 1:

$$f_{v,0,d,1} = k_{v1} * \frac{R_{d,HWS,1}}{a_v / 1000} = 1.00 * \frac{0.68}{130/1000} = 5.23 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{S_{v,0,d,1}}{f_{v,0,d,1}} = \frac{5.10}{5.23} = 0.98 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Nachweis der Verbindungsmittel Beplankung 2:

$$f_{v,0,d,2} = k_{v1} * \frac{R_{d,HWS,2}}{a_v / 1000} = 1.00 * \frac{1.26}{130/1000} = 9.69 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{S_{v,0,d,2}}{f_{v,0,d,2}} = \frac{2.40}{9.69} = 0.25 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



## Verankerung Zugkraft Randpfosten

Maximale Kraft auf die Zugverankerung der Randpfosten unter Berücksichtigung der günstig wirkenden Eigen- und Auflasten

Massgebende Bemessungssituation:

Eigenlast + Auflast + Leiteinwirkung Wind resp. Erdbeben + Begleiteinwirkung Nutzlast resp. Schneelast

### **Bemessungswert der Einwirkung:**

- Horizontalkraft aus Wind resp. Erdbeben  $F_{v,Ed}$

- Günstig wirkende Eigen- und Auflasten  $G_{Ed} = \gamma_{G,inf} * G_k$

- Ungünstig wirkende Windkräfte (abhebend)  $Q_{Wind,Ed} = \gamma_Q * Q_{Wind,k}$

$$\text{Horizontalkraft aus Wind resp. Erdbeben} = F_{v,Ed} = 45.00 \text{ kN}$$

$$\text{Eigen- und Auflast auf Wandscheibe } g'_k = 2.08 \text{ kN/m}$$

$$\text{Windsog auf Wandscheibe } q'_{Wind,k} = -0.92 \text{ kN/m}$$

$$\text{Lastbeiwert } \gamma_{G,sup} = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_G; S=\text{"ungünstig"}) = 1.35$$

$$\text{Lastbeiwert } \gamma_{G,inf} = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_G; S=\text{"günstig"}) = 0.80$$

$$\text{Lastbeiwert } \gamma_Q = \text{TAB}(\text{"SIA260/LBeiw"; } \gamma_Q; S=\text{"allgemein"}) = 1.50$$

$$G_{Ed} = \gamma_{G,inf} * g'_k * \frac{l}{1000} = 0.80 * 2.08 * \frac{6000}{1000} = 9.98 \text{ kN}$$

$$Q_{Wind,Ed} = \gamma_Q * q'_{Wind,k} * \frac{l}{1000} = 1.50 * -0.92 * \frac{6000}{1000} = -8.28 \text{ kN}$$

Zugkraft in den Randpfosten infolge der Horizontalkraft und der abhebenden Windkraft:

$$\text{Zugkraft } F_{t,d} = F_{v,Ed} * \frac{h}{l} + 0.5 * \text{ABS}(Q_{Wind,Ed}) = 26.64 \text{ kN}$$

Druckkraft infolge günstig wirkender Eigen- und Auflasten:

$$\text{Druckkraft } F_{c,d} = 0.5 * G_{Ed} = 0.5 * 9.98 = 4.99 \text{ kN}$$

Zu verankernde Zugkraft:

$$Z_{Ed} = F_{t,d} - F_{c,d} = 26.64 - 4.99 = 21.65 \text{ kN}$$

## Verankerung Schubfluss Schwelle

$$\text{Massgebender Schubfluss} = S_{v,0,d} = 7.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{Zu verankernde Schubkraft} = F_{v,Ed} = 45.00 \text{ kN}$$



### Nachweis Querdruck Randrippe-Schwelle (Nach dem alternativen Verfahren SIA 265 Anhang C)

Maximale Druckkraft zwischen Randpfosten und Schwelle

Massgebende Bemessungssituation:

Eigenlast + Auflast + Leiteinwirkung Wind resp. Erdbeben + Begleiteinwirkung Nutzlast resp. Schneelast

#### **Bemessungswert der Einwirkung:**

- Horizontalkraft aus Wind resp. Erdbeben  $F_{v,Ed}$

- Ungünstig wirkende Eigen- und Auflasten  $G_{Ed} = \gamma_{G,sup} * G_k$

- Begleiteinwirkung Nutzlast resp. Schneelast  $Q_{Ed} = \psi_0 * Q_k$

$$\begin{aligned} \text{Horizontalkraft aus Wind resp. Erdbeben} &= F_{v,Ed} = && 45.00 \text{ kN} \\ \text{Eigen- und Auflast auf Wandscheibe } g'_k &= && \mathbf{2.80 \text{ kN/m}} \\ \text{Nutzlast resp. Schneelast } q'_k &= && \mathbf{0.90 \text{ kN/m}} \end{aligned}$$

Begleiteinwirkung Kat = GEW("SIA260/Red"; EW; ) = Schnee

Mereshöhe  $h_M$  = 612 m

Reduktionsbeiwert  $\psi_0$  = TAB("SIA260/Red";  $\psi_0$ ; EW=Kat; h= $h_M$ ) = 0.90

$g'_{Ed} = \gamma_{G,sup} * g'_k = 1.35 * 2.80 = 3.78 \text{ kN/m}$

$q'_{Ed} = \psi_0 * q'_k = 0.90 * 0.90 = 0.81 \text{ kN/m}$

Bei Wandscheiben mit einem Verhältniss  $l/h > 0.5$  darf die Druckkraft in der Randrippe mit den folgenden Faktoren rediziert werden (DIN 1052\_8.7.5): **0.67** bei beidseitig beplankten Wandscheiben / **0.75** bei einseitig beplankten Wandscheiben.

#### **Massgebende Druckkraft:**

Reduktionsfaktor  $f_{red}$ : WENN( $l/h > 0.5$ ; WENN(Bpl="Beidseitig"; 0.67; 0.75); 1) = 0.67

$$F_{c,v,d} = f_{red} * F_{v,Ed} * \frac{h}{l} + \frac{a_s}{1000} * (g'_{Ed} + q'_{Ed}) = \mathbf{17.94 \text{ kN}}$$

**Annahmen:** Schwelle und Randrippe haben die gleiche Festigkeitsklasse und das Vorholz ist gleich null. Der lichte Abstand zwischen den Ständern ist immer grösser als die doppelte Höhe der Schwelle

Wirksame Länge in Faserrichtung:

$$l_{ef} = b_r + \text{MIN}(30; b_r) = 150 \text{ mm}$$

Wirksame Querdruckfläche:

$$A_{ef} = h_r * l_{ef} = 21000 \text{ mm}^2$$

Querdruckbeiwert mit **Eindrückungen**:

$$k_{c,90} = \text{WENN}(BS_r = \text{"Brettschichtholz"}; 1.5; 1.25) = 1.25$$

Bemessungswert der Druckfestigkeit  $\perp$  zur Faserrichtung nach Anhang C

$$f_{c,90,d} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holzfc90"}; fc90d; FK=FK_r) = 1.50 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Druckwiderstand } F_{c,90,Rd} = A_{ef} * k_{c,90} * \eta_w * \eta_t * f_{c,90,d} / 1000 = 39.38 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{c,v,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{17.94}{39.38} = \mathbf{0.46 < 1}$$

WENN(Ausnutzung  $\leq 1$ ; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt") = **Nachweis erfüllt**

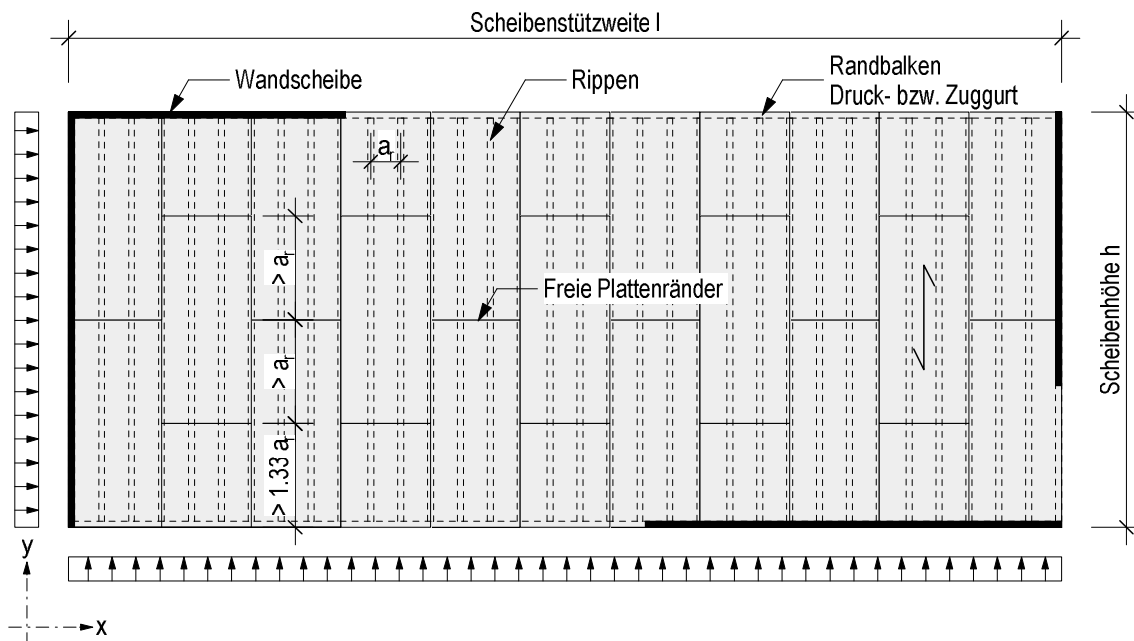
**Ohne Eindrückungen** (Querdruckbeiwert  $k_{c,90} = 1.0$ ):

$$\text{Druckwiderstand } F_{c,90,Rd} = A_{ef} * \eta_w * \eta_t * f_{c,90,d} / 1000 = 31.50 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{c,v,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{17.94}{31.50} = \mathbf{0.57 < 1}$$

WENN(Ausnutzung  $\leq 1$ ; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt") = **Nachweis erfüllt**

## Deckenscheibe



### Voraussetzungen

- In der Norm SIA 265 sind nur grundsätzliche Vorgaben für die Bemessung von Scheiben enthalten. Im EUROCODE 5 und in der DIN 1052 sind ausführlichere Regeln und Nachweise enthalten. Da diese Regeln auch im Einklang mit den grundsätzlichen Vorgaben gemäss SIA 265\_5.4.1 stehen, ist es naheliegend diese Regeln soweit möglich zu übernehmen.
- Obwohl Scheiben mit freien Plattenstössen quer zu den Innenrippen nicht mehr ideale Schubfelder darstellen, kann die Nachweisführung und Bemessung von Dach- und Deckenscheiben bei Einhaltung folgender Bedingungen vereinfacht nach dem Schubfeldmodell durchgeführt werden
  - Die Platten sind mindestens um einen Rippenabstand versetzt anzuordnen.
  - Die Seitenabmessung der Platten in Rippenrichtung ist grösser als der 1.33-fache Rippenabstand.
  - Die Platten sind mit allen Rippen kontinuierlich verbunden, d.h. auch auf den Rippen, auf denen sie nicht gestossen sind. Der Verbindungsmittelabstand muss dabei überall gleich sein.
  - Die Stützweite der Scheibe beträgt höchstens 12 m, oder es gibt höchstens zwei freie Plattenstösse quer zu den Rippen.
  - Die Scheibenhöhe ist grösser als 1/4 der Scheibenstützweite.
  - Der Bemessungswert der Einwirkung  $q'_d \leq 5 \text{ kN/m}$
- Bei einer mehrfach gestützten, durchlaufenden Scheibe entspricht das Tragverhalten eher demjenigen von mehreren Einfeldträgern. Eine Berechnung als Durchlaufträger führt zu falschen Ergebnissen.
- Bei einer Linienlagerung der Scheibe darf der Schubfluss als gleichmässig über die Scheibenhöhe verteilt angenommen werden.
- Für die Verbindung zwischen Beplankung und Rippe darf der Tragwiderstand der Verbindungsmittel ohne Reduktion der Anzahl hintereinander liegenden Verbindungsmittel angesetzt werden, wenn eine gleichmässige Schubkrafteinleitung vorliegt.





### Eingaben

<b>Scheibenlänge l =</b>			<b>33.20 m</b>
<b>Scheibenhöhe h =</b>			<b>9.00 m</b>
Kontrolle Bedingung:	l/h	=	3.7 < 4
Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

### Rippen

<b>Breite <math>b_r</math> =</b>		<b>140 mm</b>	
<b>Höhe <math>h_r</math> =</b>		<b>480 mm</b>	
<b>Rippenabstand <math>a_r</math> =</b>		<b>625 mm</b>	
Baustoff Rippen BS <sub>r</sub> :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Nadelholz
Festigkeitsklasse FK <sub>r</sub> :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=BS <sub>r</sub> )	=	C24

### Randbalken (Gurte)

<b>Breite <math>b_g</math> =</b>		<b>140 mm</b>	
<b>Höhe <math>h_g</math> =</b>		<b>480 mm</b>	
Baustoff Rippen BS <sub>g</sub> :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Nadelholz
Festigkeitsklasse FK <sub>g</sub> :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=BS <sub>g</sub> )	=	C24
Zugfestigkeit $f_{t,0,d,g}$ =	TAB("SIA265/Holz"; ft0d; FK=FK <sub>g</sub> )	=	8.0 N/mm <sup>2</sup>

### Beplankung

Beplankung BS =	GEW("SIA265/HWSS"; GR; )	=	OSB/3
Plattentyp typ =	GEW("SIA265/HWSS"; B; GR=BS.)	=	OSB/3 (25)
Plattendicke t =	TAB("SIA265/HWSS"; D; B=typ)	=	25.0 mm
Plattenaufbau :	TAB("SIA265/HWSS"; AUF; B=typ)	=	SN EN 300
Schubfestigkeit $f_{v,k}$ =	TAB("SIA265/HWSHK"; fvk; B=typ)	=	6.8 N/mm <sup>2</sup>
Schubfestigkeit $f_{v,k,2}$ =	TAB("SIA265/HWSHK"; fvk2; B=typ)	=	1.0 N/mm <sup>2</sup>
Biegefestigkeit $f_{m,90,k}$ =	TAB("SIA265/HWSHK"; fm90k; B=typ)	=	7.4 N/mm <sup>2</sup>
E-Modul längs $E_t$ =	TAB("SIA265/HWSS"; E <sub>t</sub> mean; B=typ)	=	3800.0 N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul G =	TAB("SIA265/HWSS"; G <sub>mean</sub> ; B=typ)	=	1080 N/mm <sup>2</sup>
Beiwert $\gamma_M$ =	TAB("SIA265/GammaM"; gamaM; B=BS)	=	1.2



## Einwirkungen (aus Lastannahmen)

### Horizontale Lasten

Resultierende Horizontallast auf Scheibe  
(inkl. event. Stabilisierungskräfte gemäss SIA 265\_5.8.4):

Massgebende Bemessungssituation:  
Eigenlast + Auflast + Leiteinwirkung ... + Begleiteinwirkung ....

$$q'_{x,Ed} = 3,89 \text{ kN/m} \leq 5 \text{ kN/m}$$

$$q'_{y,Ed} = 3,64 \text{ kN/m} \leq 5 \text{ kN/m}$$

Klasse der Lasteinwirkungsdauer (Tabelle 15 SIA 265/1)

$$KLED = \text{GEW}(\text{"SIA265/kmod"; K; }) = \text{kurz}$$

$$\text{Beiwert } \eta_{\text{mod}} = \text{TAB}(\text{"SIA265/kmod"; k; B=BS; N=KL; K=KLED}) = 0.90$$

### Vertikale Lasten

Resultierende Vertikallast auf Scheibe (massgebend für Tragsicherheit Beplankung vertikal):

Massgebende Bemessungssituation:  
Eigenlast + Auflast + Leiteinwirkung ... + Begleiteinwirkung ....

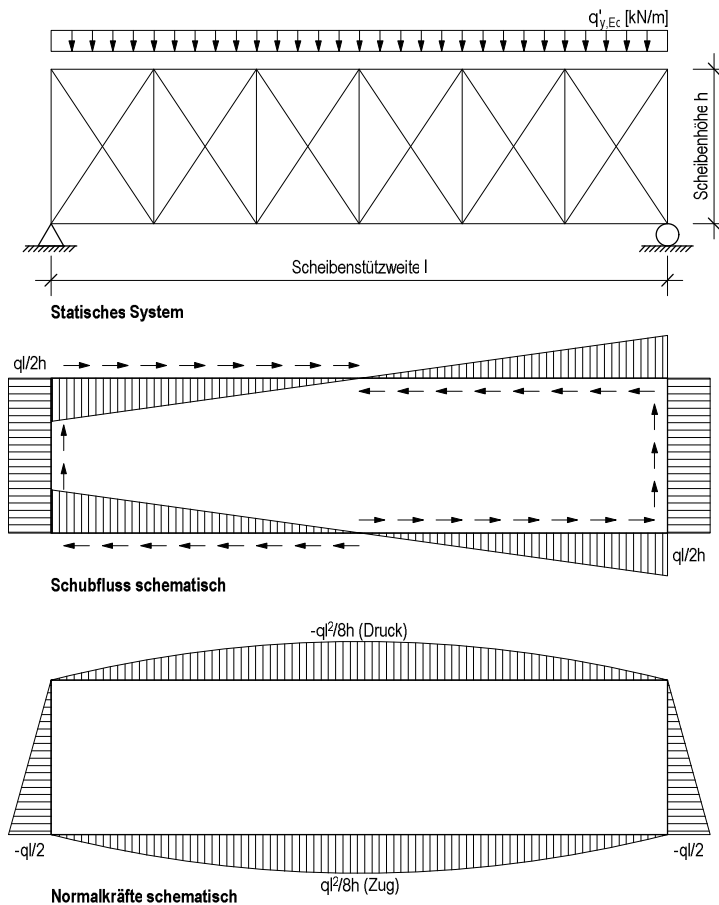
$$q_{z,Ed} = 3.53 \text{ kN/m}^2$$

Klasse der Lasteinwirkungsdauer (Tabelle 15 SIA 265/1)

$$KLED_V = \text{GEW}(\text{"SIA265/kmod"; K; }) = \text{kurz}$$

$$\text{Beiwert } \eta_{\text{mod},V} = \text{TAB}(\text{"SIA265/kmod"; k; B=BS; N=KL; K=KLED_V}) = 0.90$$

### Tragsicherheit Scheibe in y-Richtung



Maximale Querkraft in der Scheibe:

$$V_{Ed} = \frac{q'_{y,Ed} \cdot l}{2} = \frac{3.64 \cdot 33.20}{2} = 60.42 \text{ kN}$$

Schubfluss infolg der max. Querkraft mit  $h_{rechn} = h$  (DIN 1052:2008-12\_8.7.3):

$$S_{v,0,d} = \frac{V_{Ed}}{h} = \frac{60.42}{9.00} = 6.71 \text{ kN/m}$$

Maximale Biegemoment in der Scheibe:

$$M_{Ed} = \frac{q'_{y,Ed} \cdot l^2}{8} = \frac{3.64 \cdot 33.20^2}{8} = 501.52 \text{ kN/m}$$

Maximale Normalkraft im den Randbalken:

$$N_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{h} = \frac{501.52}{9.00} = 55.72 \text{ kN}$$

#### **Bemerkungen:**

- Allfällige Stösse in den Randbalken sind Verformungsarm auszuführen, d.h. wenn der Bemessungswert des Tragwiderstandes grösser ist als der 1.5-fache Bemessungswert der Normalkraft.
- Ein Nachweis der Durchbiegung der Scheibe ist nicht erforderlich wenn  $h \geq l/4$ , die Länge der Platte  $\geq 1,0\text{m}$  und der Verbindungsmittelabstand  $a_v$  an allen nicht freien Plattenränder eingehalten wird.  
(DIN1052:2008-12\_8.7.3)



### Nachweis des Schubwiderstandes der Beplankung

Beiwerte  $k_{v,1}$  und  $k_{v,2}$  nach DIN 1052:2008-12\_10.6

Freie Plattenränder  $\perp$  zu den Rippen: GEW("SIA265/Bpl"; Id; ) = ja

Beiwert  $k_{v1}$  = TAB("SIA265/Bpl"; kv1; Id=Rippen) = 0.66

Beiwert  $k_{v2}$  = TAB("SIA265/Bpl"; kv2; INDEX=1) = 0.33

$$f_{v,d} = \frac{\eta_{\text{mod}}}{\gamma_M} * f_{v,k} = \frac{0.90}{1.2} * 6.8 = 5.10 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,0,d} = k_{v1} * k_{v2} * f_{v,d} * t = 0.66 * 0.33 * 5.10 * 25.0 = 27.77 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ausnutzung Beplankung: } \frac{S_{v,0,d}}{f_{v,0,d}} = \frac{6.71}{27.77} = 0.24 \leq 1$$

WENN(Beplankung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Nachweis des Beulwiderstandes der Beplankung

$$f_{v,0,d} = k_{v1} * k_{v2} * f_{v,d} * 35 * \frac{t^2}{a_r} = 0.66 * 0.33 * 5.10 * 35 * \frac{25.0^2}{625} = 38.88 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ausnutzung Beplankung: } \frac{S_{v,0,d}}{f_{v,0,d}} = \frac{6.71}{38.88} = 0.17 \leq 1$$

WENN(Beplankung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Nachweis der Verbindungsmittel

#### Glattschaftige Nägel (ohne Vorbohrung)

Durchmesser D = GEW("Verbindungsmittel/Glattschaftig2"; D; ) = 3.5 mm

Länge L = GEW("Verbindungsmittel/Glattschaftig2"; L;D=D ) = 90.0 mm

Erforderliche Einschlagtiefe  $s_{\text{erf}} = 9 * D = 31.5 \text{ mm}$

Effektive Einschlagtiefe  $s_1 = L - t = 90.0 - 25.0 = 65 \text{ mm} \geq s_{\text{erf}}$

Tragwiderstand pro Scherfuge und Verbindungsmittel gemäss SIA 265 Tabelle 22 (Erhöhung um Faktor 1.13 gemäss SIA 265/1\_8.3.1.4)

$$R_d = 1.13 * 92 * D^{1.7} / 10^3 = 1.13 * 92 * 3.5^{1.7} / 10^3 = 0.87 \text{ kN}$$

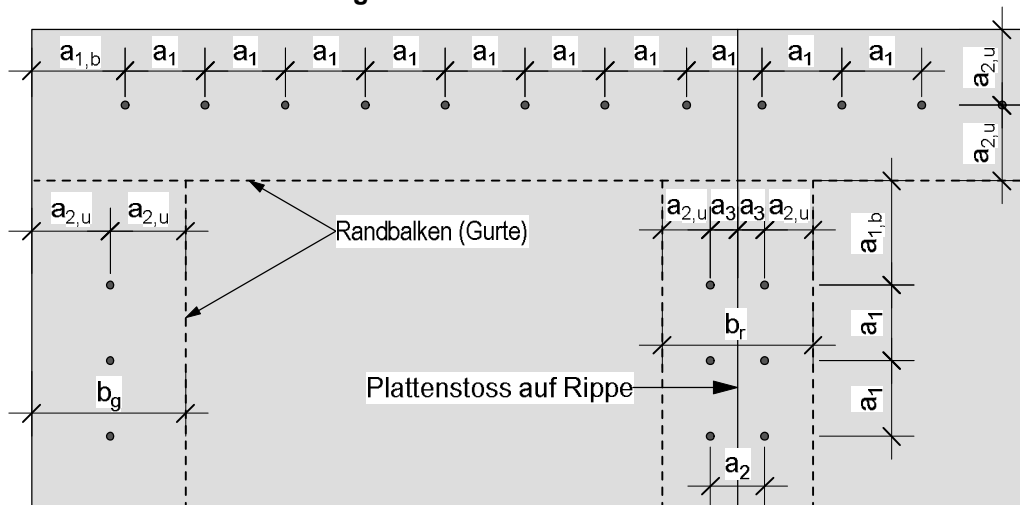
Charakteristische Lochleibungsfestigkeiten gemäss SIA 265/1 Tab. 31 bzw. SIA 265 Tab. 18 (für DSP).

$f_{h,k} = \text{TAB}(\text{"Verbindungsmittel/LochLG"}; fh0; HWS=BS; t=t; D=D) = 37.31 \text{ N/mm}^2$

SIA 265/1\_8.3.1:

$$R_{d,HWS} = \text{MIN}(\eta_w * \eta_t * R_d; \frac{2}{3} * \frac{\eta_{\text{mod}}}{\gamma_M} * \frac{f_{h,k}}{1000} * D * (t - 2)) = 0.87 \text{ kN}$$

### Minimale Abstände der Verbindungsmittel:



SIA 265, Tabelle 24:

|| zur Faserrichtung, untereinander  $a_1 =$  WENN( $D \leq 4; 10 \cdot D; 12 \cdot D$ ) = 35 mm

|| zur Faserrichtung, beanspr. Rand  $a_{1,b} =$   $15 \cdot D$  = 53 mm

⊥ zur Faserrichtung, untereinander  $a_2 =$   $5 \cdot D$  = 18 mm

Da die Holzdicke der Rippen immer  $\geq 14d$  kann  $a_{2,u}$  auf  $5d$  rediziert werden (SIA 265 Tab. 24):

⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand  $a_{2,u} =$   $5 \cdot D$  = 18 mm

SIA 265/1, Tabelle 33:

Im HWS, unbeanspr. Rand  $a_3 =$   $3 \cdot D$  = 11 mm

Kontrolle Ständerbreite:  $2 \cdot a_{2,u} + \text{MAX}(2 \cdot a_3; a_2) =$  58 mm  $\leq b_r$

### Gewählte Nagelabstände:

Erforderlich  $a_{\min} =$   $k_{v1} \cdot \frac{R_{d,HWS}}{S_{v,0,d}} \cdot 1000 =$  86 mm

Gewählter Nagelabstand  $a_v =$  75 mm  $\geq a_1$

SIA 265/1\_8.1.9:

Maximaler Abstand zwischen VM  $a_{\max} =$   $80 \cdot D =$  280  $\geq a_v$

### Nachweis der Verbindungsmittel

$f_{v,0,d} =$   $k_{v1} \cdot \frac{R_{d,HWS}}{a_v / 1000} = 0.66 \cdot \frac{0.87}{75 / 1000} =$  7.66 kN/m

**Ausnutzung:**  $\frac{S_{v,0,d}}{f_{v,0,d}} = \frac{6.71}{7.66} =$  0.88  $\leq 1$

WENN(Ausnutzung  $\leq 1$ ; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Nachweis Randbalken (Gurte)

Massgebend ist Zug:

Zugspannung  $\sigma_{t,0,d} =$   $\frac{N_{Ed} \cdot 1000}{b_g \cdot h_g} = \frac{55.72 \cdot 1000}{140 \cdot 480} =$  0.83 N/mm<sup>2</sup>

**Ausnutzung:**  $\frac{\sigma_{t,0,d}}{\eta_w \cdot \eta_t \cdot f_{t,0,d,g}} = \frac{0.83}{1.0 \cdot 1.0 \cdot 8.0} =$  0.10  $\leq 1$

WENN(Ausnutzung  $\leq 1$ ; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**



## Tragsicherheit Scheibe in x-Richtung

Maximale Querkraft in der Scheibe:

$$V_{Ed} = \frac{q'_{x,Ed} * h}{2} = \frac{3.89 * 9.00}{2} = 17.50 \text{ kN}$$

Schubfluss infolge der max. Querkraft mit  $h_{rechn}$  gemäss DIN 1052:2008-12\_8.7.3 (4):

-  $h_{rechn} \leq h$  wenn Last über Verteiler  $\perp$  zu den Rippen (Zwischenholz) in die Scheibe eingeleitet wird, die über die gesamte Scheibenhöhe durchgehen

-  $h_{rechn} \leq h/2$  bei anderen Systemen mit verteilten Last auf beide Ränder

-  $h_{rechn} \leq h/4$  bei anderen Systemen mit einseitiger Last

$$h_{rechn} = h/4 = 2.25 \text{ m}$$

$$S_{v,0,d} = \frac{V_{Ed}}{h_{rechn}} = \frac{17.50}{2.25} = 7.78 \text{ kN/m}$$

Maximale Biegemoment in der Scheibe:

$$M_{Ed} = \frac{q'_{x,Ed} * h^2}{8} = \frac{3.89 * 9.00^2}{8} = 39.39 \text{ kN/m}$$

Maximale Normalkraft im den Randbalken:

$$N_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{h_{rechn}} = \frac{39.39}{2.25} = 17.51 \text{ kN}$$

## **Bemerkungen:**

- Allfällige Stösse in den Randbalken sind Verformungsarm auszuführen, d.h. wenn der Bemessungswert des Tragwiderstandes grösser ist als der 1.5-fache Bemessungswert der Normalkraft.

- Ein Nachweis der Durchbiegung der Scheibe ist nicht erforderlich wenn  $h \geq l/4$ , die Länge der Platte  $\geq 1,0\text{m}$  und der Verbindungsmittelabstand  $a_v$  an allen nicht freien Plattenrändern eingehalten wird.

(DIN1052:2008-12\_8.7.3)

## **Nachweis des Schubwiderstandes der Beplankung**

Beiwerte  $k_{v,1}$  und  $k_{v,2}$  nach DIN 1052:2008-12\_10.6

$$\text{Beiwert } k_{v,1} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Bpl"}; kv1; ld=\text{Rippen}) = 0.66$$

$$\text{Beiwert } k_{v,2} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Bpl"}; kv2; \text{INDEX}=1) = 0.33$$

$$f_{v,d} = \frac{\eta_{mod}}{\gamma_M} * f_{v,k} = \frac{0.90}{1.2} * 6.8 = 5.10 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,0,d} = k_{v,1} * k_{v,2} * f_{v,d} * t = 0.66 * 0.33 * 5.10 * 25.0 = 27.77 \text{ kN/m}$$

$$\text{Ausnutzung Beplankung: } \frac{S_{v,0,d}}{f_{v,0,d}} = \frac{7.78}{27.77} = 0.28 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Beplankung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



## Nachweis des Beulwiderstandes der Beplankung

$$f_{v,0,d} = k_{v1} * k_{v2} * f_{v,d} * 35 * \frac{t^2}{a_r} = 0.66 * 0.33 * 5.10 * 35 * \frac{25.0^2}{625} = 38.88 \text{ kN/m}$$

**Ausnutzung Beplankung:**  $\frac{S_{v,0,d}}{f_{v,0,d}} = \frac{7.78}{38.88} = 0.20 \leq 1$

WENN(Beplankung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

## Nachweis der Verbindungsmittel

$$f_{v,0,d} = k_{v1} * \frac{R_{d,HWS}}{a_v / 1000} = 0.66 * \frac{0.87}{75 / 1000} = 7.66 \text{ kN/m}$$

**Ausnutzung:**  $\frac{S_{v,0,d}}{f_{v,0,d}} = \frac{7.78}{7.66} = 1.02 \leq 1$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis nicht erfüllt !**

## Nachweis Randbalken (Gurte)

Massgebend ist Zug:

$$\text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed} * 1000}{b_g * h_g} = \frac{17.51 * 1000}{140 * 480} = 0.26 \text{ N/mm}^2$$

**Ausnutzung:**  $\frac{\sigma_{t,0,d}}{\eta_w * \eta_t * f_{t,0,d,g}} = \frac{0.26}{1.0 * 1.0 * 8.0} = 0.03 \leq 1$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**



## Tragsicherheit Beplankung (Vertikal)

Die Beplankung muss vertikale Lasten **quer zur Faserrichtung der Deckschichten** aufnehmen. Die Beplankung ist als Mehrfeldträger ausgebildet und es wird ein Plattenstreifen von 1 m Breite betrachtet

Maximales Biegemoment (Schneider Bautabellen, 3-Feldträger):

$$M_{Ed} = 0.1 \cdot q_{z,Ed} \cdot \left( \frac{a_r}{1000} \right)^2 = 0.1 \cdot 3.53 \cdot \left( \frac{625}{1000} \right)^2 = 0.14 \text{ kNm/m}$$

Maximale Querkraft (Schneider Bautabellen, 3-Feldträger):

$$V_{Ed} = 0.6 \cdot q_{z,Ed} \cdot \left( \frac{a_r}{1000} \right) = 0.6 \cdot 3.53 \cdot \left( \frac{625}{1000} \right) = 1.32 \text{ kNm/m}$$

Nachweis der max. Biegerandspannung in der Platte:

$$\sigma_{m,90,d} = \frac{M_{Ed} \cdot 10^6 \cdot t / 2}{1000 \cdot t^3 / 12} = \frac{0.14 \cdot 10^6 \cdot 25.0 / 2}{1000 \cdot 25.0^3 / 12} = 1.34 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Biegefestigkeit in der Platte:

$$f_{m,90,d} = \frac{f_{m,90,k} \cdot \eta_{mod,V}}{\gamma_M} = \frac{7.4 \cdot 0.90}{1.2} = 5.55 \text{ N/mm}^2$$

**Ausnutzung:**  $\frac{\sigma_{m,90,d}}{f_{m,90,d}} = \frac{1.34}{5.55} = 0.24 \leq 1$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

Nachweis der maximalen Schubspannung in der Platte:

$$\tau_d = 1.5 \cdot \frac{V_{Ed} \cdot 1000}{1000 \cdot t} = 1.5 \cdot \frac{1.32 \cdot 1000}{1000 \cdot 25.0} = 0.08 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert der Schubfestigkeit in der Platte:

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k,2} \cdot \eta_{mod,V}}{\gamma_M} = \frac{1.0 \cdot 0.90}{1.2} = 0.75 \text{ N/mm}^2$$

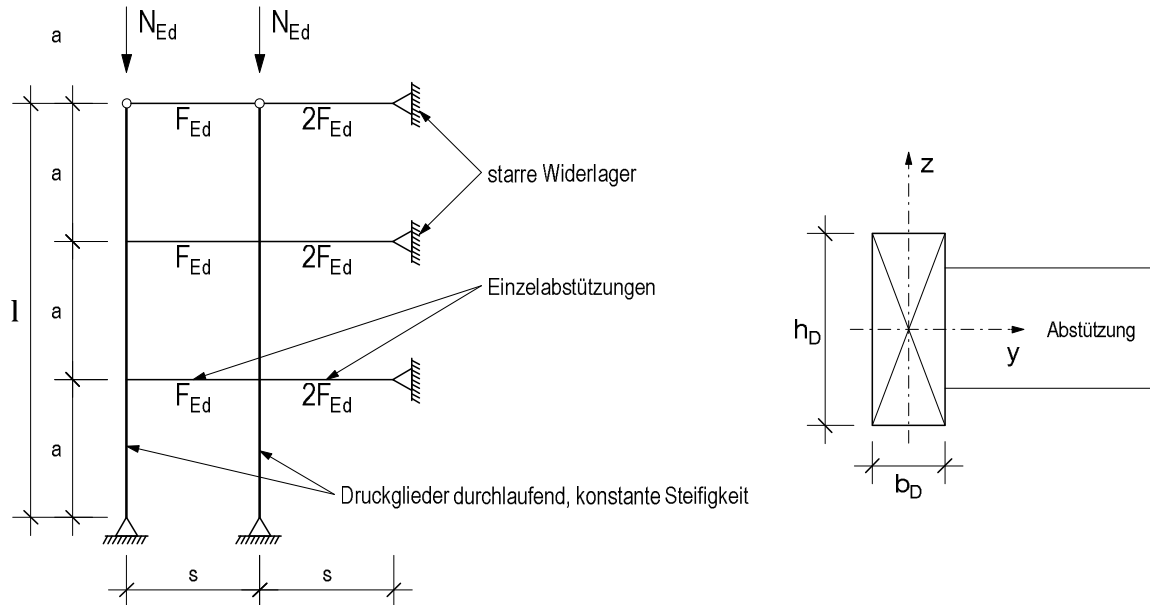
**Ausnutzung:**  $\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0.08}{0.75} = 0.11 \leq 1$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**



## Kapitel Stabilisierung und Verbände

### Stabilisierung durch Einzelabstützungen



#### Eingaben:

Länge Druckstab  $l =$  9000 mm  
 Länge Abstützung  $s =$  3000 mm  
 Abstand Abstützungen  $a =$  3000 mm

Feuchteklasse KL: GEW("SIA265/FK"; F; ) = 1  
 Faktor  $\eta_w$ : TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL) = 1.0  
 Faktor  $\eta_t$ : GEW("SIA265/EA"; FAK; ) = 1.0

#### Druckstab:

Breite  $b_D =$  200 mm  
 Höhe  $h_D =$  400 mm

Baustoff  $BS_D$ : GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Brettschichtholz  
 Festigkeitsklasse  $FK_D$ : GEW("SIA265/Holz"; FK; B=BS\_D) = GL24h  
 Festigkeit  $f_{c,0,d,D} =$  TAB("SIA265/Holz"; fc0d; FK=FK\_D) = 14.5 N/mm<sup>2</sup>  
 Festigkeit  $f_{c,0,k,D} =$  TAB("SIA265/Holz"; fc0k; FK=FK\_D) = 24.0 N/mm<sup>2</sup>  
 E-Modul  $E_{m,D} =$  TAB("SIA265/Holz"; E0mean; FK=FK\_D) = 11000 N/mm<sup>2</sup>  
 E-Modul  $E_{0,05,D} =$  TAB("SIA265/Holz"; E005; FK=FK\_D) = 9400 N/mm<sup>2</sup>

#### Abstützung:

Breite  $b_A =$  100 mm  
 Höhe  $h_A =$  200 mm

Baustoff  $BS_A$ : GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Nadelholz  
 Festigkeitsklasse  $FK_A$ : GEW("SIA265/Holz"; FK; B=BS\_A) = C24  
 Festigkeit  $f_{c,0,d,A} =$  TAB("SIA265/Holz"; fc0d; FK=FK\_A) = 12.0 N/mm<sup>2</sup>  
 Festigkeit  $f_{c,0,k,A} =$  TAB("SIA265/Holz"; fc0k; FK=FK\_A) = 21.0 N/mm<sup>2</sup>  
 Festigkeit  $f_{t,0,d,A} =$  TAB("SIA265/Holz"; ft0d; FK=FK\_A) = 8.0 N/mm<sup>2</sup>  
 E-Modul  $E_{m,A} =$  TAB("SIA265/Holz"; E0mean; FK=FK\_A) = 11000 N/mm<sup>2</sup>  
 E-Modul  $E_{0,05,A} =$  TAB("SIA265/Holz"; E005; FK=FK\_A) = 7300 N/mm<sup>2</sup>



## Einwirkungen (Massgebende Lastkombination Tragsicherheit):

$$\text{Druckkraft } N_{Ed} = 540.00 \text{ kN}$$

## Grenzzustand Tragsicherheit Typ 2

### Druckstab:

$$\text{QS Fläche } A_D = b_D \cdot h_D = 80000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Druckspannung } \sigma_{c,0,d,D} = \frac{N_{Ed} \cdot 1000}{A_D} = \frac{540.00 \cdot 1000}{80000} = 6.75 \text{ N/mm}^2$$

Knickbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.8):

Um die **schwache** Achse

$$\text{Knicklänge } l_k = a = 3000 \text{ mm}$$

Bei unverschieblicher Abstützung beträgt die Knicklänge  $l_k = a$ .

Bei elastischer Abstützung ist gemäss SIA 265 Ziffer 5.8.2.5 vorzugehen.

$$\text{Trägheitsradius } i_z = \frac{b_D}{\sqrt{12}} = \frac{200}{\sqrt{12}} = 57.74 \text{ mm}$$

$$\text{geom. Schlankheit } \lambda = \frac{l_k}{i_z} = \frac{3000}{57.74} = 52$$

$$\text{rel. Schlankheit } \lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k,D}}{E_{0,05,D}}} = \frac{52}{3.14159} \cdot \sqrt{\frac{24.0}{9400}} = 0.84$$

$$\text{Hilfswert } \beta_c = \text{WENN}(\text{BS}_D = \text{"Brettschichtholz"; } 0.1; 0.2) = 0.1$$

$$\text{Faktor } k = 0.5 \cdot \left( 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2 \right) = 0.88$$

$$\text{Knickbeiwert } k_c = \text{MIN}\left(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}; 1\right) = 0.88$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{c,0,d,D}}{\eta_w \cdot k_c \cdot f_{c,0,d,D}} = \frac{6.75}{1.0 \cdot 0.88 \cdot 14.5} = 0.53 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

Knickbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.8):

Um die **starke** Achse (Annahme: über die Ganze Länge  $l$  nicht gehalten)

$$\text{Knicklänge } l_k = l = 9000.00 \text{ mm}$$

$$\text{Trägheitsradius } i_y = \frac{h_D}{\sqrt{12}} = \frac{400}{\sqrt{12}} = 115.47 \text{ mm}$$

$$\text{geom. Schlankheit } \lambda = \frac{l_k}{i_y} = \frac{9000.00}{115.47} = 78$$

$$\text{rel. Schlankheit } \lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k,D}}{E_{0,05,D}}} = \frac{78}{3.14159} \cdot \sqrt{\frac{24.0}{9400}} = 1.25$$



Hilfswert  $\beta_c =$   $WENN(BS_D="Brettschichtholz";0.1;0.2) = 0.1$

Faktor  $k =$   $0.5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2) = 1.33$

**Knickbeiwert  $k_c =$**   $MIN(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}; 1) = 0.56$

**Ausnutzung:**  $\frac{\sigma_{c,0,d,D}}{\eta_w * k_c * f_{c,0,d,D}} = \frac{6.75}{1.0 * 0.56 * 14.5} = 0.83 < 1$

$WENN(Ausnutzung \leq 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt!") =$  **Nachweis erfüllt**

### Abstützung: (Annahme: Abstützung ist nicht gehalten $\Rightarrow$ Knicken um schwache Achse massgebend)

Bei unverschieblich gelagerten Abstützungen ist die Einzelkraft wie folgt zu bemessen (SIA 265\_5.8.2.1):

Druck resp. Zug  $F_{Ed} =$   $WENN(BS_D="Brettschichtholz"; \frac{N_{Ed}}{90}; \frac{N_{Ed}}{55}) = 6.00 \text{ kN}$

QS Fläche  $A_A =$   $b_A * h_A = 20000 \text{ mm}^2$

**Druckspannung  $\sigma_{c,0,d,A} =$**   $\frac{F_{Ed} * 1000}{A_A} = \frac{6.00 * 1000}{20000} = 0.30 \text{ N/mm}^2$

Zugspannung  $\sigma_{t,0,d,A} =$   $\sigma_{c,0,d,A} = 0.30 \text{ N/mm}^2$

Knickbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.8):

Um die **schwache** Achse

Knicklänge  $l_k =$   $s = 3000 \text{ mm}$

Bei unverschieblicher Abstützung beträgt die Knicklänge  $l_k = a$

Bei elastischer Abstützung ist gemäss SIA 265 Ziffer 5.8.2.5 vorzugehen.

Trägheitsradius  $i_z =$   $\frac{b_A}{\sqrt{12}} = \frac{100}{\sqrt{12}} = 28.87 \text{ mm}$

geom. Schlankheit  $\lambda =$   $\frac{l_k}{i_z} = \frac{3000}{28.87} = 104$

rel. Schlankheit  $\lambda_{rel} =$   $\frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k,A}}{E_{0,05,A}}} = \frac{104}{3.14159} * \sqrt{\frac{21.0}{7300}} = 1.78$

Hilfswert  $\beta_c =$   $WENN(BS_D="Brettschichtholz";0.1;0.2) = 0.1$

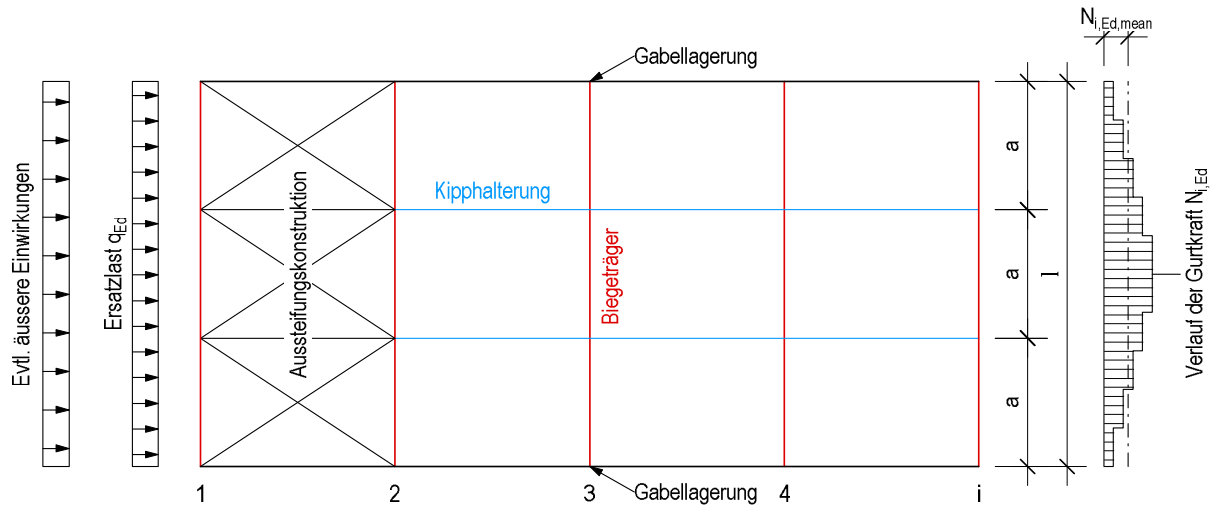
Faktor  $k =$   $0.5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2) = 2.16$

**Knickbeiwert  $k_c =$**   $MIN(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}; 1) = 0.30$

**Ausnutzung:**  $\frac{\sigma_{c,0,d,A}}{\eta_w * k_c * f_{c,0,d,A}} = \frac{0.30}{1.0 * 0.30 * 12.0} = 0.08 < 1$

$WENN(Ausnutzung \leq 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt!") =$  **Nachweis erfüllt**

## Stabilisierung von Biegeträger im Dach



### Randbedingungen und Voraussetzungen

- Die Einwirkungen für die Bemessung der Aussteifungskonstruktion und deren erforderliche Steifigkeit lassen sich grundsätzlich nur auf der Grundlage einer räumlichen Berechnung nach Theorie 2. Ordnung ermitteln. Für den häufigsten Fall einer Reihe von parallelen Biegeträgern oder Fachwerktägern bietet die SIA 265\_5.8.4.4 aber zusätzlich einen vereinfachten Rechenansatz nach Theorie 1. Ordnung (Ersatzstabverfahren).
- Mit der Aussteifungskonstruktion eines Biegeträgers ist in der Regel Folgendes zu gewährleisten:
  - die Gabellagerung des Trägers mittels ausreichender steifer Halterung,
  - die Seitliche Abstützung des gedrückten Randes bzw. des Druckgurtes im Abstand  $a$  gegen das Kippen entsprechend den Voraussetzungen beim Kippnachweis,
  - die Abstützungen bzw. Halterung weiterer Bauteile, z.B. der Stützen einer Giebelwand,
  - die Aufnahme und die Abtragung bzw. der Ausgleich der Stabilisierungskräfte,
  - die Aufnahme und Weiterleitung von äusserlich wirkenden Horizontallasten.
- Träger mit veränderlicher Höhe (z.B. Satteldachträger) verursachen durch die im geknickten First entstehende Umlenkkraft grössere Stabilisierungskräfte als gerade Träger mit konstanter Höhe.
- Mit zunehmender Distanz zur Aussteifungskonstruktion nimmt die Steifigkeit der Abstützung ab. Nach der früheren DIN 1052-1:1988-4 Ziffer 10.2.5 sollte der lichte Abstand zwischen zwei Aussteifungsverbände 25 m nicht überschreiten.

### Eingaben

<b>Spannweite <math>l</math> =</b>	<b>20.0 m</b>		
<b>Kipphalterungsabstand <math>a</math> =</b>	<b>5.0 m</b>		
Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0



### Biegeträger

Breite  $b = 180 \text{ mm}$   
Höhe  $h = 1440 \text{ mm}$   
Anzahl  $n = 5 \text{ Stk.}$

Baustoff BS: GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Brettschichtholz  
Festigkeitsklasse FK: GEW("SIA265/Holz"; FK; B=BS) = GL28h  
Festigkeit  $f_{m,d} = \text{TAB("SIA265/Holz"; fmd; FK=FK)} = 18.5 \text{ N/mm}^2$   
Festigkeit  $f_{m,k} = \text{TAB("SIA265/Holz"; fmk; FK=FK)} = 28.0 \text{ N/mm}^2$   
E-Modul  $E_{0,05} = \text{TAB("SIA265/Holz"; E005; FK=FK)} = 10200 \text{ N/mm}^2$

### Abstützung (Kipphalterung)

Breite  $b_A = 120 \text{ mm}$   
Höhe  $h_A = 120 \text{ mm}$   
Länge  $l_A = 5.0 \text{ m}$

Anzahl Kipphalterungen hintereinander:

Anzahl  $n_A = 3 \text{ Stk.}$

Baustoff  $BS_A$ : GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Nadelholz  
Festigkeitsklasse  $FK_A$ : GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $BS_A$ ) = C24  
Festigkeit  $f_{c,0,d,A} = \text{TAB("SIA265/Holz"; fc0d; FK= $FK_A$ )} = 12.0 \text{ N/mm}^2$   
Festigkeit  $f_{c,0,k,A} = \text{TAB("SIA265/Holz"; fc0k; FK= $FK_A$ )} = 21.0 \text{ N/mm}^2$   
Festigkeit  $f_{t,0,d,A} = \text{TAB("SIA265/Holz"; ft0d; FK= $FK_A$ )} = 8.0 \text{ N/mm}^2$   
E-Modul  $E_{0,05,A} = \text{TAB("SIA265/Holz"; E005; FK= $FK_A$ )} = 7300 \text{ N/mm}^2$

### Belastung

#### Ständige Einwirkungen (aus Belastungsannahme)

$g'_k = 8.80 \text{ kN/m}$

#### Veränderliche Leiteinwirkung

Einwirkung Kat = GEW("SIA260/Red"; EW; ) = Schnee

$q'_k = 3.96 \text{ kN/m}$

### Ersatzlast auf Aussteifungskonstruktion

Massgebende Bemessungssituation:

-Eigenlast + Auflast + Leiteinwirkung Schnee (SIA 260 Formel 16)

Lastbeiwerte gemäss SIA 260 Tabelle 1

Lastbeiwert  $\gamma_G = \text{TAB("SIA260/LBeiw"; } \gamma_G; S=\text{"ungünstig"}) = 1.35$

Lastbeiwert  $\gamma_Q = \text{TAB("SIA260/LBeiw"; } \gamma_Q; S=\text{"allgemein"}) = 1.50$

Bemessungswert der Einwirkung:

$q'_{Ed} = \gamma_G * g'_k + \gamma_Q * q'_k = 1.35 * 8.80 + 1.50 * 3.96 = 17.82 \text{ kN/m}$

Maximales Biegemoment im Träger:

$M_{Ed} = \frac{q'_{Ed} * l^2}{8} = \frac{17.82 * 20.0^2}{8} = 891 \text{ kNm}$

Kippbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.9.3 und 5.8.2.4):

Der Kippbeiwert ist für den unausgesteiften Biegeträger zu ermitteln  $\Rightarrow$  Kipphalterungsabstand  $a = l$



$$\lambda_{rel,m} = 1.15 \cdot \frac{\sqrt{I \cdot 1000 \cdot h}}{b} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 1.15 \cdot \frac{\sqrt{20.0 \cdot 1000 \cdot 1440}}{180} \cdot \sqrt{\frac{28.0}{10200}} = 1.80$$

$$\text{Kippbeiwert } k_m = \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m}; 1/\lambda_{rel,m}^2)) = 0.31$$

Ersatz-Normalkraft  $N_{Ed}$  für **einem** Biegeträger (SIA 265\_5.8.2.4):

$$N_{Ed} = (1 - k_m) \cdot \frac{M_{Ed}}{h/1000} = 426.94 \text{ kN}$$

Ersatlast  $q'_{Ed}$  für die n Biegeträger (SIA 265\_5.8.4.4):

$$q'_{Ed} = \frac{n \cdot N_{Ed}}{30 \cdot l} = \frac{5 \cdot 426.94}{30 \cdot 20.0} = 3.56 \text{ kN/m}$$

Hinweis: Für die Bemessung der Aussteifungskonstruktion sind nebst der Ersatlast  $q'_{Ed}$  evtl. noch äussere Einwirkungen mitzuberechnen. Die erforderlichen Nachweise werden nicht dargestellt.

### Steifigkeitsanforderungen: Durchbiegungsnachweis

Die Aussteifungskonstruktion muss folgende Steifigkeitsbedingungen erfüllen (SIA 265\_5.8.4.4):

a) Infolge der Ersatlast  $q'_{Ed}$  allein

$$\text{Maximale Ausbiegung } W_{max} = \frac{I \cdot 1000}{500} = \frac{20.0 \cdot 1000}{500} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Minimale Steifigkeit } EI_{erf} = \frac{5 \cdot q'_{Ed} \cdot (I \cdot 1000)^4}{384 \cdot W_{max}} = 185 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

b) Infolge der Ersatlast  $q'_{Ed}$  zuzüglich äussere Einwirkung (z.B. Wind)

$$\text{Maximale Ausbiegung } W_{max} = \frac{I \cdot 1000}{350} = \frac{20.0 \cdot 1000}{350} = 57 \text{ mm}$$

### Tragsicherheit Biegeträger:

$$\text{Widerstandsmoment } W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{180 \cdot 1440^2}{6} = 62208000 \text{ mm}^3$$

$$\text{Biegerandspannung } \sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed} \cdot 10^6}{W_y} = \frac{891 \cdot 10^6}{62208000} = 14.32 \text{ N/mm}^2$$

Kippbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.9.3):

$$\lambda_{rel,m} = 1.15 \cdot \frac{\sqrt{a \cdot 1000 \cdot h}}{b} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 1.15 \cdot \frac{\sqrt{5.0 \cdot 1000 \cdot 1440}}{180} \cdot \sqrt{\frac{28.0}{10200}} = 0.90$$

$$\text{Kippbeiwert } k_m = \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m}; 1/\lambda_{rel,m}^2)) = 0.89$$

$$\text{Höhenbeiwert } k_h = \text{MIN}(1.1; \text{WENN}(\text{BS} = \text{"Brettschichtholz"}; \left(\frac{600}{h}\right)^{0.1}; 1)) = 0.92$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{m,d}}{\eta_w \cdot k_m \cdot k_h \cdot f_{m,d}} = \frac{14.32}{1.0 \cdot 0.89 \cdot 0.92 \cdot 18.5} = 0.95 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

**Bemerkung:** Für weitere erforderliche Nachweise wie Schub, Querdruck und Durchbiegung kann die Vorlage für Biegeträger benutzt werden.



### Tragsicherheit Abstützung (Kipphalterung):

Bei unverschieblich gelagerten Abstützungen ist die Einzelkraft wie folgt zu bemessen (SIA 265\_5.8.2.1):

$$\text{Druck resp. Zug } F_{Ed} = n_A * \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; \frac{N_{Ed}}{90}; \frac{N_{Ed}}{55}) = 14.23 \text{ kN}$$

$$\text{QS Fläche } A_A = b_A * h_A = 14400 \text{ mm}^2$$

$$\text{Druckspannung } \sigma_{c,0,d,A} = \frac{F_{Ed} * 1000}{A_A} = \frac{14.23 * 1000}{14400} = 0.99 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d,A} = \sigma_{c,0,d,A} = 0.99 \text{ N/mm}^2$$

Knickbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.8):

Um die **schwache** Achse ist massgebend

$$\text{Knicklänge } l_k = l_A * 1000 = 5000 \text{ mm}$$

Bei unverschieblicher Abstützung beträgt die Knicklänge  $l_k = a$

Bei elastischer Abstützung ist gemäss SIA 265 Ziffer 5.8.2.5 vorzugehen.

$$\text{Trägheitsradius } i_z = \frac{b_A}{\sqrt{12}} = \frac{120}{\sqrt{12}} = 34.64 \text{ mm}$$

$$\text{geom. Schlankheit } \lambda = \frac{l_k}{i_z} = \frac{5000}{34.64} = 144$$

$$\text{rel. Schlankheit } \lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k,A}}{E_{0,05,A}}} = \frac{144}{3.14159} * \sqrt{\frac{21.0}{7300}} = 2.46$$

$$\text{Hilfswert } \beta_c = \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; 0.1; 0.2) = 0.1$$

$$\text{Faktor } k = 0.5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2) = 3.63$$

$$\text{Knickbeiwert } k_c = \text{MIN}\left(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}; 1\right) = 0.16$$

**Druck:**

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{c,0,d,A}}{\eta_w * k_c * f_{c,0,d,A}} = \frac{0.99}{1.0 * 0.16 * 12.0} = 0.52 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

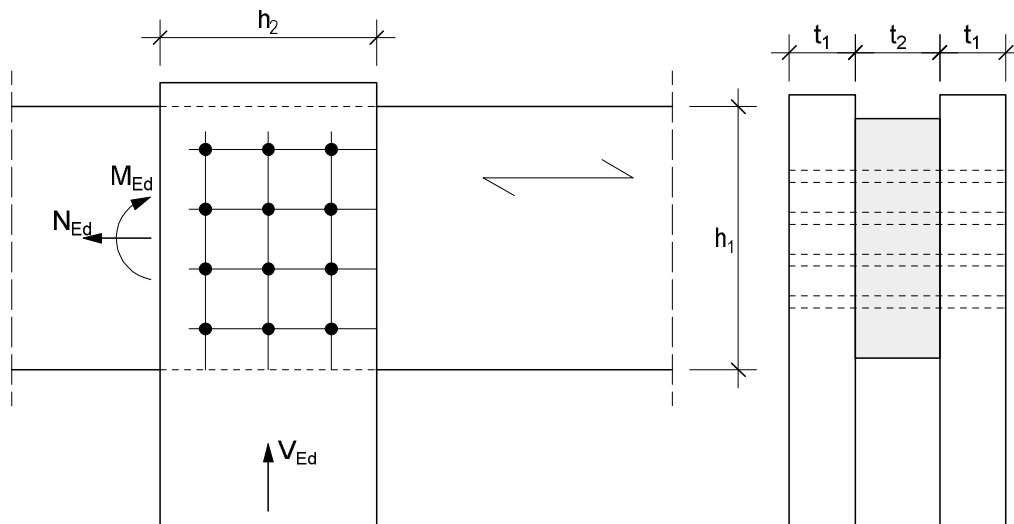
**Zug:**

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d,A}}{\eta_w * f_{t,0,d,A}} = \frac{0.99}{1.0 * 8.0} = 0.12 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

## Kapitel Anschlüsse

### Biegesteifer Anschluss Holz-Holz 1



#### Voraussetzungen

- Stabdübel nach SN EN 14592 aus Stahl mit einer Mindestzugfestigkeit  $f_{u,k} = 510 \text{ N/mm}^2$  (S355) und einem Durchmesser  $d$  von 6 mm bis 30 mm
- Holzteile mit Rissen und markhaltiges Holz sind nicht zulässig.
- Die Holzfeuchte darf beim Abbund um nicht mehr als  $\pm 3\%$  vom erwarteten Mittelwert der Ausgleichsfeuchte des Bauteils am Einbauort abweichen.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Seitenholz

Breite $t_1$ =	100 mm
Höhe $h_1$ =	300 mm

Material $\text{Mat}_S$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Brettschichtholz
Festigkeitsklasse $\text{FK}_S$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $\text{Mat}_S$ )	=	GL24h
Rohdichte $\rho_{k,S}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $\text{FK}_S$ )	=	380 kg/m <sup>3</sup>

#### Mittelholz

Breite $t_2$ =	120 mm
Höhe $h_2$ =	300 mm

Material $\text{Mat}_M$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Brettschichtholz
Festigkeitsklasse $\text{FK}_M$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $\text{Mat}_M$ )	=	GL24h
Rohdichte $\rho_{k,M}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $\text{FK}_M$ )	=	380 kg/m <sup>3</sup>



### Stabdübel

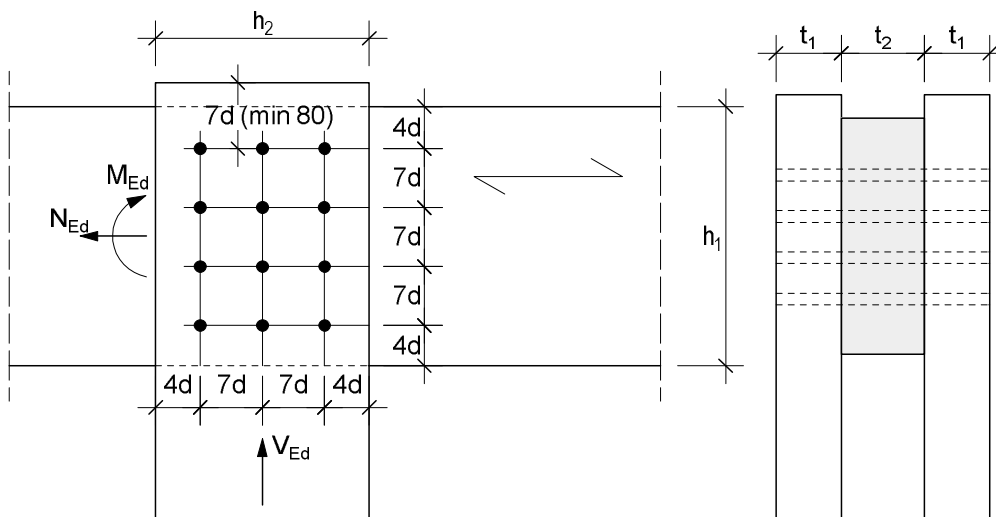
Durchmesser Stabdübel $d =$		10 mm	
Anzahl Spalten $n_{Sp} =$		4	
Anzahl Zeilen $n_{Ze} =$		4	
Gesamtanzahl $n_{tot} =$	$n_{Sp} \cdot n_{Ze}$	=	16

### Belastung:

Normalkraft $N_{Ed} =$		10.00 kN	
Normalkraftexzentrizität $e_N =$		0 mm	
Querkraft $V_{Ed} =$		10.00 kN	
Querkraftexzentrizität $e_V =$		0 mm	
Moment $M_{Ed} =$		5.00 kNm	

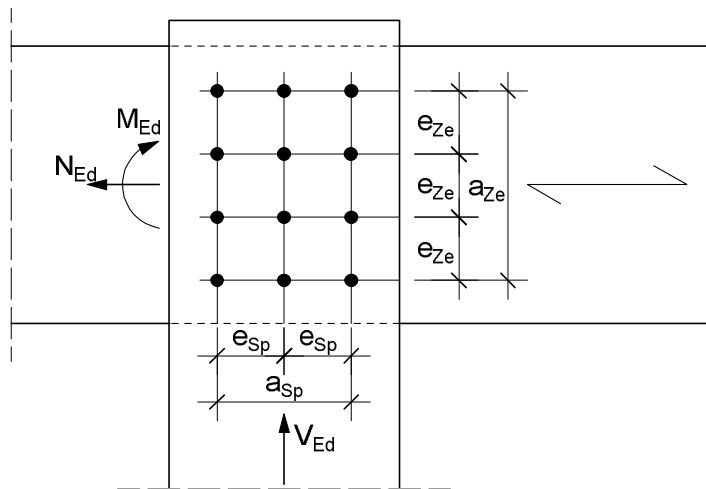
### Abstände Verbindungsmittel

#### Minimale Abstände:



zur Faserrichtung, untereinander $a_1 =$	$7 \cdot d$		= 70.0 mm
zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{1,b} =$	$7 \cdot d$		= 70.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b} =$	$4 \cdot d$		= 40.0 mm

**Gewählte Abstände:**



Spaltenabstand $e_{Sp} =$	$70 \text{ mm} \geq a_1$
Zeilenabstand $e_{Ze} =$	$70 \text{ mm} \geq a_1$
Kontrolle Höhe Seitenholz:	$2 * a_{2,b} + (n_{Sp} - 1) * e_{Sp} = 290 \text{ mm} \leq h_1$
Kontrolle Höhe Mittelholz:	$2 * a_{2,b} + (n_{Ze} - 1) * e_{Ze} = 290 \text{ mm} \leq h_2$
Abst. der äußeren Spalten $a_{Sp} =$	$(n_{Sp} - 1) * e_{Sp} = 210 \text{ mm}$
Abst. der äußeren Zeilen $a_{Ze} =$	$(n_{Ze} - 1) * e_{Ze} = 210 \text{ mm}$

**Berechnung der Beanspruchung**

**Polares Trägheitsmoment:**

aus den Spalten:	$2 * n_{Ze} * (a_{Sp}/2)^2 = 88200 \text{ mm}^2$
	$WENN(a_{Sp}/2 - e_{Sp} > 0; 2 * n_{Ze} * (a_{Sp}/2 - e_{Sp})^2; 0) = 9800 \text{ mm}^2$
	$WENN(a_{Sp}/2 - 2 * e_{Sp} > 0; 2 * n_{Ze} * (a_{Sp}/2 - 2 * e_{Sp})^2; 0) = 0 \text{ mm}^2$
	$WENN(a_{Sp}/2 - 3 * e_{Sp} > 0; 2 * n_{Ze} * (a_{Sp}/2 - 3 * e_{Sp})^2; 0) = 0 \text{ mm}^2$
	$WENN(a_{Sp}/2 - 4 * e_{Sp} > 0; 2 * n_{Ze} * (a_{Sp}/2 - 4 * e_{Sp})^2; 0) = 0 \text{ mm}^2$
aus den Zeilen:	$2 * n_{Sp} * (a_{Ze}/2)^2 = 88200 \text{ mm}^2$
	$WENN(a_{Ze}/2 - e_{Ze} > 0; 2 * n_{Sp} * (a_{Ze}/2 - e_{Ze})^2; 0) = 9800 \text{ mm}^2$
	$WENN(a_{Ze}/2 - 2 * e_{Ze} > 0; 2 * n_{Sp} * (a_{Ze}/2 - 2 * e_{Ze})^2; 0) = 0 \text{ mm}^2$
	$WENN(a_{Ze}/2 - 3 * e_{Ze} > 0; 2 * n_{Sp} * (a_{Ze}/2 - 3 * e_{Ze})^2; 0) = 0 \text{ mm}^2$
	$WENN(a_{Ze}/2 - 4 * e_{Ze} > 0; 2 * n_{Sp} * (a_{Ze}/2 - 4 * e_{Ze})^2; 0) = 0 \text{ mm}^2$
	<b><math>I_p = \underline{196000 \text{ mm}^2}</math></b>

**Moment im Anschlussschwerpunkt:**

$$\text{Anschlussmoment } M_{A,d} = M_{Ed} + N_{Ed} * (e_N / 1000) + V_{Ed} * (e_V / 1000) = 5.00 \text{ kNm}$$



### Kraftkomponenten je Verbindungsmittel:

$$\text{aus Normalkraft: } N_{Ed} / n_{tot} = 0.63 \text{ kN}$$

$$\text{aus Moment: } M_{A,d} * 10^3 * (a_{ze}/2) / I_p = 2.68 \text{ kN}$$

$$\text{Horizontalkomponente } F_{H,d} = \underline{\underline{3.31 \text{ kN}}}$$

$$\text{aus Querkraft: } V_{Ed} / n_{tot} = 0.63 \text{ kN}$$

$$\text{aus Moment: } M_{A,d} * 10^3 * (a_{sp}/2) / I_p = 2.68 \text{ kN}$$

$$\text{Vertikalkomponente } F_{V,d} = \underline{\underline{3.31 \text{ kN}}}$$

Maximale aufzunehmende Kraft pro Stabdübel:

$$\text{Resultierende } F_{Ed} = \sqrt{F_{H,d}^2 + F_{V,d}^2} = 4.68 \text{ kN}$$

$$\text{Kraft-Faser-Winkel Seitenholz } \alpha_1 = \text{atan} \left( \frac{F_{H,d}}{F_{V,d}} \right) = 45.0^\circ$$

$$\text{Kraft-Faser-Winkel Mittelholz } \alpha_2 = \text{atan} \left( \frac{F_{V,d}}{F_{H,d}} \right) = 45.0^\circ$$

### Berechnung der Tragfähigkeit:

#### Fixe Werte

$$\text{Mindestzugfestigkeit } f_{u,k} = 510 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Faktor } k_{\alpha} = 0.73$$

$$\text{Anzahl der Scherfugen } p = 2$$

#### Charakteristische Lochleibungsfestigkeit

##### Seitenholz:

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_{k,S} = 28.04 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,90,k} = \text{WENN}(\text{Mat}_S = \text{"Laubholz"}; \frac{f_{h,0,k}}{0.9 + 0.015 * d}; \frac{f_{h,0,k}}{1.35 + 0.015 * d}) = 18.69 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,0,k} - \frac{\alpha_1}{90} * (f_{h,0,k} - f_{h,90,k}) = 23.36 \text{ N/mm}^2$$

##### Mittelholz:

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_{k,M} = 28.04 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,90,k} = \text{WENN}(\text{Mat}_S = \text{"Laubholz"}; \frac{f_{h,0,k}}{0.9 + 0.015 * d}; \frac{f_{h,0,k}}{1.35 + 0.015 * d}) = 18.69 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,2,k} = f_{h,0,k} - \frac{\alpha_2}{90} * (f_{h,0,k} - f_{h,90,k}) = 23.36 \text{ N/mm}^2$$

Massgebend ist die Lochleibungsfestigkeit des Seitenholzes (SIA 265\_6.2.1.1)

$$\text{Massgebende Lochleibungsfestigkeit } f_{h,k} = f_{h,1,k} = 23.36 \text{ kN}$$



### Erforderliche Holzicken und Hilfswerte

$$\text{Verhältnis Lochleibung } \beta_f = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = 1.00$$

#### Seitenholz:

$$\text{Holzdicke } t_{1,1} = 0.44 * \left( \sqrt{\frac{\beta_f}{1 + \beta_f}} + 1 \right) * \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,1,k}}} * d^{0.8} = 22.1 \text{ mm}$$

$$\text{Holzdicke } t_{1,2} = 1.26 * \left( \sqrt{\frac{\beta_f}{1 + \beta_f}} + 1 \right) * \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,1,k}}} * d^{0.8} = 63.4 \text{ mm}$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 1,1} = 0.6 * \sqrt{\frac{4 * \beta_f}{1 + \beta_f}} = 0.85$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 1,2} = \sqrt{\frac{4 * \beta_f}{1 + \beta_f}} = 1.41$$

#### Mittelholz:

$$\text{Holzdicke } t_{2,2} = 2.52 * \frac{1}{\sqrt{1 + \beta_f}} * \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,2,k}}} * d^{0.8} = 52.53 \text{ mm}$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 2,2} = \sqrt{\frac{4 * \beta_f}{1 + \beta_f}} = 1.41$$

Daraus ergeben sich die effektiven Hilfswerte  $k_{\beta 1}$  und  $k_{\beta 2}$  (SIA 265, A.1 Figur 41)

$$\text{Hilfswerte } k_{\beta 1} = \text{MIN}(k_{\beta 1,1} + (t_1 - t_{1,1}) / (t_{1,2} - t_{1,1}) * (k_{\beta 1,2} - k_{\beta 1,1}); k_{\beta 1,2}) = 1.41$$

$$\text{Hilfswerte } k_{\beta 2} = \text{MIN}(t_2 / t_{2,2} * k_{\beta 2,2}; k_{\beta 2,2}) = 1.41$$

$$\text{massgebendert Hilfswert } k_{\beta} = \text{MIN}(k_{\beta 1}; k_{\beta 2}) = 1.41$$

Abminderungsfaktor zur Bestimmung der wirksamen Anzahl der Verbindungsmittel in biegesteifen Verbindungen vereinfacht nach DIN 1052\_12.3 (11)

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{\text{red}} = 0.85$$

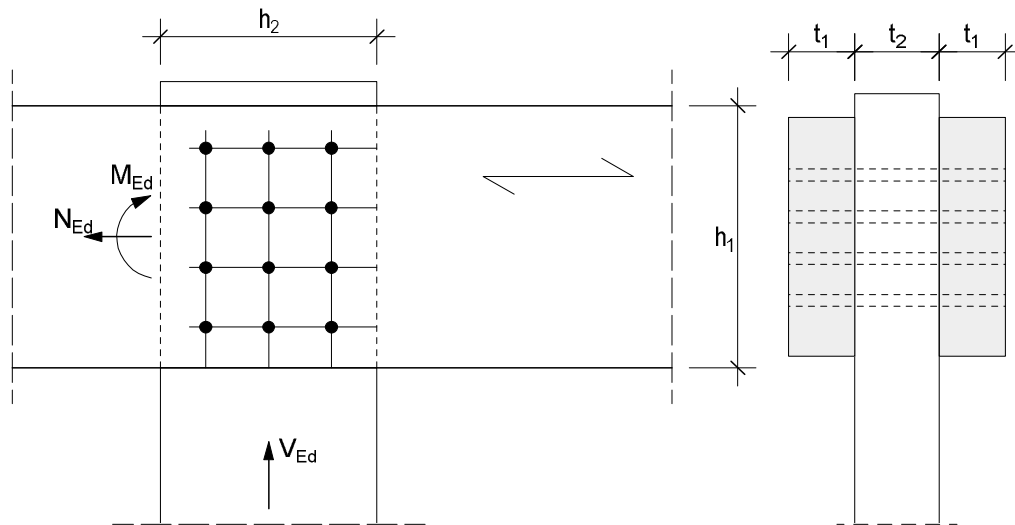
$$\text{Tragwiderstand } R_d = k_{\alpha} * k_{\text{red}} * 1 * p * k_{\beta} * \sqrt{0.3 * f_{u,k} * f_{h,k}} * d^{1.8} * \eta_w * \eta_t / 10^3 = 6.60 \text{ kN}$$

### Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}}{R_d} = \frac{4.68}{6.60} = 0.71 \leq 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Biegesteifer Anschluss Holz-Holz 2



#### Voraussetzungen

- Stabdübel nach SN EN 14592 aus Stahl mit einer Mindestzugfestigkeit  $f_{u,k} = 510 \text{ N/mm}^2$  (S355) und einem Durchmesser  $d$  von 6 mm bis 30 mm
- Holzteile mit Rissen und markhaltiges Holz sind nicht zulässig.
- Die Holzfeuchte darf beim Abbund um nicht mehr als  $\pm 3\%$  vom erwarteten Mittelwert der Ausgleichsfeuchte des Bauteils am Einbauort abweichen.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Seitenholz

Breite $t_1$ =	100 mm
Höhe $h_1$ =	300 mm

Material $Mat_S$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Brettschichtholz
Festigkeitsklasse $FK_S$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_S$ )	=	GL24h
Rohdichte $\rho_{k,S}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_S$ )	=	380 kg/m <sup>3</sup>

#### Mittelholz

Breite $t_2$ =	120 mm
Höhe $h_2$ =	300 mm

Material $Mat_M$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Brettschichtholz
Festigkeitsklasse $FK_M$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_M$ )	=	GL24h
Rohdichte $\rho_{k,M}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_M$ )	=	380 kg/m <sup>3</sup>

## Stabdübel

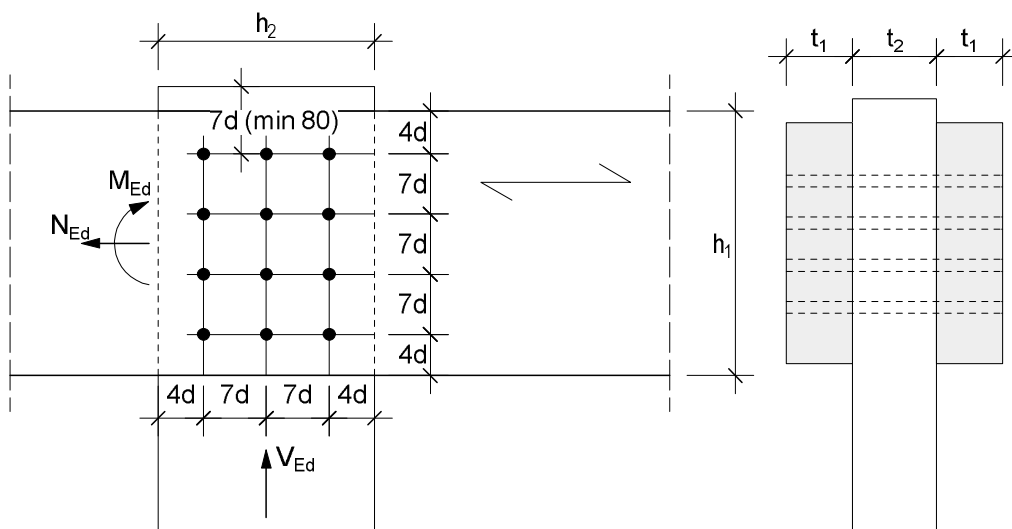
Durchmesser Stabdübel $d =$			10 mm
Anzahl Spalten $n_{Sp} =$			4
Anzahl Zeilen $n_{Ze} =$			4
Gesamtanzahl $n_{tot} =$	$n_{Sp} \cdot n_{Ze}$	$=$	16

## Belastung:

Normalkraft $N_{Ed} =$	10.00 kN
Normalkraftexzentrizität $e_N =$	0 mm
Querkraft $V_{Ed} =$	10.00 kN
Querkraftexzentrizität $e_V =$	0 mm
Moment $M_{Ed} =$	5.00 kNm

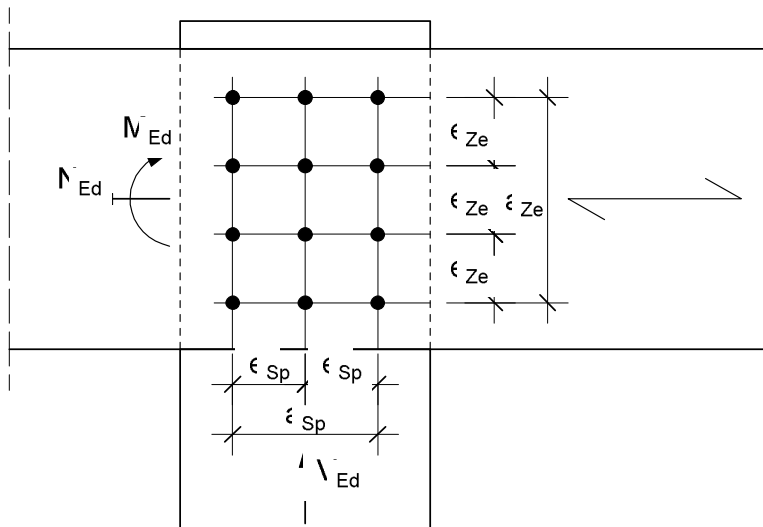
## Abstände Verbindungsmittel

### Minimale Abstände:



zur Faserrichtung, untereinander $a_1 =$	$7 \cdot d$	$=$	70.0 mm
zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{1,b} =$	$7 \cdot d$	$=$	70.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b} =$	$4 \cdot d$	$=$	40.0 mm

**Gewählte Abstände:**



Spaltenabstand $e_{Sp} =$		$70 \text{ mm} \geq a_1$
Zeilenabstand $e_{Ze} =$	$e_{Sp}$	$= 70 \text{ mm} \geq a_1$
Kontrolle Höhe Seitenholz:	$2 * a_{2,b} + (n_{Ze} - 1) * e_{Ze}$	$= 290 \text{ mm} \leq h_1$
Kontrolle Höhe Mittelholz:	$2 * a_{2,b} + (n_{Sp} - 1) * e_{Sp}$	$= 290 \text{ mm} \leq h_2$
Abst. der äußeren Spalten $a_{Sp} =$	$(n_{Sp} - 1) * e_{Sp}$	$= 210 \text{ mm}$
Abst. der äußeren Zeilen $a_{Ze} =$	$(n_{Ze} - 1) * e_{Ze}$	$= 210 \text{ mm}$

**Berechnung der Beanspruchung**

**Polares Trägheitsmoment:**

aus den Spalten:	$2 * n_{Ze} * (a_{Sp}/2)^2$	$= 88200 \text{ mm}^2$
	$WENN(a_{Sp}/2 - e_{Sp} > 0; 2 * n_{Ze} * (a_{Sp}/2 - e_{Sp})^2; 0)$	$= 9800 \text{ mm}^2$
	$WENN(a_{Sp}/2 - 2 * e_{Sp} > 0; 2 * n_{Ze} * (a_{Sp}/2 - 2 * e_{Sp})^2; 0)$	$= 0 \text{ mm}^2$
	$WENN(a_{Sp}/2 - 3 * e_{Sp} > 0; 2 * n_{Ze} * (a_{Sp}/2 - 3 * e_{Sp})^2; 0)$	$= 0 \text{ mm}^2$
	$WENN(a_{Sp}/2 - 4 * e_{Sp} > 0; 2 * n_{Ze} * (a_{Sp}/2 - 4 * e_{Sp})^2; 0)$	$= 0 \text{ mm}^2$

aus den Zeilen:	$2 * n_{Sp} * (a_{Ze}/2)^2$	$= 88200 \text{ mm}^2$
	$WENN(a_{Ze}/2 - e_{Ze} > 0; 2 * n_{Sp} * (a_{Ze}/2 - e_{Ze})^2; 0)$	$= 9800 \text{ mm}^2$
	$WENN(a_{Ze}/2 - 2 * e_{Ze} > 0; 2 * n_{Sp} * (a_{Ze}/2 - 2 * e_{Ze})^2; 0)$	$= 0 \text{ mm}^2$
	$WENN(a_{Ze}/2 - 3 * e_{Ze} > 0; 2 * n_{Sp} * (a_{Ze}/2 - 3 * e_{Ze})^2; 0)$	$= 0 \text{ mm}^2$
	$WENN(a_{Ze}/2 - 4 * e_{Ze} > 0; 2 * n_{Sp} * (a_{Ze}/2 - 4 * e_{Ze})^2; 0)$	$= 0 \text{ mm}^2$

$I_p = \underline{\underline{196000 \text{ mm}^2}}$

**Moment im Anschlussschwerpunkt:**

Anschlussmoment  $M_{A,d} = M_{Ed} + N_{Ed} * (e_N / 1000) + V_{Ed} * (e_V / 1000) = 5.00 \text{ kNm}$



### Kraftkomponenten je Verbindungsmittel:

$$\text{aus Normalkraft: } N_{Ed} / n_{tot} = 0.63 \text{ kN}$$

$$\text{aus Moment: } M_{A,d} * 10^3 * (a_{ze}/2) / I_p = 2.68 \text{ kN}$$

$$\text{Horizontalkomponente } F_{H,d} = \underline{\underline{3.31 \text{ kN}}}$$

$$\text{aus Querkraft: } V_{Ed} / n_{tot} = 0.63 \text{ kN}$$

$$\text{aus Moment: } M_{A,d} * 10^3 * (a_{sp}/2) / I_p = 2.68 \text{ kN}$$

$$\text{Vertikalkomponente } F_{V,d} = \underline{\underline{3.31 \text{ kN}}}$$

Maximale aufzunehmende Kraft pro Stabdübel:

$$\text{Resultierende } F_{Ed} = \sqrt{F_{H,d}^2 + F_{V,d}^2} = 4.68 \text{ kN}$$

$$\text{Kraft-Faser-Winkel Seitenholz } \alpha_1 = \text{atan} \left( \frac{F_{H,d}}{F_{V,d}} \right) = 45.0^\circ$$

$$\text{Kraft-Faser-Winkel Mittelholz } \alpha_2 = \text{atan} \left( \frac{F_{V,d}}{F_{H,d}} \right) = 45.0^\circ$$

### Berechnung der Tragfähigkeit:

#### Fixe Werte

$$\text{Mindestzugfestigkeit } f_{u,k} = 510 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Faktor } k_{\alpha} = 0.73$$

$$\text{Anzahl der Scherfugen } p = 2$$

#### Charakteristische Lochleibungsfestigkeit

##### Seitenholz:

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_{k,S} = 28.04 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,90,k} = \text{WENN}(\text{Mat}_S = \text{"Laubholz"}; \frac{f_{h,0,k}}{0.9 + 0.015 * d}; \frac{f_{h,0,k}}{1.35 + 0.015 * d}) = 18.69 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,0,k} - \frac{\alpha_1}{90} * (f_{h,0,k} - f_{h,90,k}) = 23.36 \text{ N/mm}^2$$

##### Mittelholz:

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_{k,M} = 28.04 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,90,k} = \text{WENN}(\text{Mat}_S = \text{"Laubholz"}; \frac{f_{h,0,k}}{0.9 + 0.015 * d}; \frac{f_{h,0,k}}{1.35 + 0.015 * d}) = 18.69 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,2,k} = f_{h,0,k} - \frac{\alpha_2}{90} * (f_{h,0,k} - f_{h,90,k}) = 23.36 \text{ N/mm}^2$$

Massgebend ist die Lochleibungsfestigkeit des Seitenholzes (SIA 265\_6.2.1.1)

$$\text{Massgebende Lochleibungsfestigkeit } f_{h,k} = f_{h,1,k} = 23.36 \text{ kN}$$





## Erforderliche Holzdicken und Hilfswerte

$$\text{Verhältnis Lochleibung } \beta_f = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = 1.00$$

### Seitenholz:

$$\text{Holzdicke } t_{1,1} = 0.44 * \left( \sqrt{\frac{\beta_f}{1 + \beta_f}} + 1 \right) * \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,1,k}}} * d^{0.8} = 22.1 \text{ mm}$$

$$\text{Holzdicke } t_{1,2} = 1.26 * \left( \sqrt{\frac{\beta_f}{1 + \beta_f}} + 1 \right) * \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,1,k}}} * d^{0.8} = 63.4 \text{ mm}$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 1,1} = 0.6 * \sqrt{\frac{4 * \beta_f}{1 + \beta_f}} = 0.85$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 1,2} = \sqrt{\frac{4 * \beta_f}{1 + \beta_f}} = 1.41$$

### Mittelholz:

$$\text{Holzdicke } t_{2,2} = 2.52 * \frac{1}{\sqrt{1 + \beta_f}} * \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,2,k}}} * d^{0.8} = 52.53 \text{ mm}$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 2,2} = \sqrt{\frac{4 * \beta_f}{1 + \beta_f}} = 1.41$$

Daraus ergeben sich die effektiven Hilfswerte  $k_{\beta 1}$  und  $k_{\beta 2}$  (SIA 265, A.1 Figur 41)

$$\text{Hilfswerte } k_{\beta 1} = \text{MIN}(k_{\beta 1,1} + (t_1 - t_{1,1}) / (t_{1,2} - t_{1,1}) * (k_{\beta 1,2} - k_{\beta 1,1}); k_{\beta 1,2}) = 1.41$$

$$\text{Hilfswerte } k_{\beta 2} = \text{MIN}(t_2 / t_{2,2} * k_{\beta 2,2}; k_{\beta 2,2}) = 1.41$$

$$\text{massgebendert Hilfswert } k_{\beta} = \text{MIN}(k_{\beta 1}; k_{\beta 2}) = 1.41$$

Abminderungsfaktor zur Bestimmung der wirksamen Anzahl der Verbindungsmittel in biegesteifen Verbindungen vereinfacht nach DIN 1052\_12.3 (11)

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{\text{red}} = 0.85$$

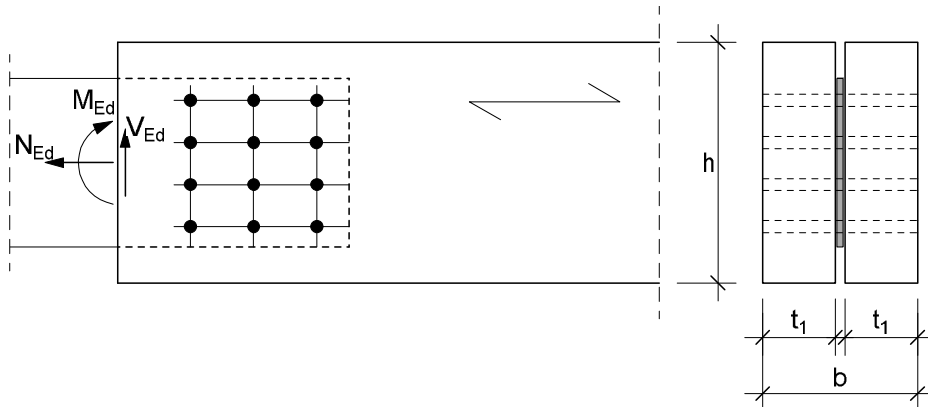
$$\text{Tragwiderstand } R_d = k_{\alpha} * k_{\text{red}} * 1 * p * k_{\beta} * \sqrt{0.3 * f_{u,k} * f_{h,k}} * d^{1.8} * \eta_w * \eta_t / 10^3 = 6.60 \text{ kN}$$

## Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}}{R_d} = \frac{4.68}{6.60} = 0.71 \leq 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Biegesteifer Anschluss Schlitzblech



#### Voraussetzungen

- Stabdübel nach SN EN 14592 aus Stahl mit einer Mindestzugfestigkeit  $f_{u,k} = 510 \text{ N/mm}^2$  (S355) und einem Durchmesser  $d$  von 6 mm bis 30 mm
- Stahlblech mittig angeordnet und ist nach SIA 263 nachzuweisen
- Der Lochdurchmesser der Stahlteile darf maximal 1 mm grösser sein als der Nenndurchmesser der Stabdübel.
- Holzteile mit Rissen und markhaltiges Holz sind nicht zulässig.
- Die Holzfeuchte darf beim Abbund um nicht mehr als  $\pm 3\%$  vom erwarteten Mittelwert der Ausgleichsfeuchte des Bauteils am Einbauort abweichen.

#### Eingaben

##### Holz

Breite $b =$		160 mm
Höhe $h =$		200 mm
Schlitzdicke $t_s =$		10 mm
Holzdicke $t_1 =$	$\frac{b - t_s}{2}$	= 75 mm
Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	= 1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	= 1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	= 1.0
Material Mat:	GEW("SIA265/Holz"; B; )	= Brettschichtholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=Mat)	= GL24h
Rohdichte $\rho_k =$	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK)	= 380 kg/m <sup>3</sup>

##### Stabdübel

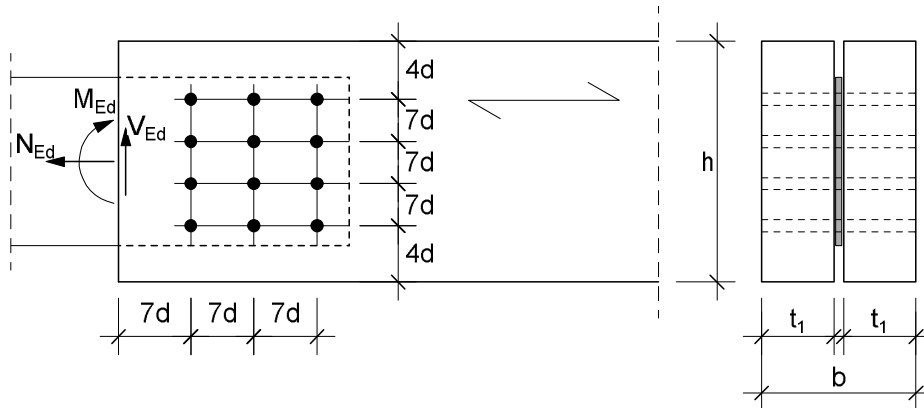
Durchmesser Stabdübel $d =$		10 mm
Spalten ( $\perp$ zur Faserrichtung) $n_{Sp} =$		2
Zeilen ( $\parallel$ zur Faserrichtung) $n_{Ze} =$		2
Gesamtanzahl $n_{tot} =$	$n_{Sp} \cdot n_{Ze}$	= 4

### Belastung:

Normalkraft $N_{Ed}$ =	10.00 kN
Normkraftexzentrizität $e_N$ =	0 mm
Querkraft $V_{Ed}$ =	10.00 kN
Querkraftexzentrizität $e_V$ =	0 mm
Moment $M_{Ed}$ =	5.00 kNm

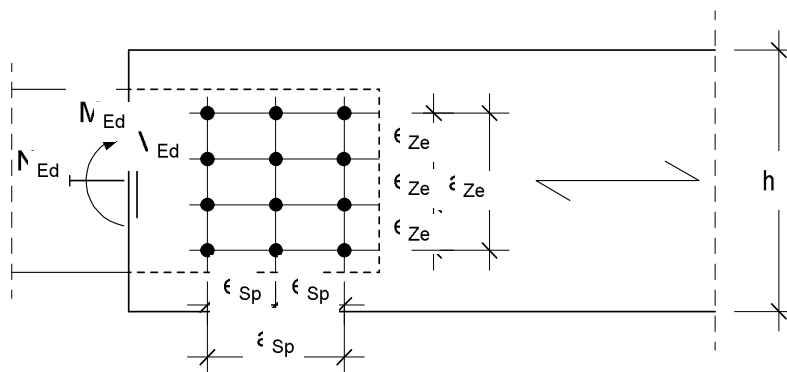
### Abstände Verbindungsmittel

#### Minimale Abstände:



zur Faserrichtung, untereinander $a_1 = 7 \cdot d$	= 70.0 mm
zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{1,b} = 7 \cdot d$	= 70.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b} = 4 \cdot d$	= 40.0 mm

#### Gewählte Abstände:



Spaltenabstand $e_{Sp}$ =	100 mm $\geq a_1$
Zeilenabstand $e_{Ze}$ =	100 mm $\geq a_2$
Kontrolle Höhe Holz:	$2 \cdot a_{2,b} + (n_{Ze} - 1) \cdot e_{Ze} = 180 \text{ mm} \leq h$
Abst. der äußeren Spalten $a_{Sp}$ =	$(n_{Sp} - 1) \cdot e_{Sp} = 100 \text{ mm}$
Abst. der äußeren Zeilen $a_{Ze}$ =	$(n_{Ze} - 1) \cdot e_{Ze} = 100 \text{ mm}$



## Berechnung der Beanspruchung

### Polares Trägheitsmoment:

aus den Spalten:	$2 * n_{Ze} * (a_{Sp}/2)^2$	=	10000 mm <sup>2</sup>
	WENN( $a_{Sp}/2 - e_{Sp} > 0$ ; $2 * n_{Ze} * (a_{Sp}/2 - e_{Sp})^2$ ; 0)	=	0 mm <sup>2</sup>
	WENN( $a_{Sp}/2 - 2 * e_{Sp} > 0$ ; $2 * n_{Ze} * (a_{Sp}/2 - 2 * e_{Sp})^2$ ; 0)	=	0 mm <sup>2</sup>
	WENN( $a_{Sp}/2 - 3 * e_{Sp} > 0$ ; $2 * n_{Ze} * (a_{Sp}/2 - 3 * e_{Sp})^2$ ; 0)	=	0 mm <sup>2</sup>
	WENN( $a_{Sp}/2 - 4 * e_{Sp} > 0$ ; $2 * n_{Ze} * (a_{Sp}/2 - 4 * e_{Sp})^2$ ; 0)	=	0 mm <sup>2</sup>
aus den Zeilen:	$2 * n_{Sp} * (a_{Ze}/2)^2$	=	10000 mm <sup>2</sup>
	WENN( $a_{Ze}/2 - e_{Ze} > 0$ ; $2 * n_{Sp} * (a_{Ze}/2 - e_{Ze})^2$ ; 0)	=	0 mm <sup>2</sup>
	WENN( $a_{Ze}/2 - 2 * e_{Ze} > 0$ ; $2 * n_{Sp} * (a_{Ze}/2 - 2 * e_{Ze})^2$ ; 0)	=	0 mm <sup>2</sup>
	WENN( $a_{Ze}/2 - 3 * e_{Ze} > 0$ ; $2 * n_{Sp} * (a_{Ze}/2 - 3 * e_{Ze})^2$ ; 0)	=	0 mm <sup>2</sup>
	WENN( $a_{Ze}/2 - 4 * e_{Ze} > 0$ ; $2 * n_{Sp} * (a_{Ze}/2 - 4 * e_{Ze})^2$ ; 0)	=	0 mm <sup>2</sup>
		<b><math>I_p =</math></b>	<b><u>20000 mm<sup>2</sup></u></b>

### Moment im Anschlussschwerpunkt:

Querkraftexzentrizität $e_v =$	0.00 kN		
Anschlussmoment $M_{A,d} =$	$M_{Ed} + N_{Ed} * (e_N / 1000) + V_{Ed} * (e_v / 1000)$	=	5.00 kNm

### Kraftkomponenten je Verbindungsmittel:

aus Normalkraft:	$N_{Ed} / n_{tot}$	=	2.50 kN
aus Moment:	$M_{A,d} * 10^3 * (a_{Ze}/2) / I_p$	=	12.50 kN
		<b>Horizontalkomponente <math>F_{H,d} =</math></b>	<b><u>15.00 kN</u></b>

aus Querkraft:	$V_{Ed} / n_{tot}$	=	2.50 kN
aus Moment:	$M_{A,d} * 10^3 * (a_{Sp}/2) / I_p$	=	12.50 kN
		<b>Vertikalkomponente <math>F_{V,d} =</math></b>	<b><u>15.00 kN</u></b>

Maximale aufzunehmende Kraft pro Stabdübel:

Resultierende $F_{Ed} =$	$\sqrt{F_{H,d}^2 + F_{V,d}^2}$	=	<b>21.21 kN</b>
Kraft-Faser-Winkel $\alpha =$	$\text{atan}\left(\frac{F_{V,d}}{F_{H,d}}\right)$	=	45.0 °



## Berechnung der Tragfähigkeit:

### Fixe Werte

Mindestzugfestigkeit $f_{u,k}$ =	510 N/mm <sup>2</sup>
Faktor $k_{\alpha}$ =	0.73
Anzahl der Scherfugen $p$ =	2

### Charakteristische Lochleibungsfestigkeit

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k = 28.04 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,90,k} = \text{WENN}(\text{Mat}="Laubholz"; \frac{f_{h,0,k}}{0.9 + 0.015 * d}; \frac{f_{h,0,k}}{1.35 + 0.015 * d}) = 18.69 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,k} = f_{h,0,k} - \frac{\alpha}{90} * (f_{h,0,k} - f_{h,90,k}) = 23.36 \text{ N/mm}^2$$

### Erforderliche Holzdicken und Hilfswerte

$$\text{Holzdicke } t_{1,1} = 0.89 * \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}} * d}^{0.8} = 26.24 \text{ mm}$$

$$\text{Holzdicke } t_{1,2} = 2.52 * \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}} * d}^{0.8} = 74.29 \text{ mm}$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 1,1} = 1.2 = 1.20$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 1,2} = 2 = 2.00$$

Daraus ergibt sich der effektive Hilfswert  $k_{\beta}$  (SIA 265, A.1 Figur 41)

$$\text{Hilfswerte } k_{\beta} = \text{MIN}(k_{\beta 1,1} + (t_1 - t_{1,1}) / (t_{1,2} - t_{1,1}) * (k_{\beta 1,2} - k_{\beta 1,1}); k_{\beta 1,2}) = 2.00$$

Abminderungsfaktor zur Bestimmung der wirksamen Anzahl der Verbindungsmittel in biegesteifen Verbindungen vereinfacht nach DIN 1052\_12.3 (11)

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{\text{red}} = 0.85$$

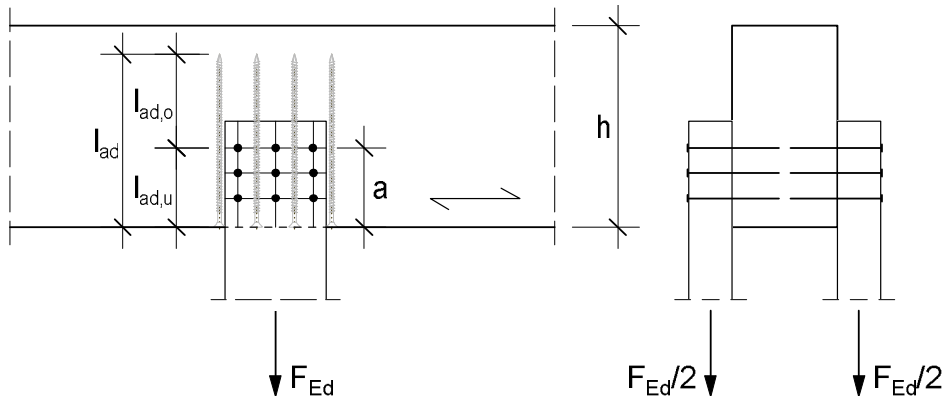
$$\text{Tragwiderstand } R_d = k_{\alpha} * k_{\text{red}} * 1 * p * k_{\beta} * \sqrt{0.3 * f_{u,k} * f_{h,k} * d}^{1.8} * \eta_w * \eta_t / 10^3 = 9.36 \text{ kN}$$

### Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}}{R_d} = \frac{21.21}{9.36} = 2.27 \leq 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis nicht erfüllt !**

### Queranschluss (Verstärkung)



#### Voraussetzungen

- Mit einem Verhältniss  $a/h < 0.7$  ist eine Querszugverstärkung des Queranschlusses erforderlich.
- Die Verstärkungselemente sind unter  $90^\circ$  zur Faserrichtung gleichmässig verteilt beim bzw. direkt neben dem Queranschluss anzuordnen.
- Die Verstärkung muss von der querszugbeanspruchten Seite min. über die 0.7-fache der Trägerhöhe  $h$  geführt werden.
- Bei innenliegenden Verstärkungen darf ausserhalb des Queranschlusses in Trägerlängsrichtung pro Seite **nur ein Verbindungsmittel** als tragend in Rechnung gestellt werden.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1.00
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.00
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### **Träger:**

Breite $b$ =		200 mm
Höhe $h$ =		450 mm

Material Mat:	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Brettschichtholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=Mat)	=	GL24h
Rohdichte $\rho_k$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK)	=	380 kg/m <sup>3</sup>

#### **Geometrie Anschluss:**

Abstand $a$ =		250 mm
Verhältniss $a/h$ =	$a/h$	= 0.56 $\leq$ 0.7

#### **Belastung:**

Bemessungskraft $F_{Ed}$ =		45.00 kN
----------------------------	--	----------



### Innenliegende Querzugverstärkung

#### Bemessungswert der Zugkraft für die Verstärkung

$$\text{Zugkraft } F_{t,90,Ed} = \left( 1 - 3 \cdot \left( \frac{a}{h} \right)^2 + 2 \cdot \left( \frac{a}{h} \right)^3 \right) \cdot F_{Ed} = 18.77 \text{ kN}$$

#### Auszieh widerstand Verbindungsmittel (Vollgewindeschrauben)

Schraubenlänge l =		420 mm ≤ h
Schrauben ∅ d =	GEW("Verbindungsmittel/Schraube3"; D; )	= 8 mm
Anzahl Schrauben n =		2
Verankerungslänge l <sub>ad,u</sub> =	a	= 250 mm
Verankerungslänge l <sub>ad,o</sub> =	l - a	= 170 mm
Wirksame Gewindelänge l <sub>ef</sub> =	MIN(l <sub>ad,u</sub> ; l <sub>ad,o</sub> )	= 170 mm
Faktor k <sub>d</sub> =	MIN(d/8;1)	= 1
Auszeifestigkei t f <sub>ax,k</sub> =	0.52 * d <sup>-0.5</sup> * l <sub>ef</sub> <sup>-0.1</sup> * ρ <sub>k</sub> <sup>0.8</sup> * k <sub>d</sub>	= 12.74 N/mm <sup>2</sup>
Fixer Faktor k <sub>α</sub> =		0.62

Für Durchmesser 6mm ≤ d ≤ 12 mm (6.5.3.7)

$$\text{Scherfestigkeit } f_{v,90,d} = \frac{k_{\alpha} \cdot f_{ax,k}}{\pi \cdot \left( \sin(90)^2 + 1.2 \cdot \cos(90)^2 \right)} = 2.51 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Auszieh widerstand } R_{ax,d} = \frac{n^{0.9} \cdot \pi \cdot d \cdot l_{ef} \cdot f_{v,90,d}}{10^3} \cdot \eta_w \cdot \eta_t = 20.01 \text{ kN}$$

#### Nachweis:

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{t,90,Ed}}{R_{ax,d}} = \frac{18.77}{20.01} = 0.94 < 1$$

Nachweis: WENN(Ausnutzung ≤ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

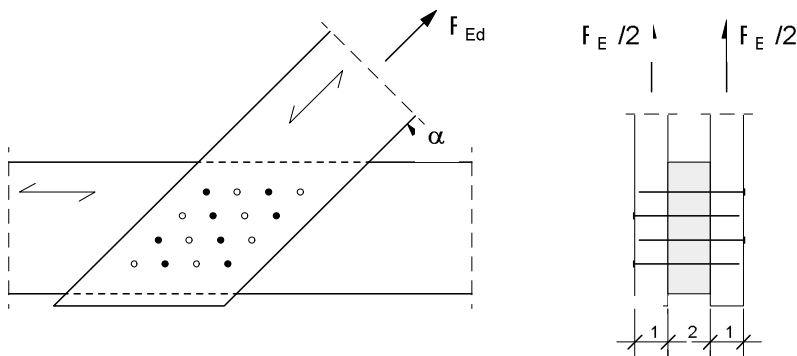
#### Minimale Abstände

Bei Beanspruchung in Schaftrichtung gelten bei Holzdicken **t ≥ 12d** folgende minimale Abstände:

zur Faserrichtung, untereinander a <sub>1</sub> =	7*d	= 56 mm
⊥ zur Faserrichtung, untereinander a <sub>2</sub> =	5*d	= 40 mm
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand a <sub>2,u</sub> =	4* d	= 32 mm

## Kapitel Nagel-Verbindungen

### Glattschaftige Nägel ohne Vorbohrung Holz-Holz



#### Voraussetzungen

- Nagelverbindungen ohne Vorbohrung sind nur bei Holz mit einer charakt. Rohdichte  $\leq 420 \text{ kg/m}^3$
- Vollholz der Festigkeitsklasse C24 oder höher / Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL24k oder höher
- Runde, glattschaftige Nägel nach SN EN 14592 aus Stahl mit einer Mindestzugfestigkeit  $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$  und einem Durchmesser  $d$  von 1.9 mm bis 8.5 mm
- Nägel ohne Vorbohrung rechtwinklig zur Faserrichtung eingeschlagen
- Die Holzfeuchte darf beim Abbund um nicht mehr als  $\pm 5\%$  vom erwarteten Mittelwert der Ausgleichsfeuchte des Bauteils am Einbauort abweichen.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,s}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Seitenholz

Breite $t_1$ =	40 mm
Höhe $h_1$ =	140 mm
Material $Mat_S$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_S$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_S$ ) = C24
Rohdichte $\rho_{k,S}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_S$ ) = 350 $\text{kg/m}^3$

#### Mittelholz

Breite $t_2$ =	80 mm
Höhe $h_2$ =	140 mm
Material $Mat_M$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_M$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_M$ ) = C24
Rohdichte $\rho_{k,M}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_M$ ) = 350 $\text{kg/m}^3$





### Nägel

$$\begin{aligned} \text{Nageldurchmesser } d &= \text{GEW("Verbindungsmittel/Glattschaftig"; D; )} &= & 5.5 \text{ mm} \\ \text{Nagellänge } l &= \text{GEW("Verbindungsmittel/Glattschaftig"; L; D=d)} &= & 160 \text{ mm} \end{aligned}$$

### Belastung

$$\begin{aligned} \text{Bemessungskraft Tragsicherheit } F_{Ed} &= & 40.00 \text{ kN} \\ \text{Bemessungskraft Gebrauchstauglichkeit } F_{Ed,ser} &= & 27.00 \text{ kN} \\ \text{Anschlusswinkel } \alpha &= & 45^\circ \end{aligned}$$

### Berechnung Tragwiderstand

#### Tragwiderstand pro Nagel und Schnitt

$$\begin{aligned} \text{Minimale Holzdicke } t_{min} &= 7 \cdot d &= & 38.5 \text{ mm} \\ \text{Effektive Holzdicke } t &= \text{MIN}(t_1; t_2) &= & 40.0 \text{ mm} \geq t_{min} \\ \text{Minimale Einschlagtiefe } s_{min} &= 6 \cdot d &= & 33 \text{ mm} \\ \text{Effektive Einschlagtiefe } s &= l - (t_1 + t_2) &= & 40 \text{ mm} \geq s_{min} \end{aligned}$$

Die erforderliche Holzdicke resp. Einschlagtiefe beträgt  $9d$ . Werden die Minimalwerte ( $7d$  resp.  $6d$ ) nicht unterschritten, darf der Tragwiderstand proportional abgemindert werden. (6.4.2.1.1 - 6.4.2.1.2)

$$\text{Abminderungsfaktor } \beta = \text{MIN}(\text{MIN}(t;s)/(9 \cdot d); 1) = 0.81$$

SIA 265\_6.4.1.2:

$$\text{Tragwiderstand } R_d = 92 \cdot d^{1.7} / 10^3 = 1.67 \text{ kN}$$

#### Tragwiderstand der Verbindung

**Gewählt: 4 Reihen à 4 Nägel = 16 Nägel 5.5 x 160 mm**

$$\begin{aligned} \text{Gesamtanzahl Nägel } n_{tot} &= & 16 \\ \text{Anzahl der Scherfugen } p &= & 2 \\ \text{Anzahl Nägel in Faserrichtung hintereinander } n &= & 4 \\ \text{Abstand Nägel untereinander in Faserrichtung } a_1 &= & 66 \text{ mm} \end{aligned}$$

Minimale Abstand der Nägel untereinander in Faserrichtung:  $a_1 \geq 10d$  resp.  $12d$  (siehe nächster Abschnitt)

$$\text{massgebender Winkel Kraft-Faserrichtung } \gamma = 0^\circ$$

Bei unterschiedlichen Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung ist der Reduktionsbeiwert  $k_{red}$  für alle Holzteile einzeln zu bestimmen. Für die Ermittlung des Tragwiderstands der Verbindung ist der kleinste Wert von  $k_{red}$  einzusetzen (SIA 265 6.1.4.2).

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{red} = \text{WENN}(n=1; 1; \text{MIN}(n^{-0.1} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d} \cdot \frac{90^{-\gamma}}{90} + \frac{\gamma}{90}}; 1)) = 0.91$$

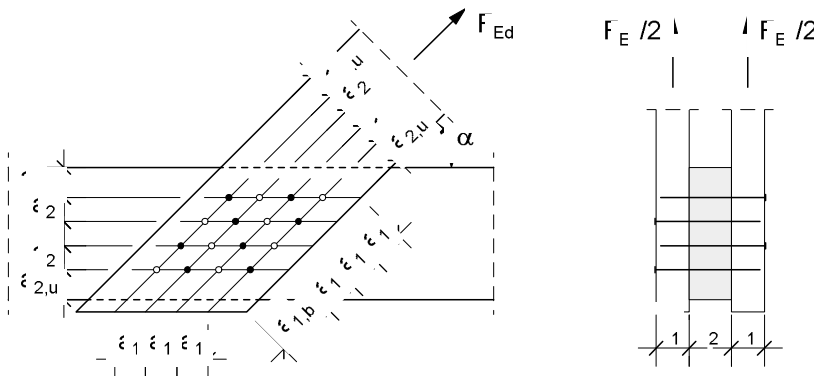
$$\text{Tragwiderstand } R_{d,verb} = k_{red} \cdot n_{tot} \cdot (p - 1 + \beta) \cdot R_d = 44.01 \text{ kN}$$

#### Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{Ed}}{R_{d,verb} \cdot \eta_t \cdot \eta_w} = \frac{40.00}{44.01 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = 0.91 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Minimale Abstände (SIA 265 Tabelle 24)



zur Faserrichtung, untereinander $a_1 =$	WENN( $d \leq 4; 10 \cdot d; 12 \cdot d$ )	= 66.0 mm
zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{1,b} =$	$15 \cdot d$	= 82.5 mm
⊥ zur Faserrichtung, untereinander $a_2 =$	$5 \cdot d$	= 27.5 mm
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand $a_{2,u} =$	WENN( $t \geq 14; 5 \cdot d; 10 \cdot d$ )	= 27.5 mm
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b} =$	$10 \cdot d$	= 55.0 mm

Kontrolle Breite Seitenholz  $k_1$ :  $2 \cdot a_{2,u} + \left(\frac{n_{\text{tot}}}{n} - 1\right) \cdot a_2 = 138 \text{ mm} \leq h_1$

Kontrolle Breite Mittelholz  $k_2$ :  $\text{WENN}(\alpha=0; k_1; a_{2,u} + a_{2,b} + (n-1) \cdot a_2) = 165 \text{ mm} \leq h_2$

### Steifigkeit der Verbindung

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf, elastische Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmittel kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Verschiebungsmodul pro Nagel und Scherfuge:

Verschiebungsmodul  $k_{\text{ser}} = \eta_{w,s} \cdot \left(60 - \frac{\alpha}{90} \cdot 30\right) \cdot d^{1.7} / 1000 = 0.82 \text{ kN/mm}$

Kraft pro Nagel  $F_{N,\text{ser}} = \frac{F_{\text{Ed,ser}}}{n_{\text{tot}} \cdot \rho} = \frac{27.00}{16 \cdot 2} = 0.84 \text{ kN}$

Elastische Verschiebung  $\delta_{\text{el}} = \frac{F_{N,\text{ser}}}{k_{\text{ser}}} = \frac{0.84}{0.82} = 1.02 \text{ mm}$

Kriechzahl  $\varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"; Kz; GR=Mat}_S; \text{FK=KL}) = 0.60$

Langzeitverschiebung  $\delta_{\infty} = \delta_{\text{el}} \cdot (1 + \varphi) = 1.6 \text{ mm}$

Federsteifigkeit des Anschlusses:

$k = \frac{F_{\text{Ed,ser}} \cdot 1000}{\delta_{\text{el}}} = \frac{27.00 \cdot 1000}{1.02} = 26471 \text{ kN/m}$



### Nachweis Seitenholz

Bei Nägel ohne Vorbohrung müssen Nagellöcher mit Durchmessern **bis 5 mm** nicht als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265-6.1.1.8).

$$\text{Anzahl Nägel für Querschnittverminderung } S = 4$$

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} = 2 * t_1 * (h_1 - S * d) = 9440 \text{ mm}^2$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d,S} = \frac{F_{\text{Ed}} * 10^3}{A_{\text{netto}}} = 4.24 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,S} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; ft0d; FK=FK}_S) = 8.0 \text{ N/mm}^2$$

Reduktion der Festigkeit um ein Drittel zur näherungsweise Berücksichtigung der Zusatzmomente bei einseitig beanspruchten Bauteilen (SIA 265-6.1.1.10)

$$\text{reduzierte Zugfestigkeit } f_{t,0,d,S,\text{red}} = \frac{2}{3} * f_{t,0,d,S} = 5.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d,S}}{f_{t,0,d,S,\text{red}} * \eta_t * \eta_w} = \frac{4.24}{5.33 * 1.0 * 1.0} = 0.80 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Nachweis Mittelholz

Bei Nägel ohne Vorbohrung müssen Nagellöcher mit Durchmessern **bis 5 mm** nicht als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265-6.1.1.8).

$$\text{Anzahl Nägel für Querschnittverminderung } S = 4$$

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} = t_2 * (h_2 - S * d) = 9440 \text{ mm}^2$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\text{Zugkraft } F_{\text{Ed},2} = F_{\text{Ed}} * \cos(\alpha) = 40.00 * \cos(45) = 28.28 \text{ kN}$$

$$\text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d,M} = \frac{F_{\text{Ed},2} * 10^3}{A_{\text{netto}}} = 3.00 \text{ N/mm}^2$$

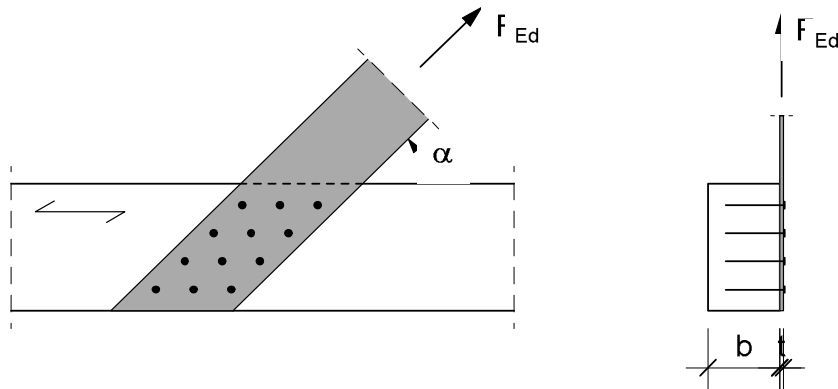
$$\text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,M} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; ft0d; FK=FK}_M) = 8.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d,M}}{f_{t,0,d,M} * \eta_t * \eta_w} = \frac{3.00}{8.0 * 1.0 * 1.0} = 0.38 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

Je nach Situation sind weitere Nachweise für das Mittelholz zu erbringen (Biegung mit Normalkraft, Schub, usw). Diese Nachweise sind hier nicht dargestellt.

### Glattschaftige Nägel ohne Vorbohrung Stahl-Holz



#### Voraussetzungen

- Nagelverbindungen ohne Vorbohrung sind nur bei Holz mit einer charakt. Rohdichte  $\leq 420 \text{ kg/m}^3$
- Vollholz der Festigkeitsklasse C24 oder höher / Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL24k oder höher
- Runde, glattschaftige Nägel nach SN EN 14592 aus Stahl mit einer Mindestzugfestigkeit  $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$  und einem Durchmesser  $d$  von 1.9 mm bis 8.5 mm
- Nägel ohne Vorbohrung rechtwinklig zur Faserrichtung eingeschlagen
- Die Holzfeuchte darf beim Abbund um nicht mehr als  $\pm 5\%$  vom erwarteten Mittelwert der Ausgleichsfeuchte des Bauteils am Einbauort abweichen.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,s}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Holz

Breite $b =$	100 mm		
Höhe $h =$	140 mm		
Material Mat:	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Nadelholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=Mat)	=	C24
Rohdichte $\rho_k =$	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK)	=	350 kg/m <sup>3</sup>

#### Lochblech

Blechdicke $t =$	2.5 mm
Blechbreite $b_{\text{Blech}} =$	100 mm

#### Nägel

Nageldurchmesser $d =$	GEW("Verbindungsmittel/Glattschaftig"; D; )	=	4.0 mm
Nagellänge $l =$	GEW("Verbindungsmittel/Glattschaftig"; L; D=d)	=	100 mm
Gesamtanzahl $n_{\text{tot}} =$	16		



### Belastung

Bemessungskraft Tragsicherheit $F_{Ed}$ =	40.00 kN
Bemessungskraft Gebrauchstauglichkeit $F_{Ed,ser}$ =	27.00 kN
Anschlusswinkel $\alpha$ =	45 °

### Berechnung Tragwiderstand

#### Tragwiderstand pro Nagel und Schnitt

Erforderliche Holzdicke $t_{erf}$ =	$9 * d$	=	36.0 mm
Minimale Holzdicke $t_{min}$ =	$7 * d$	=	28.0 mm
Effektive Holzdicke $b$ =	$b$	=	100.0 mm $\geq t_{min}$
Erforderliche Einschlagtiefe $s_{erf}$ =	$9 * d$	=	36.0 mm
Minimale Einschlagtiefe $s_{min}$ =	$6 * d$	=	24 mm
Effektive Einschlagtiefe $s$ =	$l - t$	=	98 mm $\geq s_{min}$

Die erforderliche Holzdicke resp. Einschlagtiefe beträgt 9d. Werden die Minimalwerte (7d resp. 6d) nicht unterschritten, darf der Tragwiderstand proportional abgemindert werden. Steigerung des Tragwiderstands  $R_{0,d}$  von  $132 d^{1.7}$  auf  $161 d^{1.7}$  für  $s = 12d$  unter der Voraussetzung, dass die Blechdicke  $t \geq 0.5 d$  und  $t \geq 2$  mm; Zwischenwerte linear interpolieren. (SIA\_6.4.2.1.1 - 6.4.2.1.2).

$$\text{Abminderungsfaktor } \beta = \text{MIN}(\text{MIN}(b;s)/(9 * d); 1) = 1.00$$

$$\text{Tragwiderstand } R_d = \beta * 104 * (d)^{1.7} / 10^3 = 1.10 \text{ kN}$$

#### Tragwiderstand der Verbindung

**Gewählt: 4 Reihen à 4 Nägel = 16 Nägel 4.0 x 100 mm**

Anzahl Nägel in Faserrichtung hintereinander $n$ =	4
Abstand Nägel untereinander in Faserrichtung $a_1$ =	40 mm

Minimaler Abstand der Nägel untereinander in Faserrichtung:  $a_1 \geq 10d$  resp. **12d** (siehe nächster Abschnitt)

$$\text{massgebender Winkel Kraft-Faserrichtung } \gamma = \alpha = 45^\circ$$

Bei unterschiedlichen Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung ist der Reduktionsbeiwert  $k_{red}$  für alle Holzteile einzeln zu bestimmen. Für die Ermittlung des Tragwiderstands der Verbindung ist der kleinste Wert von  $k_{red}$  einzusetzen (SIA 265\_6.1.4.2).

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{red} = \text{WENN}(n=1; 1; \text{MIN}(n^{-0.1} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{10*d} * \frac{90-\gamma}{90} + \frac{\gamma}{90}}; 1)) = 0.94$$

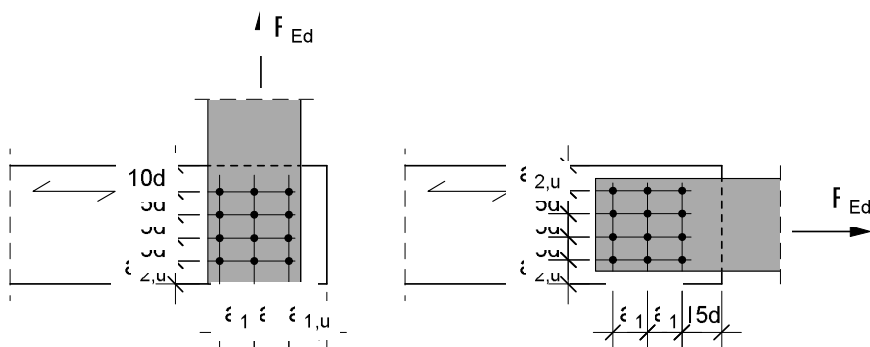
$$\text{Tragwiderstand } R_{d,verb} = k_{red} * n_{tot} * R_d = 16.54 \text{ kN}$$

#### Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{Ed}}{R_{d,verb} * \eta_t * \eta_w} = \frac{40.00}{16.54 * 1.0 * 1.0} = 2.42 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt"}) = \text{Nachweis nicht erfüllt !}$$

### Minimale Abstände (SIA 265 Tabelle 24)



zur Faserrichtung, untereinander $a_1 =$	WENN( $d \leq 4; 10 \cdot d; 12 \cdot d$ )	= 40.0 mm
zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{1,b} =$	$15 \cdot d$	= 60.0 mm
zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand $a_{1,u} =$	WENN( $d \leq 4; 7 \cdot d; 9 \cdot d$ )	= 28.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, untereinander $a_2 =$	$5 \cdot d$	= 20.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand $a_{2,u} =$	WENN( $t \geq 14; 5 \cdot d; 10 \cdot d$ )	= 40.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b} =$	$10 \cdot d$	= 40.0 mm

Breite Holz  $k_1$ :  $2 \cdot a_{2,u} + \left( \frac{n_{\text{tot}}}{n} - 1 \right) \cdot a_2 = 140 \text{ mm}$

Kontrolle Breite Holz  $k_2$ :  $\text{WENN}(\alpha=0; k_1; a_{2,u} + a_{2,b} + (n-1) \cdot a_2) = 140 \text{ mm} \leq h_2$

### Steifigkeit der Verbindung

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf, elastische Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmittel kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Verschiebungsmodul pro Nagel und Scherfuge:

Verschiebungsmodul  $k_{\text{ser}} = \eta_{w,s} \cdot \left( 120 - \frac{\alpha}{90} \cdot 60 \right) \cdot d^{1.7} / 1000 = 0.95 \text{ kN/mm}$

Kraft pro Nagel  $F_{N,\text{ser}} = \frac{F_{\text{Ed,ser}}}{n_{\text{tot}}} = \frac{27.00}{16} = 1.69 \text{ kN}$

Elastische Verschiebung  $\delta_{\text{el}} = \frac{F_{N,\text{ser}}}{k_{\text{ser}}} = \frac{1.69}{0.95} = 1.78 \text{ mm}$

Kriechzahl  $\varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"; Kz; GR=Mat; FK=KL}) = 0.60$

Langzeitverschiebung  $\delta_{\infty} = \delta_{\text{el}} \cdot (1 + \varphi) = 2.8 \text{ mm}$

Federsteifigkeit des Anschlusses:

$k = \frac{F_{\text{Ed,ser}} \cdot 1000}{\delta_{\text{el}}} = \frac{27.00 \cdot 1000}{1.78} = 15169 \text{ kN/m}$



### Nachweis Seitenholz

Bei Nägel ohne Vorbohrung müssen Nagellöcher mit Durchmessern bis 5 mm nicht als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265-6.1.1.8).

$$\text{Anzahl Nägel für Querschnittsverminderung } S = 0$$

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} = b \cdot (h - S \cdot d) = 14000 \text{ mm}^2$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} = \frac{F_{\text{Ed}} \cdot 10^3}{A_{\text{netto}}} = 2.86 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; ft0d; FK=FK}) = 8,0 \text{ N/mm}^2$$

Reduktion der Festigkeit um ein Drittel zur näherungsweise Berücksichtigung der Zusatzmomente bei einseitig beanspruchten Bauteilen (SIA 265-6.1.1.10)

$$\text{reduzierte Zugfestigkeit } f_{t,0,d,\text{red}} = \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d} = 5.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d,\text{red}} \cdot \eta_t \cdot \eta_w} = \frac{2.86}{5.33 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = 0.54 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Nachweis Lochblech

$$\text{Stahlsorte } S_t = \text{GEW}(\text{"SIA263/Stahl"; } S; ) = S235$$

$$\text{Fließgrenze } f_y = \text{TAB}(\text{"SIA263/Stahl"; } f_y; S=S_t) = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zugfestigkeit } f_u = \text{TAB}(\text{"SIA263/Stahl"; } f_u; S=S_t) = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Loch } d_0 = d + 1 = 5.0 \text{ mm}$$

$$\text{Anzahl Nägel für Querschnittsverminderung } N = 4$$

### Beanspruchung im Bruttoquerschnitt

$$\text{Bruttoquerschnitt } A_{\text{Blech}} = t \cdot b_{\text{Blech}} = 250 \text{ mm}^2$$

SIA 263\_4.4.1.1

$$\text{Zugkraftwiderstand } N_{\text{Rd,brutto}} = \frac{f_y \cdot A_{\text{Blech}}}{1.05 \cdot 10^3} = 56.0 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}}{N_{\text{Rd,brutto}} \cdot \eta_t \cdot \eta_w} = \frac{40.00}{56.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = 0.71 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



## Beanspruchung im Nettoquerschnitt

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{Blech,netto}} = t \cdot (b_{\text{Blech}} - N \cdot d_0) = 2.5 \cdot (100 - 4 \cdot 5.0) = 200 \text{ mm}^2$$

SIA 263\_4.4.1.1

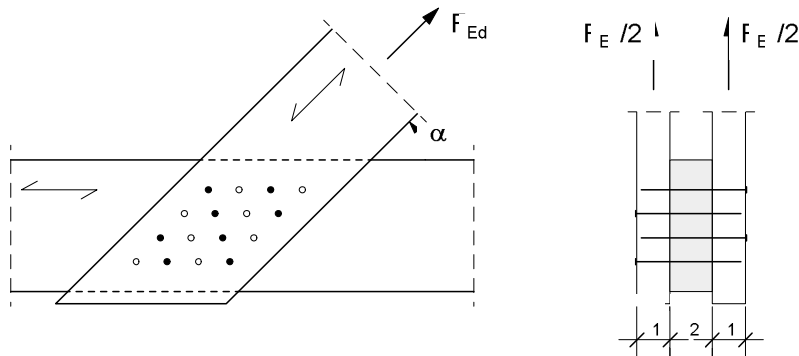
$$\text{Zugkraftwiderstand } N_{\text{Rd,netto}} = \frac{0.9 \cdot f_u \cdot A_{\text{Blech,netto}}}{1.25 \cdot 10^3} = 51.8 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}}{N_{\text{Rd,netto}}} = \frac{40.00}{51.8} = 0.77 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



### Glattschaftige Nägel mit Vorbohrung Holz-Holz



#### Voraussetzungen

- Vollholz der Festigkeitsklasse C24 oder höher / Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL24k oder höher
- Nagellöcher auf der ganzen Nagellänge mit einem Durchmesser von rund 0.8d für Nadelholz und 0.9d für Laubholz vorgebohrt (SIA 265\_8.5.3).
- Runde, glattschaftige Nägel nach SN EN 14592 aus Stahl mit einer Mindestzugfestigkeit  $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$  und einem Durchmesser d von 1.9 mm bis 8.5 mm
- Nägel rechtwinklig zur Faserrichtung eingeschlagen
- Die Holzfeuchte darf beim Abbund um nicht mehr als  $\pm 3\%$  vom erwarteten Mittelwert der Ausgleichsfeuchte des Bauteils am Einbauort abweichen.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,s}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Seitenholz

Breite $t_1$ =	40 mm		
Höhe $h_1$ =	140 mm		
Material $Mat_S$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_S$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_S$ )	=	C24
Rohdichte $\rho_{k,S}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_S$ )	=	350 kg/m <sup>3</sup>

#### Mittelholz

Breite $t_2$ =	80 mm		
Höhe $h_2$ =	140 mm		
Material $Mat_M$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_M$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_M$ )	=	C24
Rohdichte $\rho_{k,M}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_M$ )	=	350 kg/m <sup>3</sup>



### Nägel

Nageldurchmesser  $d =$  GEW("Verbindungsmittel/Glattschaftig"; D; ) = 5.5 mm  
 Nagellänge  $l =$  GEW("Verbindungsmittel/Glattschaftig"; L; D=d) = 160 mm

### Belastung

Bemessungskraft Tragsicherheit  $F_{Ed} =$  40.00 kN  
 Bemessungskraft Gebrauchstauglichkeit  $F_{Ed,ser} =$  27.00 kN  
 Anschlusswinkel  $\alpha =$  45 °

### Berechnung Tragwiderstand

#### Tragwiderstand pro Nagel und Schnitt

Massgebende Rohdichte  $\rho_k =$  MIN( $\rho_{k,S}; \rho_{k,M}$ ) = 350 kg/m<sup>3</sup>  
 Minimale Holzdicke  $t_{min} =$  MAX(4 \* d; 24) = 24.0 mm  
 Effektive Holzdicke  $t =$  MIN( $t_1; t_2$ ) = 40.0 mm  $\geq t_{min}$   
 Minimale Einschlagtiefe  $s_{min} =$  6 \* d = 33 mm  
 Effektive Einschlagtiefe  $s =$  l - ( $t_1 + t_2$ ) = 40 mm  $\geq s_{min}$

Die **erforderliche Holzdicke resp. Einschlagtiefe** beträgt **9d**. Werden die Minimalwerte (7d resp. 6d) nicht unterschritten, darf der Tragwiderstand proportional abgemindert werden. (Tabelle 27 Fussnote 1 und Tabelle 28 Fussnote 2)

Abminderungsfaktor  $\beta =$  MIN(MIN( $t; s$ )/(9 \* d); 1) = 0.81

SIA 265\_Tabelle 27

Tragwiderstand  $R_{0,d} =$   $6 * \rho_k^{0.5} * d^{1.7} / 10^3 =$  2.04 kN

Tragwiderstand  $R_{90,d} =$   $4.8 * \rho_k^{0.5} * d^{1.7} / 10^3 =$  1.63 kN

**Tragwiderstand  $R_d =$   $R_{0,d} * \frac{\alpha}{90} * (R_{0,d} - R_{90,d}) =$  1.84 kN**

### Tragwiderstand der Verbindung

**Gewählt: 4 Reihen à 4 Nägel = 16 Nägel 5.5 x 160 mm**

Gesamtanzahl  $n_{tot} =$  16  
 Anzahl der Scherfugen  $p =$  2  
 Anzahl Nägel in Faserrichtung hintereinander  $n =$  4  
 Abstand Nägel untereinander in Faserrichtung  $a_1 =$  38.5 mm

Minimale Abstand der Nägel untereinander in Faserrichtung:  **$a_1 \geq 7d$**  (siehe nächster Abschnitt)

massgebender Winkel Kraft-Faserrichtung  $\gamma =$  0 °

Bei unterschiedlichen Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung ist der Reduktionsbeiwert  $k_{red}$  für alle Holzteile einzeln zu bestimmen. Für die Ermittlung des Tragwiderstands der Verbindung ist der kleinste Wert von  $k_{red}$  einzusetzen (SIA 265\_6.1.4.2).

Reduktionsbeiwert  $k_{red} =$  WENN( $n=1; 1; \text{MIN}(n^{-0.1} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{10*d} * \frac{90-\gamma}{90} + \frac{\gamma}{90}; 1}$ )) = 0.80

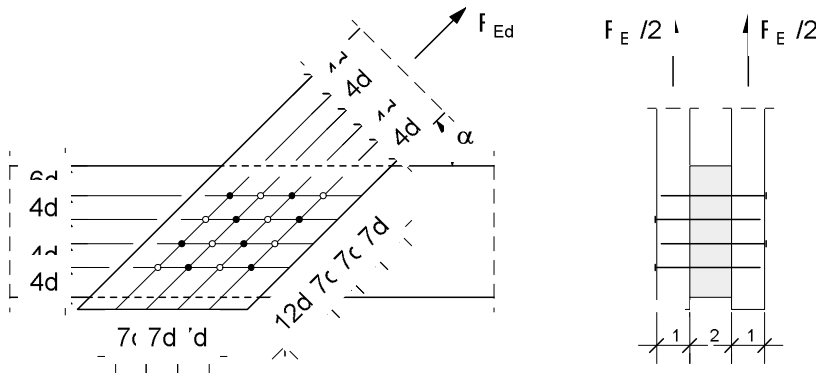
**Tragwiderstand  $R_{d,Verb} =$   $k_{red} * n_{tot} * (p - 1 + \beta) * R_d =$  42.63 kN**

### Nachweis

**Ausnutzung:**  $\frac{F_{Ed}}{R_{d,Verb} * \eta_t * \eta_w} = \frac{40.00}{42.63 * 1.0 * 1.0} = 0.94 \leq 1$

WENN(Ausnutzung  $\leq$  1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Minimale Abstände (SIA 265 Tabelle 29)



zur Faserrichtung, untereinander =	7*d	= 38.5 mm
zur Faserrichtung, beanspr. Rand =	12*d	= 66.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, untereinander =	4*d	= 22.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand =	4*d	= 22.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand =	6*d	= 33.0 mm

Kontrolle Breite Seitenholz  $k_1$ :  $\left(1 + \frac{n_{\text{tot}}}{n}\right) * 4 * d = 110 \text{ mm} \leq h_1$

Kontrolle Breite Mittelholz  $k_2$ : WENN( $\alpha=0$ ;  $k_1$ ;  $6 * d + n * 4 * d$ ) =  $121 \text{ mm} \leq h_2$

### Steifigkeit der Verbindung

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf, elastische Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmittel kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Verschiebungsmodul pro Nagel und Scherfuge:

Verschiebungsmodul  $k_{\text{ser}} = \eta_{w,s} * \left(3 - \frac{\alpha}{90} * 1.5\right) * \rho_{k,M}^{0.5} * d^{1.7} / 1000 = 0.76 \text{ kN/mm}$

Kraft pro Nagel  $F_{N,\text{ser}} = \frac{F_{\text{Ed,ser}}}{n_{\text{tot}} * p} = \frac{27.00}{16 * 2} = 0.84 \text{ kN}$

Elastische Verschiebung  $\delta_{\text{el}} = \frac{F_{N,\text{ser}}}{k_{\text{ser}}} = \frac{0.84}{0.76} = 1.11 \text{ mm}$

Kriechzahl  $\varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"; Kz; GR=Mat}_S; \text{FK=KL}) = 0.60$

Langzeitverschiebung  $\delta_{\infty} = \delta_{\text{el}} * (1 + \varphi) = 1.8 \text{ mm}$

Federsteifigkeit des Anschlusses:

$k = \frac{F_{\text{Ed,ser}} * 1000}{\delta_{\text{el}}} = \frac{27.00 * 1000}{1.11} = 24324 \text{ kN/m}$



### Nachweis Seitenholz

Bei Nägel mit Vorbohrung müssen Nagellöcher als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265\_6.1.1.8).

$$\text{Anzahl Nägel für Querschnittsverminderung } S = 4$$

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} = 2 \cdot t_1 \cdot (h_1 - S \cdot d) = 9440 \text{ mm}^2$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} = \frac{F_{\text{Ed}} \cdot 10^3}{A_{\text{netto}}} = 4.24 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,S} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; ft0d; FK=FK}_S) = 8,0 \text{ N/mm}^2$$

Reduktion der Festigkeit um ein Drittel zur näherungsweisen Berücksichtigung der Zusatzmomente bei einseitig beanspruchten Bauteilen (SIA 265-6.1.1.10)

$$\text{reduzierte Zugfestigkeit } f_{t,0,d,S,\text{red}} = \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d,S} = 5.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d,S,\text{red}} \cdot \eta_t \cdot \eta_w} = \frac{4.24}{5.33 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = 0.80 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Nachweis Mittelholz

Bei Nägel mit Vorbohrung müssen Nagellöcher als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265\_6.1.1.8).

$$\text{Anzahl Nägel für Querschnittsverminderung } S = 4$$

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} = t_2 \cdot (h_2 - S \cdot d) = 9440 \text{ mm}^2$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\text{Zugkraft } F_{\text{Ed},2} = F_{\text{Ed}} \cdot \cos(\alpha) = 40.00 \cdot \cos(45) = 28.28 \text{ kN}$$

$$\text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d,M} = \frac{F_{\text{Ed},2} \cdot 10^3}{A_{\text{netto}}} = 3.00 \text{ N/mm}^2$$

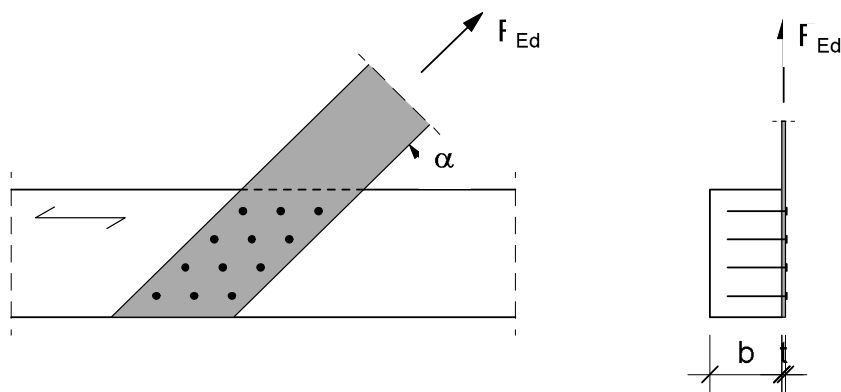
$$\text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,M} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; ft0d; FK=FK}_M) = 8,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d,M}}{f_{t,0,d,M} \cdot \eta_t \cdot \eta_w} = \frac{3.00}{8.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = 0.38 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

Je nach Situation sind weitere Nachweise für das Mittelholz zu erbringen (Biegung mit Normalkraft, Schub, usw). Diese Nachweise sind hier nicht dargestellt.

### Glattschaftige Nägel mit Vorbohrung Stahl-Holz



#### Voraussetzungen

- Vollholz der Festigkeitsklasse C24 oder höher / Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL24k oder höher
- Nagellöcher auf der ganzen Nagellänge mit einem Durchmesser von rund 0.8d für Nadelholz und 0.9d für Laubholz vorgebohrt (SIA 265\_8.5.3).
- Runde, glattschaftige Nägel nach SN EN 14592 aus Stahl mit einer Mindestzugfestigkeit  $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$  und einem Durchmesser d von 1.9 mm bis 8.5 mm
- Nägel rechtwinklig zur Faserrichtung eingeschlagen
- Die Holzfeuchte darf beim Abbund um nicht mehr als  $\pm 3\%$  vom erwarteten Mittelwert der Ausgleichsfeuchte des Bauteils am Einbauort abweichen.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,s}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Holz

Breite b =	100 mm
Höhe h =	140 mm
Material Mat:	GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Nadelholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=Mat) = C24
Rohdichte $\rho_k$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK) = 350 kg/m <sup>3</sup>

#### Lochblech

Blechdicke t =	2.5 mm
Blechbreite $b_{\text{Blech}}$ =	100 mm

#### Nägel

Nageldurchmesser d =	GEW("Verbindungsmittel/Glattschaftig"; D; )	=	4.0 mm
Nagellänge l =	GEW("Verbindungsmittel/Glattschaftig"; L; D=d)	=	100 mm
Gesamtanzahl $n_{\text{tot}}$ =			16



### Belastung

Bemessungskraft Tragsicherheit $F_{Ed}$ =	15.00 kN
Bemessungskraft Gebrauchstauglichkeit $F_{Ed,ser}$ =	10.00 kN
Anschlusswinkel $\alpha$ =	$0^\circ$

### Berechnung Tragwiderstand

#### Tragwiderstand pro Nagel und Schnitt

Erforderliche Holzdicke $t_{erf}$ =	$9 \cdot d$	= 36.0 mm
Minimale Holzdicke $t_{min}$ =	$MAX(4 \cdot d; 24)$	= 24.0 mm
Effektive Holzdicke $b$ =	$b$	= 100.0 mm $\geq t_{min}$
Erforderliche Einschlagtiefe $s_{erf}$ =	$9 \cdot d$	= 36.0 mm
Minimale Einschlagtiefe $s_{min}$ =	$6 \cdot d$	= 24 mm
Effektive Einschlagtiefe $s$ =	$l - t$	= 98 mm $\geq s_{min}$

Die **erforderliche Holzdicke resp. Einschlagtiefe** beträgt **9d**. Werden die Minimalwerte (7d resp. 6d) nicht unterschritten, darf der Tragwiderstand proportional abgemindert werden. (SIA 265\_6.4.2.1.1 - 6.4.2.1.2)

6.4.1.2	Abminderungsfaktor $\beta$ =	$MIN(MIN(b;s)/(9 \cdot d); 1)$	= 1.00
	Tragwiderstand $R_{0,d}$ =	$6.6 \cdot \rho_k^{0.5} \cdot d^{1.7} / 10^3$	= 1.30 kN
	Tragwiderstand $R_{90,d}$ =	$5.4 \cdot \rho_k^{0.5} \cdot d^{1.7} / 10^3$	= 1.07 kN
	<b>Tragwiderstand <math>R_d</math></b> =	$R_{0,d} - \frac{\alpha}{90} \cdot (R_{0,d} - R_{90,d})$	<b>= 1.30 kN</b>

#### Tragwiderstand der Verbindung

**Gewählt: 4 Reihen à 4 Nägel = 16 Nägel 4.0 x 100 mm**

Anzahl Nägel in Faserrichtung hintereinander $n$ =	4
Abstand Nägel untereinander in Faserrichtung $a_1$ =	28.0 mm

Minimale Abstand der Nägel untereinander in Faserrichtung:  **$a_1 \geq 7d$**  (siehe nächster Abschnitt)

massgebender Winkel Kraft-Faserrichtung $\gamma$ =	$\alpha$	= $0^\circ$
--	----------	-------------

Bei unterschiedlichen Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung ist der Reduktionsbeiwert  $k_{red}$  für alle Holzteile einzeln zu bestimmen. Für die Ermittlung des Tragwiderstands der Verbindung ist der kleinste Wert von  $k_{red}$  einzusetzen (SIA 265\_6.1.4.2).

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{red} = \text{WENN}(n=1; 1; \text{MIN}(n^{-0.1} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d} \cdot \frac{90^{-\gamma}}{90} + \frac{\gamma}{90}}; 1)) = 0.80$$

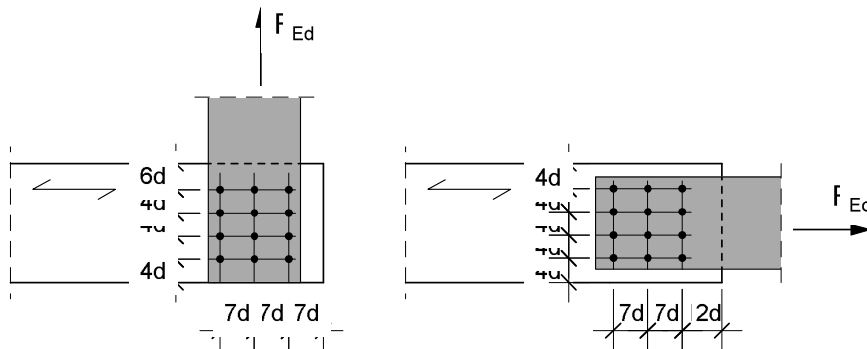
$$\text{Tragwiderstand } R_{d,verb} = k_{red} \cdot n_{tot} \cdot R_d = 16.64 \text{ kN}$$

#### Nachweis

**Ausnutzung:**  $\frac{F_{Ed}}{R_{d,verb} \cdot \eta_t \cdot \eta_w} = \frac{15.00}{16.64 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = 0.90 \leq 1$

WENN(Ausnutzung  $\leq 1$ ; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt") = **Nachweis erfüllt**

### Minimale Abstände (SIA 265 Tabelle 29)



zur Faserrichtung, untereinander =	7*d	= 28.0 mm
zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand =	7*d	= 28.0 mm
zur Faserrichtung, beanspr. Rand =	12*d	= 48.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, untereinander =	4*d	= 16.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand =	4*d	= 16.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand =	6*d	= 24.0 mm

Breite Holz  $k_1$ :  $\left(\frac{n_{\text{tot}}}{n} + 1\right) * 7 * d = 140 \text{ mm}$

Kontrolle Breite Holz  $k_2$ : WENN( $\alpha=0$ ;  $k_1$ ;  $6 * d + n * 4 * d$ ) =  $140 \text{ mm} \leq h_2$

### Steifigkeit der Verbindung

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf, elastische Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmittel kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Verschiebungsmodul pro Nagel und Scherfuge:

Verschiebungsmodul  $k_{\text{ser}} = \eta_{w,s} * \left(6 - \frac{\alpha}{90} * 3\right) * \rho_k^{0.5} * d^{1.7} / 1000 = 1.18 \text{ kN/mm}$

Kraft pro Nagel  $F_{N,\text{ser}} = \frac{F_{\text{Ed,ser}}}{n_{\text{tot}}} = \frac{10.00}{16} = 0.63 \text{ kN}$

Elastische Verschiebung  $\delta_{\text{el}} = \frac{F_{N,\text{ser}}}{k_{\text{ser}}} = \frac{0.63}{1.18} = 0.53 \text{ mm}$

Kriechzahl  $\varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"; Kz; GR=Mat; FK=KL}) = 0.60$

Langzeitverschiebung  $\delta_{\infty} = \delta_{\text{el}} * (1 + \varphi) = 0.8 \text{ mm}$

Federsteifigkeit des Anschlusses:

$k = \frac{F_{\text{Ed,ser}} * 1000}{\delta_{\text{el}}} = \frac{10.00 * 1000}{0.53} = 18868 \text{ kN/m}$



### Nachweis Holz

Bei Nägel mit Vorbohrung müssen Nagellöcher als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265\_6.1.1.8).

$$\begin{aligned} \text{Anzahl Nägel für Querschnittsverminderung } S &= 4 \\ \text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} &= b \cdot (h - S \cdot d) = 12400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\begin{aligned} \text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} &= \frac{F_{\text{Ed}} \cdot 10^3}{A_{\text{netto}}} = 1.21 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,S} &= \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; ft0d; FK=FK}) = 8.00 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Reduktion der Festigkeit um ein Drittel zur näherungsweise Berücksichtigung der Zusatzmomente bei einseitig beanspruchten Bauteilen (SIA 265-6.1.1.10)

$$\text{reduzierte Zugfestigkeit } f_{t,0,d,S,\text{red}} = \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d,S} = 5.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d,S,\text{red}} \cdot \eta_t \cdot \eta_w} = \frac{1.21}{5.33 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = 0.23 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Nachweis Lochblech

$$\begin{aligned} \text{Stahlsorte } St &= \text{GEW}(\text{"SIA263/Stahl"; S; }) = S235 \\ \text{Fließgrenze } f_y &= \text{TAB}(\text{"SIA263/Stahl"; fy; S=St}) = 235 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Zugfestigkeit } f_u &= \text{TAB}(\text{"SIA263/Stahl"; fu; S=St}) = 360 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Loch } d_0 &= d + 1 = 5.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Anzahl Nägel für Querschnittsverminderung } N = 4$$

### Beanspruchung im Bruttoquerschnitt

$$\text{Bruttoquerschnitt } A_{\text{Blech}} = t \cdot b_{\text{Blech}} = 250 \text{ mm}^2$$

SIA 263\_4.4.1.1

$$\text{Zugkraftwiderstand } N_{\text{Rd,brutto}} = \frac{f_y \cdot A_{\text{Blech}}}{1.05 \cdot 10^3} = 56.0 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}}{N_{\text{Rd,brutto}}} = \frac{15.00}{56.0} = 0.27 < 1$$

### Beanspruchung im Nettoquerschnitt

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{Blech,netto}} = t \cdot (b_{\text{Blech}} - N \cdot d_0) = 2.5 \cdot (100 - 4 \cdot 5.0) = 200 \text{ mm}^2$$

SIA 263\_4.4.1.1

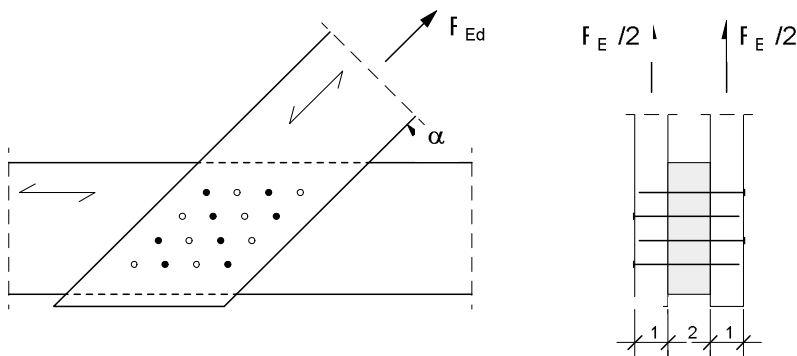
$$\text{Zugkraftwiderstand } N_{\text{Rd,netto}} = \frac{0.9 \cdot f_u \cdot A_{\text{Blech,netto}}}{1.25 \cdot 10^3} = 51.8 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}}{N_{\text{Rd,netto}}} = \frac{15.00}{51.8} = 0.29 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



### Rillen- und Schraubnägeln ohne Vorbohrung Holz-Holz



#### Voraussetzungen

- Nagelverbindungen ohne Vorbohrung sind nur bei Holz mit einer charakt. Rohdichte  $\leq 420 \text{ kg/m}^3$
- Vollholz der Festigkeitsklasse C24 oder höher / Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL24k oder höher
- Runde, glattschaftige Nägel nach SN EN 14592 aus Stahl mit einer Mindestzugfestigkeit  $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$  und einem Durchmesser  $d$  von 1.9 mm bis 8.5 mm
- Nägel ohne Vorbohrung rechtwinklig zur Faserrichtung eingeschlagen
- Die Holzfeuchte darf beim Abbund um nicht mehr als  $\pm 5\%$  vom erwarteten Mittelwert der Ausgleichsfeuchte des Bauteils am Einbauort abweichen.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,s}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Seitenholz

Breite $t_1$ =	40 mm
Höhe $h_1$ =	140 mm
Material $Mat_S$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_S$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_S$ ) = C24
Rohdichte $\rho_{k,S}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_S$ ) = 350 kg/m <sup>3</sup>

#### Mittelholz

Breite $t_2$ =	80 mm
Höhe $h_2$ =	140 mm
Material $Mat_M$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_M$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_M$ ) = C24
Rohdichte $\rho_{k,M}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_M$ ) = 350 kg/m <sup>3</sup>



### Nägel

Nageldurchmesser  $d = \text{GEW}(\text{"Verbindungsmittel/Rillen"; } D; ) = 6.0 \text{ mm}$   
 Nagellänge  $l = \text{GEW}(\text{"Verbindungsmittel/Rillen"; } L; D=d) = 160 \text{ mm}$

### Belastung

Bemessungskraft Tragsicherheit  $F_{Ed} = 40.00 \text{ kN}$   
 Bemessungskraft Gebrauchstauglichkeit  $F_{Ed,ser} = 27.00 \text{ kN}$   
 Anschlusswinkel  $\alpha = 45^\circ$

### Berechnung Tragwiderstand

#### Tragwiderstand pro Nagel und Schnitt

Minimale Holzdicke  $t_{min} = 7 * d = 42.0 \text{ mm}$   
 Effektive Holzdicke  $t = \text{MIN}(t_1; t_2) = 40.0 \text{ mm} \geq t_{min}$   
 Minimale Einschlagtiefe  $s_{min} = 6 * d = 36 \text{ mm}$   
 Effektive Einschlagtiefe  $s = l - (t_1 + t_2) = 40 \text{ mm} \geq s_{min}$

Die erforderliche Holzdicke resp. Einschlagtiefe beträgt  $9d$ . Werden die Minimalwerte ( $7d$  resp.  $6d$ ) nicht unterschritten, darf der Tragwiderstand proportional abgemindert werden. (6.4.2.1.1 - 6.4.2.1.2)

Abminderungsfaktor  $\beta = \text{MIN}(\text{MIN}(t;s)/(9 * d); 1) = 0.74$   
 Tragwiderstand  $R_{0,d} = 104 * d^{1.7} / 10^3 = 2.19 \text{ kN}$   
 Tragwiderstand  $R_{90,d} = 92 * d^{1.7} / 10^3 = 1.93 \text{ kN}$   
 Tragwiderstand  $R_d = R_{0,d} * \frac{\alpha}{90} * (R_{0,d} - R_{90,d}) = 2.06 \text{ kN}$

#### Tragwiderstand der Verbindung

**Gewählt: 4 Reihen à 4 Nägel = 16 Nägel 6.0 x 160 mm**

Gesamtanzahl Nägel  $n_{tot} = 16$   
 Anzahl der Scherfugen  $p = 2$   
 Anzahl Nägel in Faserrichtung hintereinander  $n = 4$   
 Abstand Nägel untereinander in Faserrichtung  $a_1 = 66 \text{ mm}$

Minimale Abstand der Nägel untereinander in Faserrichtung:  **$a_1 \geq 10d$  resp.  $12d$**  (siehe nächster Abschnitt)  
 massgebender Winkel Kraft-Faserrichtung  $\gamma = 0^\circ$

Bei unterschiedlichen Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung ist der Reduktionsbeiwert  $k_{red}$  für alle Holzteile einzeln zu bestimmen. Für die Ermittlung des Tragwiderstands der Verbindung ist der kleinste Wert von  $k_{red}$  einzusetzen (SIA 265 6.1.4.2).

Reduktionsbeiwert  $k_{red} = \text{WENN}(n=1; 1; \text{MIN}(n^{-0.1} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{10*d} * \frac{90-\gamma}{90} + \frac{\gamma}{90}}; 1)) = 0.89$

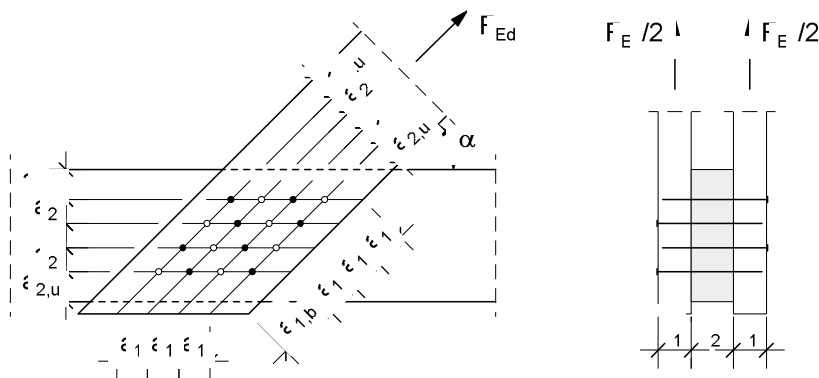
Tragwiderstand  $R_{d,verb} = k_{red} * n_{tot} * (p - 1 + \beta) * R_d = 51.04 \text{ kN}$

#### Nachweis

Ausnutzung:  $\frac{F_{Ed}}{R_{d,verb} * \eta_t * \eta_w} = \frac{40.00}{51.04 * 1.0 * 1.0} = 0.78 \leq 1$

$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$

### Minimale Abstände (SIA 265 Tabelle 24)



zur Faserrichtung, untereinander $a_1$ =	WENN( $d \leq 4; 10 \cdot d; 12 \cdot d$ ) =	72.0 mm
zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{1,b}$ =	$15 \cdot d$ =	90.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, untereinander $a_2$ =	$5 \cdot d$ =	30.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand $a_{2,u}$ =	WENN( $t \geq 14; 5 \cdot d; 10 \cdot d$ ) =	30.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b}$ =	$10 \cdot d$ =	60.0 mm

Kontrolle Breite Seitenholz  $k_1$ :  $2 \cdot a_{2,u} + \left(\frac{n_{\text{tot}}}{n} - 1\right) \cdot a_2 = 150 \text{ mm} \leq h_1$

Kontrolle Breite Mittelholz  $k_2$ : WENN( $\alpha=0$ ;  $k_1$ ;  $a_{2,u} + a_{2,b} + (n-1) \cdot a_2$ ) =  $180 \text{ mm} \leq h_2$

### Steifigkeit der Verbindung

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf, elastische Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmittel kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Verschiebungsmodul pro Nagel und Scherfuge:

$$\text{Verschiebungsmodul } k_{\text{ser}} = \eta_{w,s} \cdot \left(60 - \frac{\alpha}{90} \cdot 30\right) \cdot d^{1.7} / 1000 = 0.95 \text{ kN/mm}$$

$$\text{Kraft pro Nagel } F_{N,\text{ser}} = \frac{F_{\text{Ed,ser}}}{n_{\text{tot}} \cdot p} = \frac{27.00}{16 \cdot 2} = 0.84 \text{ kN}$$

$$\text{Elastische Verschiebung } \delta_{\text{el}} = \frac{F_{N,\text{ser}}}{k_{\text{ser}}} = \frac{0.84}{0.95} = 0.88 \text{ mm}$$

$$\text{Kriechzahl } \varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"; Kz; GR=Mat}_S; \text{FK=KL}) = 0.60$$

$$\text{Langzeitverschiebung } \delta_{\infty} = \delta_{\text{el}} \cdot (1 + \varphi) = 1.4 \text{ mm}$$

Federsteifigkeit des Anschlusses:

$$k = \frac{F_{\text{Ed,ser}} \cdot 1000}{\delta_{\text{el}}} = \frac{27.00 \cdot 1000}{0.88} = 30682 \text{ kN/m}$$



### Nachweis Seitenholz

Bei Nägel ohne Vorbohrung müssen Nagellöcher mit Durchmessern bis 5 mm nicht als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265-6.1.1.8).

$$\text{Anzahl Nägel für Querschnittsverminderung } S = 4$$

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} = 2 \cdot t_1 \cdot (h_1 - S \cdot d) = 9280 \text{ mm}^2$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} = \frac{F_{\text{Ed}} \cdot 10^3}{A_{\text{netto}}} = 4.31 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,S} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; ft0d; FK=FK}_S) = 8,0 \text{ N/mm}^2$$

Reduktion der Festigkeit um ein Drittel zur näherungsweisen Berücksichtigung der Zusatzmomente bei einseitig beanspruchten Bauteilen (SIA 265-6.1.1.10)

$$\text{reduzierte Zugfestigkeit } f_{t,0,d,S,\text{red}} = \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d,S} = 5.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d,S,\text{red}} \cdot \eta_t \cdot \eta_w} = \frac{4.31}{5.33 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = 0.81 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Nachweis Mittelholz

Bei Nägel ohne Vorbohrung müssen Nagellöcher mit Durchmessern **bis 5 mm** nicht als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265-6.1.1.8).

$$\text{Anzahl Nägel für Querschnittsverminderung } S = 4$$

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} = t_2 \cdot (h_2 - S \cdot d) = 9280 \text{ mm}^2$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\text{Zugkraft } F_{\text{Ed},2} = F_{\text{Ed}} \cdot \cos(\alpha) = 40.00 \cdot \cos(45) = 28.28 \text{ kN}$$

$$\text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d,M} = \frac{F_{\text{Ed},2} \cdot 10^3}{A_{\text{netto}}} = 3.05 \text{ N/mm}^2$$

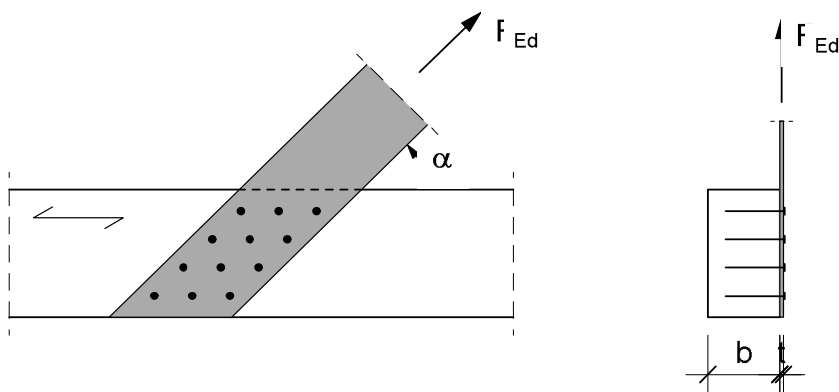
$$\text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,M} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; ft0d; FK=FK}_M) = 8,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d,M}}{f_{t,0,d,M} \cdot \eta_t \cdot \eta_w} = \frac{3.05}{8.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = 0.38 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

Je nach Situation sind weitere Nachweise für das Mittelholz zu erbringen (Biegung mit Normalkraft, Schub, usw). Diese Nachweise sind hier nicht dargestellt.

### Rillen- und Schraubnägeln ohne Vorbohrung Stahl-Holz



#### Voraussetzungen

- Nagelverbindungen ohne Vorbohrung sind nur bei Holz mit einer charakt. Rohdichte  $\leq 420 \text{ kg/m}^3$
- Vollholz der Festigkeitsklasse C24 oder höher / Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL24k oder höher
- Runde Rillen- und Schraubnägeln nach SN EN 14592 aus Stahl mit einer Mindestzugfestigkeit  $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$  und einem Durchmesser  $d$  von 1.9 mm bis 8.5 mm
- Nägel ohne Vorbohrung rechtwinklig zur Faserrichtung eingeschlagen
- Die Holzfeuchte darf beim Abbund um nicht mehr als  $\pm 5\%$  vom erwarteten Mittelwert der Ausgleichsfeuchte des Bauteils am Einbauort abweichen.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,s}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Holz

Breite $b =$	60 mm
Höhe $h =$	140 mm
Material Mat:	GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Nadelholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=Mat) = C24
Rohdichte $\rho_k =$	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK) = 350 kg/m <sup>3</sup>

#### Lochblech

Blechdicke $t =$	2.5 mm
Blechbreite $b_{\text{Blech}} =$	100 mm

#### Nägeln

Nageldurchmesser $d =$	GEW("Verbindungsmittel/Rillen"; D; ) = 4.0 mm
Nagellänge $l =$	GEW("Verbindungsmittel/Rillen"; L; D=d) = 75 mm

Gesamtanzahl  $n_{\text{tot}} = 16$



### Belastung

Bemessungskraft Tragsicherheit $F_{Ed}$ =	20.00 kN
Bemessungskraft Gebrauchstauglichkeit $F_{Ed,ser}$ =	15.00 kN
Anschlusswinkel $\alpha$ =	45 °

### Berechnung Tragwiderstand

#### Tragwiderstand pro Nagel und Schnitt

Erforderliche Holzdicke $t_{erf}$ =	$9 \cdot d$	$=$	36.0 mm
Minimale Holzdicke $t_{min}$ =	$7 \cdot d$	$=$	28.0 mm
Effektive Holzdicke $b$ =	$b$	$=$	60.0 mm $\geq t_{min}$
Erforderliche Einschlagtiefe $s_{erf}$ =	$9 \cdot d$	$=$	36.0 mm
Minimale Einschlagtiefe $s_{min}$ =	$6 \cdot d$	$=$	24 mm
Effektive Einschlagtiefe $s$ =	$l - t$	$=$	73 mm $\geq s_{min}$

Die erforderliche Holzdicke resp. Einschlagtiefe beträgt 9d. Werden die Minimalwerte (7d resp. 6d) nicht unterschritten, darf der Tragwiderstand proportional abgemindert werden. Steigerung des Tragwiderstands  $R_{0,d}$  von  $132 d^{1.7}$  auf  $161 d^{1.7}$  für  $s = 12d$  unter der Voraussetzung, dass die Blechdicke  $t \geq 0.5 d$  und  $t \geq 2$  mm; Zwischenwerte linear interpolieren. (SIA\_6.4.2.1.1 - 6.4.2.1.2).

Abminderungsfaktor $\beta_1$ =	MIN(MIN(b;s)/(9 * d);1)	$=$	1.00
Abminderungsfaktor $\beta_2$ =	MIN((s - 9 * d)/(3 * d);1)	$=$	1.00
Tragwiderstand $R_{0,9d,d}$ =	$132 \cdot d^{1.7} / 10^3$	$=$	1.39 kN
Tragwiderstand $R_{0,12d,d}$ =	WENN(0.5*d ≤ t UND t ≥ 2; 161*d <sup>1.7</sup> ; 132*d <sup>1.7</sup> ) / 10 <sup>3</sup>	$=$	1.70 kN
Tragwiderstand $R_{0,d}$ =	$R_{0,9d,d} + \beta_2 \cdot (R_{0,12d,d} - R_{0,9d,d})$	$=$	1.70 kN
Tragwiderstand $R_{90,d}$ =	$109 \cdot d^{1.7} / 10^3$	$=$	1.15 kN
<b>Tragwiderstand <math>R_d</math></b> =	$R_{0,d} - \frac{\alpha}{90} \cdot (R_{0,d} - R_{90,d})$	$=$	<b>1.43 kN</b>

#### Tragwiderstand der Verbindung

**Gewählt: 4 Reihen à 4 Nägel = 16 Nägel 4.0 x 60 mm**

Anzahl Nägel in Faserrichtung hintereinander $n$ =	4
Abstand Nägel untereinander in Faserrichtung $a_1$ =	40 mm

Minimale Abstand der Nägel untereinander in Faserrichtung:  **$a_1 \geq 10d$**  resp. **12d** (siehe nächster Abschnitt)

massgebender Winkel Kraft-Faserrichtung $\gamma$ =	$\alpha$	$=$	45 °
--	----------	-----	------

Bei unterschiedlichen Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung ist der Reduktionsbeiwert  $k_{red}$  für alle Holzteile einzeln zu bestimmen. Für die Ermittlung des Tragwiderstands der Verbindung ist der kleinste Wert von  $k_{red}$  einzusetzen (SIA 265\_6.1.4.2).

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{red} = \text{WENN}(n=1;1; \text{MIN}(n^{-0.1} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \cdot \frac{90-\gamma}{90} + \frac{\gamma}{90}; 1)) = 0.94$$

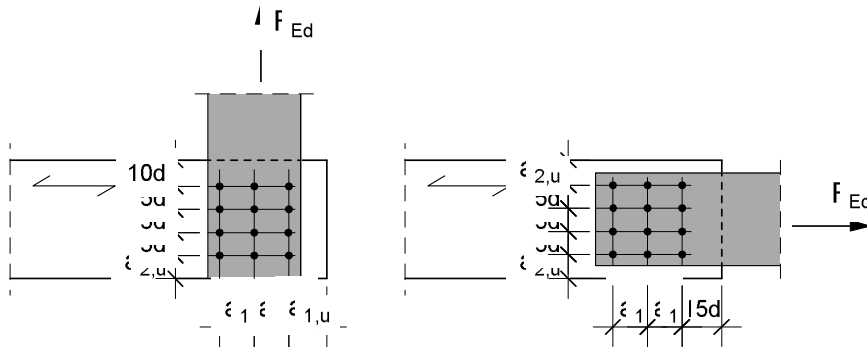
$$\text{Tragwiderstand } R_{d,verb} = k_{red} \cdot n_{tot} \cdot \beta_1 \cdot R_d = 21.51 \text{ kN}$$

#### Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{Ed}}{R_{d,verb} \cdot \eta_t \cdot \eta_w} = \frac{20.00}{21.51 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = 0.93 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Minimale Abstände



zur Faserrichtung, untereinander $a_1 =$	WENN( $d \leq 4; 10 \cdot d; 12 \cdot d$ )	= 40.0 mm
zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{1,b} =$	$15 \cdot d$	= 60.0 mm
zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand $a_{1,u} =$	WENN( $d \leq 4; 7 \cdot d; 9 \cdot d$ )	= 28.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, untereinander $a_2 =$	$5 \cdot d$	= 20.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand $a_{2,u} =$	WENN( $t \geq 14; 5 \cdot d; 10 \cdot d$ )	= 40.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b} =$	$10 \cdot d$	= 40.0 mm

Breite Holz  $k_1$ : 
$$2 \cdot a_{2,u} + \left( \frac{n_{\text{tot}}}{n} - 1 \right) \cdot a_2 = 140 \text{ mm}$$

Kontrolle Breite Holz  $k_2$ : 
$$\text{WENN}(\alpha=0; k_1; a_{2,u} + a_{2,b} + (n-1) \cdot a_2) = 140 \text{ mm} \leq h_2$$

### Steifigkeit der Verbindung reihauwztaber die sogenannten

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf, elastische Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmittel kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Verschiebungsmodul pro Nagel und Scherfuge:

Verschiebungsmodul  $k_{\text{ser}} = \eta_{w,s} \cdot \left( 120 - \frac{\alpha}{90} \cdot 60 \right) \cdot d^{1.7} / 1000 = 0.95 \text{ kN/mm}$

Kraft pro Nagel  $F_{N,\text{ser}} = \frac{F_{\text{Ed,ser}}}{n_{\text{tot}}} = \frac{15.00}{16} = 0.94 \text{ kN}$

Elastische Verschiebung  $\delta_{\text{el}} = \frac{F_{N,\text{ser}}}{k_{\text{ser}}} = \frac{0.94}{0.95} = 0.99 \text{ mm}$

Kriechzahl  $\varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"}; Kz; GR=Mat; FK=KL) = 0.60$

Langzeitverschiebung  $\delta_{\infty} = \delta_{\text{el}} \cdot (1 + \varphi) = 1.6 \text{ mm}$

Federsteifigkeit des Anschlusses:

$$k = \frac{F_{\text{Ed,ser}} \cdot 1000}{\delta_{\text{el}}} = \frac{15.00 \cdot 1000}{0.99} = 15152 \text{ kN/m}$$



### Nachweis Seitenholz

Bei Nägel ohne Vorbohrung müssen Nagellöcher mit Durchmessern bis 5 mm nicht als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265-6.1.1.8).

$$\begin{aligned} \text{Anzahl Nägel für Querschnittsverminderung } S &= 0 \\ \text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} &= b \cdot (h - S \cdot d) = 8400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\begin{aligned} \text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} &= \frac{F_{\text{Ed}} \cdot 10^3}{A_{\text{netto}}} = 2.38 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d} &= \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"}; ft0d; FK=FK) = 8.0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Reduktion der Festigkeit um ein Drittel zur näherungsweise Berücksichtigung der Zusatzmomente bei einseitig beanspruchten Bauteilen (SIA 265-6.1.1.10)

$$\text{reduzierte Zugfestigkeit } f_{t,0,d,\text{red}} = \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d} = 5.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d,\text{red}} \cdot \eta_t \cdot \eta_w} = \frac{2.38}{5.33 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = 0.45 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Nachweis Lochblech

$$\begin{aligned} \text{Stahlsorte } St &= \text{GEW}(\text{"SIA263/Stahl"}; S; ) = S235 \\ \text{Fließgrenze } f_y &= \text{TAB}(\text{"SIA263/Stahl"}; f_y; S=St) = 235 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Zugfestigkeit } f_u &= \text{TAB}(\text{"SIA263/Stahl"}; f_u; S=St) = 360 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Loch } d_0 &= d + 1 = 5.0 \text{ mm} \\ \text{Anzahl Nägel für Querschnittsverminderung } N &= 4 \end{aligned}$$

### Beanspruchung im Bruttoquerschnitt

$$\text{Bruttoquerschnitt } A_{\text{Blech}} = t \cdot b_{\text{Blech}} = 250 \text{ mm}^2$$

SIA 263\_4.4.1.1

$$\text{Zugkraftwiderstand } N_{\text{Rd,brutto}} = \frac{f_y \cdot A_{\text{Blech}}}{1.05 \cdot 10^3} = 56.0 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}}{N_{\text{Rd,brutto}}} = \frac{20.00}{56.0} = 0.36 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Beanspruchung im Nettoquerschnitt

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{Blech,netto}} = t \cdot (b_{\text{Blech}} - N \cdot d_0) = 2.5 \cdot (100 - 4 \cdot 5.0) = 200 \text{ mm}^2$$

SIA 263\_4.4.1.1

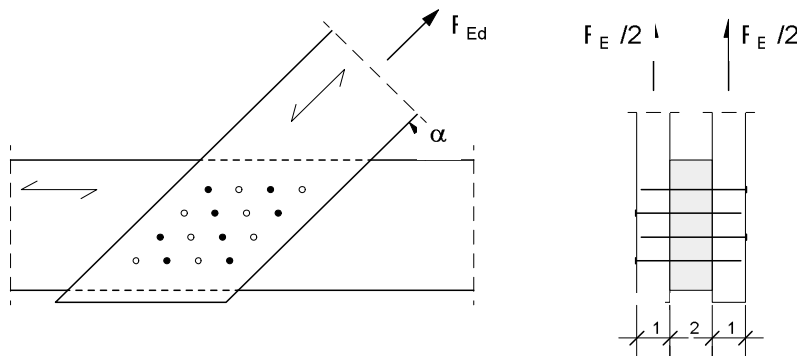
$$\text{Zugkraftwiderstand } N_{\text{Rd,netto}} = \frac{0.9 \cdot f_u \cdot A_{\text{Blech,netto}}}{1.25 \cdot 10^3} = 51.8 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}}{N_{\text{Rd,netto}}} = \frac{20.00}{51.8} = 0.39 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



### Rillen- und Schraubnägeln mit Vorbohrung Holz-Holz



#### Voraussetzungen

- Vollholz der Festigkeitsklasse C24 oder höher / Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL24k oder höher
- Nagellöcher auf der ganzen Nagellänge mit einem Durchmesser von rund 0.8d für Nadelholz und 0.9d für Laubholz vorgebohrt (SIA 265\_8.5.3).
- Runde, glattschaftige Nägel nach SN EN 14592 aus Stahl mit einer Mindestzugfestigkeit  $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$  und einem Durchmesser d von 1.9 mm bis 8.5 mm
- Nägel rechtwinklig zur Faserrichtung eingeschlagen
- Die Holzfeuchte darf beim Abbund um nicht mehr als  $\pm 3\%$  vom erwarteten Mittelwert der Ausgleichsfeuchte des Bauteils am Einbauort abweichen.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,s}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Seitenholz

Breite $t_1$ =	40 mm
Höhe $h_1$ =	140 mm
Material $Mat_S$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_S$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_S$ ) = C24
Rohdichte $\rho_{k,S}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_S$ ) = 350 kg/m <sup>3</sup>

#### Mittelholz

Breite $t_2$ =	80 mm
Höhe $h_2$ =	140 mm
Material $Mat_M$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_M$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_M$ ) = C24
Rohdichte $\rho_{k,M}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_M$ ) = 350 kg/m <sup>3</sup>



### Nägel

$$\begin{aligned} \text{Nageldurchmesser } d &= \text{GEW}(\text{"Verbindungsmittel/Rillen"; } D; ) &= & 6.0 \text{ mm} \\ \text{Nagellänge } l &= \text{GEW}(\text{"Verbindungsmittel/Rillen"; } L; D=d) &= & 160 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Gesamtanzahl } n_{\text{tot}} = 16$$

### Belastung

$$\text{Bemessungskraft Tragsicherheit } F_{\text{Ed}} = 40.00 \text{ kN}$$

$$\text{Bemessungskraft Gebrauchstauglichkeit } F_{\text{Ed,ser}} = 27.00 \text{ kN}$$

$$\text{Anschlusswinkel } \alpha = 45^\circ$$

### Berechnung Tragwiderstand

#### Tragwiderstand pro Nagel und Schnitt

$$\begin{aligned} \text{Massgebende Rohdichte } \rho_k &= \text{MIN}(\rho_{k,S}; \rho_{k,M}) &= & 350 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Minimale Holzdicke } t_{\text{min}} &= \text{MAX}(4 * d; 24) &= & 24.0 \text{ mm} \\ \text{Effektive Holzdicke } t &= \text{MIN}(t_1; t_2) &= & 40.0 \text{ mm} \geq t_{\text{min}} \\ \text{Minimale Einschlagtiefe } s_{\text{min}} &= 6 * d &= & 36 \text{ mm} \\ \text{Effektive Einschlagtiefe } s &= l - (t_1 + t_2) &= & 40 \text{ mm} \geq s_{\text{min}} \end{aligned}$$

Die **erforderliche Holzdicke resp. Einschlagtiefe** beträgt **9d**. Werden die Minimalwerte (7d resp. 6d) nicht unterschritten, darf der Tragwiderstand proportional abgemindert werden. (SIA 265\_6.4.2.1.1 - 6.4.2.1.2)

$$\begin{aligned} \text{Abminderungsfaktor } \beta &= \text{MIN}(\text{MIN}(t;s)/(9 * d); 1) &= & 0.74 \\ \text{Tragwiderstand } R_{0,d} &= 5.4 * \rho_k^{0.5} * d^{1.7} / 10^3 &= & 2.12 \text{ kN} \\ \text{Tragwiderstand } R_{90,d} &= 4.8 * \rho_k^{0.5} * d^{1.7} / 10^3 &= & 1.89 \text{ kN} \\ \text{Tragwiderstand } R_d &= R_{0,d} - \frac{\alpha}{90} * (R_{0,d} - R_{90,d}) &= & \mathbf{2.00 \text{ kN}} \end{aligned}$$

#### Tragwiderstand der Verbindung

**Gewählt: 4 Reihen à 4 Nägel = 16 Nägel 5.5 x 160 mm**

$$\begin{aligned} \text{Anzahl der Scherfugen } p &= 2 \\ \text{Anzahl Nägel in Faserrichtung hintereinander } n &= 4 \\ \text{Abstand Nägel untereinander in Faserrichtung } a_1 &= 38.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Minimale Abstand der Nägel untereinander in Faserrichtung:  **$a_1 \geq 7d$**  (siehe nächster Abschnitt)

$$\text{massgebender Winkel Kraft-Faserrichtung } \gamma = 0^\circ$$

Bei unterschiedlichen Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung ist der Reduktionsbeiwert  $k_{\text{red}}$  für alle Holzteile einzeln zu bestimmen. Für die Ermittlung des Tragwiderstands der Verbindung ist der kleinste Wert von  $k_{\text{red}}$  einzusetzen (SIA 265\_6.1.4.2).

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{\text{red}} = \text{WENN}(n=1; 1; \text{MIN}(n^{0.1} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 * d} * \frac{90^{-\gamma}}{90} + \frac{\gamma}{90}; 1})) = 0.78$$

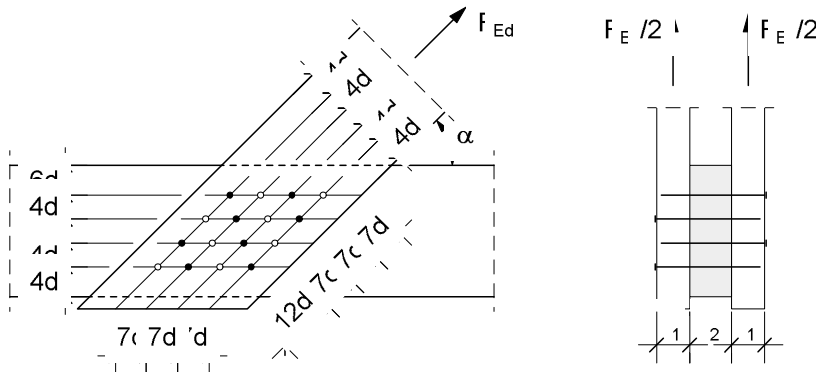
$$\text{Tragwiderstand } R_{d,\text{verb}} = k_{\text{red}} * n_{\text{tot}} * (p - 1 + \beta) * R_d = \mathbf{43.43 \text{ kN}}$$

#### Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}}{R_{d,\text{verb}} * \eta_t * \eta_w} = \frac{40.00}{43.43 * 1.0 * 1.0} = \mathbf{0.92 \leq 1}$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt"}) = \mathbf{\text{Nachweis erfüllt}}$$

### Minimale Abstände



zur Faserrichtung, untereinander =	7*d	= 42.0 mm
zur Faserrichtung, beanspr. Rand =	12*d	= 72.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, untereinander =	4*d	= 24.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand =	4*d	= 24.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand =	6*d	= 36.0 mm

Kontrolle Breite Seitenholz  $k_1$ :  $\left(1 + \frac{n_{\text{tot}}}{n}\right) * 4 * d = 120 \text{ mm} \leq h_1$

Kontrolle Breite Mittelholz  $k_2$ : WENN( $\alpha=0$ ;  $k_1$ ;  $6 * d + n * 4 * d$ ) =  $132 \text{ mm} \leq h_2$

### Steifigkeit der Verbindung

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf, elastische Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmittel kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Verschiebungsmodul pro Nagel und Scherfuge:

$$k_{\text{ser}} = \eta_{w,s} * \left(3 - \frac{\alpha}{90} * 1.5\right) * \rho_{k,M}^{0.5} * d^{1.7} / 1000 = 0.89 \text{ kN/mm}$$

$$F_{N,\text{ser}} = \frac{F_{\text{Ed,ser}}}{n_{\text{tot}} * p} = \frac{27.00}{16 * 2} = 0.84 \text{ kN}$$

$$\delta_{\text{el}} = \frac{F_{N,\text{ser}}}{k_{\text{ser}}} = \frac{0.84}{0.89} = 0.94 \text{ mm}$$

$$\varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"; Kz; GR=Mat}_S; \text{FK=KL}) = 0.60$$

$$\delta_{\infty} = \delta_{\text{el}} * (1 + \varphi) = 1.5 \text{ mm}$$

Federsteifigkeit des Anschlusses:

$$k = \frac{F_{\text{Ed,ser}} * 1000}{\delta_{\text{el}}} = \frac{27.00 * 1000}{0.94} = 28723 \text{ kN/m}$$



## Nachweis Seitenholz

Bei Nägel mit Vorbohrung müssen Nagellöcher als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265\_6.1.1.8).

$$\text{Anzahl Nägel für Querschnittsverminderung } S = 4$$

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} = 2 * t_1 * (h_1 - S * d) = 9280 \text{ mm}^2$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} = \frac{F_{\text{Ed}} * 10^3}{A_{\text{netto}}} = 4.31 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,S} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"}; ft0d; FK=FK_S) = 8.0 \text{ N/mm}^2$$

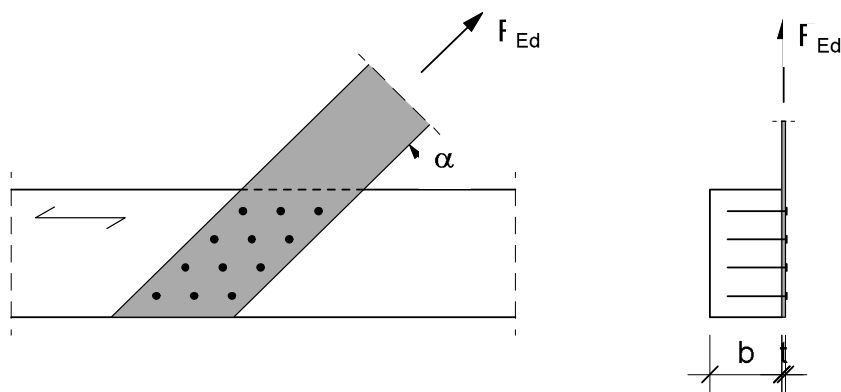
Reduktion der Festigkeit um ein Drittel zur näherungsweise Berücksichtigung der Zusatzmomente bei einseitig beanspruchten Bauteilen (SIA 265-6.1.1.10)

$$\text{reduzierte Zugfestigkeit } f_{t,0,d,S,\text{red}} = \frac{2}{3} * f_{t,0,d,S} = 5.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d,S,\text{red}} * \eta_t * \eta_w} = \frac{4.31}{5.33 * 1.0 * 1.0} = 0.81 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Rillen- und Schraubnägel mit Vorbohrung Stahl-Holz



#### Voraussetzungen

- Vollholz der Festigkeitsklasse C24 oder höher / Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL24k oder höher
- Nagellöcher auf der ganzen Nagellänge mit einem Durchmesser von rund 0.8d für Nadelholz und 0.9d für Laubholz vorgebohrt (SIA 265\_8.5.3).
- Rillen- und Schraubnägel nach SN EN 14592 aus Stahl mit einer Mindestzugfestigkeit  $f_{u,k} = 600 \text{ N/mm}^2$  und einem Durchmesser  $d$  von 1.9 mm bis 8.5 mm
- Nägel rechtwinklig zur Faserrichtung eingeschlagen
- Die Holzfeuchte darf beim Abbund um nicht mehr als  $\pm 3\%$  vom erwarteten Mittelwert der Ausgleichsfeuchte des Bauteils am Einbauort abweichen.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,s}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Holz

Breite $b =$	100 mm
Höhe $h =$	140 mm
Material Mat:	GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Nadelholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=Mat) = C24
Rohdichte $\rho_k =$	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK) = 350 kg/m <sup>3</sup>

#### Lochblech

Blechedicke $t =$	2.5 mm
Blecbreite $b_{\text{Blech}} =$	100 mm

#### Nägel

Nageldurchmesser $d =$	GEW("Verbindungsmittel/Rillen"; D; )	=	4.0 mm
Nagellänge $l =$	GEW("Verbindungsmittel/Rillen"; L; D=d)	=	100 mm
Gesamtanzahl $n_{\text{tot}} =$			16



### Belastung

Bemessungskraft Tragsicherheit $F_{Ed}$ =	15.00 kN
Bemessungskraft Gebrauchstauglichkeit $F_{Ed,ser}$ =	10.00 kN
Anschlusswinkel $\alpha$ =	$0^\circ$

### Berechnung Tragwiderstand

#### Tragwiderstand pro Nagel und Schnitt

Erforderliche Holzdicke $t_{erf}$ =	$9 \cdot d$	= 36.0 mm
Minimale Holzdicke $t_{min}$ =	$\text{MAX}(4 \cdot d; 24)$	= 24.0 mm
Effektive Holzdicke $b$ =	$b$	= 100.0 mm $\geq t_{min}$
Erforderliche Einschlagtiefe $s_{erf}$ =	$9 \cdot d$	= 36.0 mm
Minimale Einschlagtiefe $s_{min}$ =	$6 \cdot d$	= 24 mm
Effektive Einschlagtiefe $s$ =	$l - t$	= 98 mm $\geq s_{min}$

Die **erforderliche Holzdicke resp. Einschlagtiefe** beträgt **9d**. Werden die Minimalwerte (7d resp. 6d) nicht unterschritten, darf der Tragwiderstand proportional abgemindert werden. (SIA 265\_6.4.2.1.1 - 6.4.2.1.2)

6.4.1.2	Abminderungsfaktor $\beta$ =	$\text{MIN}(\text{MIN}(b;s)/(9 \cdot d); 1)$	= 1.00
	Tragwiderstand $R_{0,d}$ =	$6.9 \cdot \rho_k^{0.5} \cdot d^{1.7} / 10^3$	= 1.36 kN
	Tragwiderstand $R_{90,d}$ =	$5.7 \cdot \rho_k^{0.5} \cdot d^{1.7} / 10^3$	= 1.13 kN
	<b>Tragwiderstand <math>R_d</math></b> =	$R_{0,d} - \frac{\alpha}{90} \cdot (R_{0,d} - R_{90,d})$	<b>= 1.36 kN</b>

#### Tragwiderstand der Verbindung

**Gewählt: 4 Reihen à 4 Nägel = 16 Nägel 4.0 x 100 mm**

Anzahl Nägel in Faserrichtung hintereinander $n$ =	<b>4</b>
Abstand Nägel untereinander in Faserrichtung $a_1$ =	<b>28.0 mm</b>

Minimale Abstand der Nägel untereinander in Faserrichtung:  **$a_1 \geq 7d$**  (siehe nächster Abschnitt)

massgebender Winkel Kraft-Faserrichtung $\gamma$ =	$\alpha$	= <b><math>0^\circ</math></b>
--	----------	-------------------------------

Bei unterschiedlichen Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung ist der Reduktionsbeiwert  $k_{red}$  für alle Holzteile einzeln zu bestimmen. Für die Ermittlung des Tragwiderstands der Verbindung ist der kleinste Wert von  $k_{red}$  einzusetzen (SIA 265\_6.1.4.2).

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{red} = \text{WENN}(n=1; 1; \text{MIN}(n^{-0.1} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d} \cdot \frac{90-\gamma}{90} + \frac{\gamma}{90}}; 1)) = 0.80$$

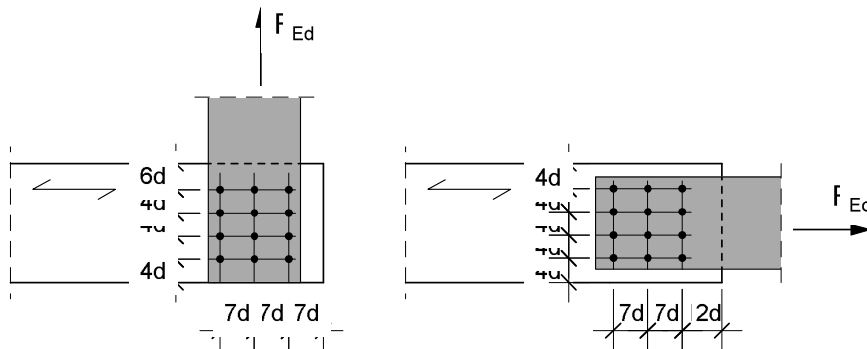
$$\text{Tragwiderstand } R_{d,verb} = k_{red} \cdot n_{tot} \cdot R_d = 17.41 \text{ kN}$$

#### Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{Ed}}{R_{d,verb} \cdot \eta_t \cdot \eta_w} = \frac{15.00}{17.41 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = 0.86 \leq 1$$

WENN(Ausnutzung  $\leq 1$ ; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt") = **Nachweis erfüllt**

### Minimale Abstände



zur Faserrichtung, untereinander =	$7*d$	= 28.0 mm
zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand =	$7*d$	= 28.0 mm
zur Faserrichtung, beanspr. Rand =	$12*d$	= 48.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, untereinander =	$4*d$	= 16.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand =	$4*d$	= 16.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand =	$6*d$	= 24.0 mm

Breite Holz  $k_1$ :  $\left(\frac{n_{tot}}{n} + 1\right) * 7 * d = 140 \text{ mm}$

Kontrolle Breite Holz  $k_2$ : WENN( $\alpha=0$ ;  $k_1$ ;  $6 * d + n * 4 * d$ ) =  $140 \text{ mm} \leq h_2$

### Steifigkeit der Verbindung

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf, elastische Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmittel kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Verschiebungsmodul pro Nagel und Scherfuge:

Verschiebungsmodul  $k_{ser} = \eta_{w,s} * \left(6 - \frac{\alpha}{90} * 3\right) * \rho_k^{0.5} * d^{1.7} / 1000 = 1.18 \text{ kN/mm}$

Kraft pro Nagel  $F_{N,ser} = \frac{F_{Ed,ser}}{n_{tot}} = \frac{10.00}{16} = 0.63 \text{ kN}$

Elastische Verschiebung  $\delta_{el} = \frac{F_{N,ser}}{k_{ser}} = \frac{0.63}{1.18} = 0.53 \text{ mm}$

Kriechzahl  $\varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"; Kz; GR=Mat; FK=KL}) = 0.60$

Langzeitverschiebung  $\delta_{\infty} = \delta_{el} * (1 + \varphi) = 0.8 \text{ mm}$

Federsteifigkeit des Anschlusses:

$k = \frac{F_{Ed,ser} * 1000}{\delta_{el}} = \frac{10.00 * 1000}{0.53} = 18868 \text{ kN/m}$



### Nachweis Seitenholz

Bei Nägel mit Vorbohrung müssen Nagellöcher als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265\_6.1.1.8).

$$\begin{aligned} \text{Anzahl Nägel für Querschnittsverminderung } S &= 4 \\ \text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} &= b \cdot (h - S \cdot d) = 12400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\begin{aligned} \text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} &= \frac{F_{Ed} \cdot 10^3}{A_{\text{netto}}} = 1.21 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,S} &= \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; } ft0d; FK=FK) = 8.0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Reduktion der Festigkeit um ein Drittel zur näherungsweise Berücksichtigung der Zusatzmomente bei einseitig beanspruchten Bauteilen (SIA 265-6.1.1.10)

$$\text{reduzierte Zugfestigkeit } f_{t,0,d,S,\text{red}} = \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d,S} = 5.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d,S,\text{red}} \cdot \eta_t \cdot \eta_w} = \frac{1.21}{5.33 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = 0.23 \leq 1$$

WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Nachweis Lochblech

$$\begin{aligned} \text{Stahlsorte } St &= \text{GEW}(\text{"SIA263/Stahl"; } S; ) = S235 \\ \text{Fließgrenze } f_y &= \text{TAB}(\text{"SIA263/Stahl"; } f_y; S=St) = 235 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Zugfestigkeit } f_u &= \text{TAB}(\text{"SIA263/Stahl"; } f_u; S=St) = 360 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Loch } d_0 &= d + 1 = 5.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Anzahl Nägel für Querschnittsverminderung } N = 4$$

### Beanspruchung im Bruttoquerschnitt

$$\text{Bruttoquerschnitt } A_{\text{Blech}} = t \cdot b_{\text{Blech}} = 250 \text{ mm}^2$$

SIA 263\_4.4.1.1

$$\text{Zugkraftwiderstand } N_{\text{Rd,brutto}} = \frac{f_y \cdot A_{\text{Blech}}}{1.05 \cdot 10^3} = 56.0 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{Ed}}{N_{\text{Rd,brutto}}} = \frac{15.00}{56.0} = 0.27 < 1$$

WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Beanspruchung im Nettoquerschnitt

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{Blech,netto}} = t \cdot (b_{\text{Blech}} - N \cdot d_0) = 2.5 \cdot (100 - 4 \cdot 5.0) = 200 \text{ mm}^2$$

SIA 263\_4.4.1.1

$$\text{Zugkraftwiderstand } N_{\text{Rd,netto}} = \frac{0.9 \cdot f_u \cdot A_{\text{Blech,netto}}}{1.25 \cdot 10^3} = 51.8 \text{ kN}$$

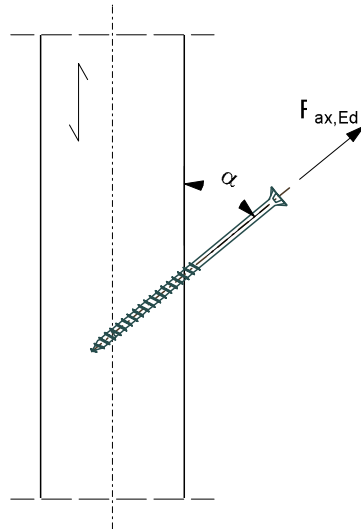
$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{Ed}}{N_{\text{Rd,netto}}} = \frac{15.00}{51.8} = 0.29 < 1$$

WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**



## Kapitel Schraub-Verbindungen

### Schrauben auf Herausziehen



#### Voraussetzungen

- Minimale Festigkeitsklasse C24 oder GL24k
- Holzschrauben nach SN EN 14592 mit gewalzttem oder geschmiedetem Gewinde, einem Verhältniss Gewindekerndurchmesser  $d_1$  zu Nenndurchmesser  $d$  von 0.6 bis 0.75 und mit einer charakteristischen Zugfestigkeit  $f_{u,k} \geq 800 \text{ N/mm}^2$
- Wirksame Gewindelänge  $l_{ef} \geq 6d$

#### Eingaben

Material Mat:	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Nadelholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=Mat)	=	C24
Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

Schraubendurchmesser $d$ =	8 mm
Wirksame Gewindelänge $l_{ef}$ =	50 mm
Winkel Kraft- / Faserrichtung $\alpha$ =	90 °
Anzahl $n$ =	6

#### Belastung

Bemessungskraft $F_{Ed}$ =	10.00 kN
----------------------------	----------

#### Berechnung Tragwiderstand

##### Parameter

Rohdichte $\rho_k$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK)	=	350 kg/m <sup>3</sup>
Faktor $k_d$ =	MIN( $d/8$ ; 1)	=	1.00



Für Durchmesser  $6\text{ mm} \leq d \leq 12\text{ mm}$  (SIA 265, 6.5.3.7)

$$\text{Auszieffestigkeit } f_{ax,k} = 0.52 * d^{-0.5} * l_{ef}^{-0.1} * \rho_k^{0.8} * k_d = 13.48 \text{ N/mm}^2$$

Andernfalls gilt  $f_{ax,k} = f_{ax,k,EN14592} * (\rho_k / \rho_a)^{0.8}$  mit  $f_{ax,k,EN14592}$  dem charakteristischen Auszieffestigkeitsparameter der gewählten Schrauben (siehe Herstellerangaben) und  $\rho_a$  zu  $f_{ax,k,EN14592}$  gehörige Rohdichte in  $\text{kg/m}^3$

$$\begin{aligned} \text{Fixer Faktor } k_\alpha &= 0.62 \\ \text{Charakteristische Zugfestigkeit } f_{u,k} &= 800 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Spannungsquerschnitt } A_s &= \pi * 0.6 * d = 15.08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Für  $\alpha \geq 30^\circ$ :

$$\text{Scherfestigkeit } f_{v,\alpha,d,1} = \frac{k_\alpha * f_{ax,k}}{\pi * ((\sin(\alpha))^2 + 1.2 * (\cos(\alpha))^2)} = 2.66 \text{ N/mm}^2$$

- Für  $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ :

$$\text{Scherfestigkeit } f_{v,\alpha,d,2} = 20 * 10^{-3} * (\pi * d * (l_{ef} - d))^{(-0.2)} * \rho_k = 1.74 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Massgebende Scherfestigkeit } f_{v,\alpha,d} = \text{WENN}(\alpha \geq 30; f_{v,\alpha,d,1}; f_{v,\alpha,d,2}) = 2.66 \text{ N/mm}^2$$

### Widerstände

$$\text{Zugwiderstand der Schraube(n) } F_{t,Rd} = \frac{n * 0.9 * f_{u,k} * A_s}{1.25 * 10^3} = 52.12 \text{ kN}$$

$$\text{Ausziehewiderstand } R_{ax,d} = \text{MIN}(F_{t,Rd}; n * 0.9 * \pi * d * l_{ef} * f_{v,\alpha,d} * \eta_w * \eta_t / 10^3) = 16.77 \text{ kN}$$

### Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{Ed}}{R_{ax,d}} = 0.60 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Bemerkung:

Bei Schraube mit Schaft muss das Durchziehen des Schraubenkopfs bzw. der Unterlagscheibe überprüft werden. Für den charakteristischen Kopfdurchzieffestigkeitsparameter von Holzschrauben kann ein Mindestwert von  $f_{head,k} = 80 * 10^{-6} * \rho_a^2$  angenommen werden (SIA 265\_6.5.2.3.1 mit  $\rho_a = 350 \text{ N/mm}^2$ )

$$\text{Kopfdurchzieffestigkeitsparameter } f_{head,k} = 80 * (10)^{-6} * 350^2 = 9.80 \text{ N/mm}^2$$

Der Schraubenkopfdurchmesser ist je nach Hersteller und Schraubentyp anders. Vereinfacht wird  $d_h = 1.85d$  angenommen (auf der sicheren Seite).

$$\text{Schraubenkopfdurchmesser } d_{h,1} = 1.85 * d = 15 \text{ mm}$$

$$\text{Unterlagscheibe vorhanden US} = \text{GEW}(\text{"Abfrage/JN"}; \text{JN}; ) = \text{Nein}$$

$$\text{Aussen-}\varnothing \text{ Unterlagscheibe } d_{h,2} = 20 \text{ mm}$$

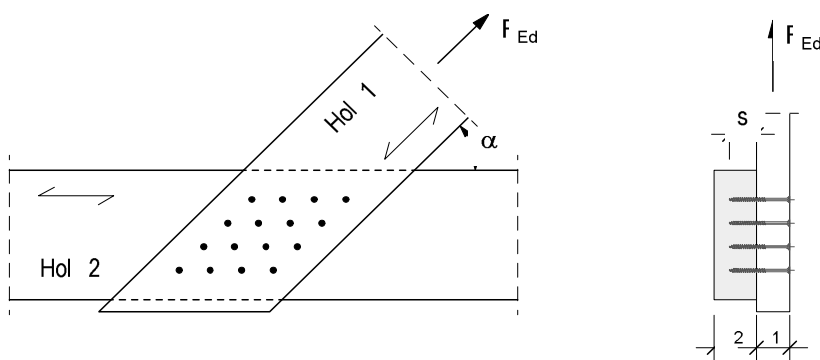
$$\text{massgebender Durchmesser } d_h = \text{WENN}(\text{US} = \text{"Ja"}; d_{h,2}; d_{h,1}) = 15 \text{ mm}$$

$$\text{Kopfdurchzieffestigkeit } R_{ax,head,d} = k_\alpha * n^{0.9} * f_{head,k} * d_h^2 * \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^{(0.8)} / 10^3 = 6.86 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{Ed}}{R_{ax,head,d} * \eta_w * \eta_t} = 1.46 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis nicht erfüllt !}$$

### Schrauben Abscheren mit Seilwirkung (vorgebohrt)



#### Voraussetzungen

- Tragwiderstand  $R_{d,verb}$  einer einschittigen Schraubenverbindung gemäss SIA 265 Anhang A.2
- Minimale Festigkeitsklasse C24 oder GL24k
- Schraubenverbindung **mit Vorbohrung** und Schrauben mit einem Nenndurchmesser von 6 mm bis 24 mm
- Holzschrauben nach SN EN 14592 mit gewalzttem oder geschmiedetem Gewinde, einem Verhältniss Gewindekerndurchmesser  $d_1$  zu Nenndurchmesser  $d$  von 0.6 bis 0.75 und mit einer charakteristischen Zugfestigkeit  $f_{u,k} \geq 800 \text{ N/mm}^2$
- Wirksame Gewindelänge  $l_{ef} \geq 6d$ . Ist diese Bedingung nicht erfüllt, ist der Anteil der Seilwirkung  $\Delta R_{Seilw}$  gleich null und die Verbindung muss nach SIA 265\_6.5.2 bemessen werden.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,ser}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Holz 1

Breite $t_1$ =	40 mm
Höhe $h_1$ =	140 mm

Material $Mat_1$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_1$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=Mat <sub>1</sub> )	=	C24
Rohdichte $\rho_{k,1}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK <sub>1</sub> )	=	350 kg/m <sup>3</sup>

#### Holz 2

Breite $t_2$ =	80 mm
Höhe $h_2$ =	140 mm

Material $Mat_2$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_2$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=Mat <sub>2</sub> )	=	C24
Rohdichte $\rho_{k,2}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK <sub>2</sub> )	=	350 kg/m <sup>3</sup>



## Schraube

Schraubenlänge $l$ =		120 mm
Schrauben $\varnothing d$ =	GEW("Verbindungsmittel/Schraube3"; D; )	= 6 mm
Schraubentyp Typ =	GEW("Verbindungsmittel/Schraube3"; Typ; )	= Vollgewinde
Wirksame Gewindelänge $l_{ef,1}$ =	WENN(Typ="Vollgewinde"; $t_1$ ; 0)	= 40 mm
Wirksame Gewindelänge $l_{ef,2}$ =	WENN(Typ="Vollgewinde"; $l-t_1$ ; MIN(6*d; $l-t_1$ ))	= 80 mm
Gewindkerndurchmesser $d_1 = 0.6d$ (auf sicheren Seite):		
$d_1$ =	$0.6 * d$	= 3.6 mm
<b>Rechnerisch wirksamer Schraubendurchmesser <math>d_{ef}</math> nach SIA 265_6.5.2.5:</b>		
$d_{ef}$ =	$1.1 * d_1$	= 4.0 mm

## Belastung

Bemessungskraft Tragsicherheit $F_{Ed}$ =	15.00 kN
Bemessungskraft Gebrauchstauglichkeit $F_{Ed,ser}$ =	10.00 kN
Anschlusswinkel $\alpha$ =	0 °

## Berechnung Tragwiderstand

### Parameter

Lochleibungsfestigkeiten:

$f_{h,1,0,k}$ =	$0.082 * (1 - 0.01 * d_{ef}) * \rho_{k,1}$	=	27.55 N/mm <sup>2</sup>
$f_{h,2,0,k}$ =	$0.082 * (1 - 0.01 * d_{ef}) * \rho_{k,2}$	=	27.55 N/mm <sup>2</sup>
$f_{h,2,90,k}$ =	WENN(Mat <sub>2</sub> ="Laubholz"; $\frac{f_{h,2,0,k}}{0.9 + 0.015 * d_{ef}}$ ; $\frac{f_{h,2,0,k}}{1.35 + 0.015 * d_{ef}}$ )	=	19.54 N/mm <sup>2</sup>
Holz1 $f_{h,1,k}$ =	$f_{h,1,0,k}$	=	27.55 N/mm <sup>2</sup>
Holz2 $f_{h,2,k}$ =	$f_{h,2,0,k} - \frac{\alpha}{90} * (f_{h,2,0,k} - f_{h,2,90,k})$	=	27.55 N/mm <sup>2</sup>
Hilfswert $\beta_f$ =	$f_{h,2,k} / f_{h,1,k}$	=	1.00

Charakteristische Zugfestigkeit der Schraube (Festigkeitsklasse 8.8):

$f_{u,k}$ =	TAB("SIA263/Stahl"; $f_u$ ; S=8.8)	=	800 N/mm <sup>2</sup>
-------------	------------------------------------	---	-----------------------

Charakteristische Wert des FlieBmoments im Gewindebereich gemäss SIA 265\_6.1.4.4:

$M_{u,k}$ =	$0.3 * f_{u,k} * d_{ef}^{2.6}$	=	8822 Nmm
-------------	--------------------------------	---	----------

Holzicken und Einschraubtiefen:

Minimale Holzdicke $t_{min}$ =	$4 * d$	=	24.0 mm
Erforderliche Holzdicke $t_{1,erf}$ =	$1.15 * \left( 2 * \sqrt{\frac{\beta_f}{1 + \beta_f}} + 2 \right) * \sqrt{\frac{M_{u,k}}{f_{h,1,k} * d_{ef}}}$	=	35.1 mm
Effektive Holzdicke $t_1$ =	$t_1$	=	40 mm $\geq t_{min}$
Erforderliche Einschraubtiefe $s_{erf}$ =	$1.15 * \left( 2 * \sqrt{\frac{1}{1 + \beta_f}} + 2 \right) * \sqrt{\frac{M_{u,k}}{f_{h,2,k} * d_{ef}}}$	=	35.1 mm
Minimale Einschraubtiefe $s_{min}$ =	$6 * d$	=	36 mm
Effektive Einschraubtiefe $s$ =	$l - t_1$	=	80 mm $\geq s_{min}$



Werden die minimalen Holzicken resp. Einschraubtiefen (4d resp. 6d) nicht unterschritten, darf der Tragwiderstand proportional abgemindert werden. (Tabelle 30 Fussnote 1 und Tabelle 33 Fussnote 2)

$$\begin{aligned}
 \text{Abminderungsfaktor } k_{\text{Abm}} &= \text{MIN}(t_1/t_{1,\text{erf}}; s/s_{\text{erf}}; 1) &= 1.00 \\
 \text{Hilfswert } k_{\beta} &= k_{\text{Abm}} * \sqrt{\frac{4 * \beta_f}{1 + \beta_f}} &= 1.41 \\
 \text{Fixer Hilfswert } k_{\alpha} &= &0.73
 \end{aligned}$$

### Tragwiderstand der Verbindung Ohne Berücksichtigung der Seilwirkung

**Gewählt: 4 Reihen à 4 Schrauben = 16 Schrauben 6 x 120 mm**

$$\begin{aligned}
 \text{Gesamtanzahl Schrauben } n_{\text{tot}} &= 16 \\
 \text{Anzahl Schraube in Faserrichtung hintereinander } n &= 4 \\
 \text{Minimale Abstand der Schrauben untereinander in Faserrichtung:} \\
 \parallel \text{ zur Faserrichtung, untereinander } a_1 &= 6 * d = 36 \text{ mm} \\
 \text{Gewählter Abstand untereinander in Faserrichtung } a_{11} &= 36 \text{ mm} \geq a_1 \\
 \text{massgebender Winkel Kraft-Faserrichtung } \gamma &= 0^\circ
 \end{aligned}$$

Bei unterschiedlichen Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung ist der Reduktionsbeiwert  $k_{\text{red}}$  für alle Holzteile einzeln zu bestimmen. Für die Ermittlung des Tragwiderstands der Verbindung ist der kleinste Wert von  $k_{\text{red}}$  einzusetzen (SIA 265 6.1.4.2).

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{\text{red}} = \text{WENN}(n=1;1;\text{MIN}(n^{-0.1} * \sqrt[4]{\frac{a_{11}}{10*d} * \frac{90-\gamma}{90} + \frac{\gamma}{90}; 1})) = 0.77$$

$$\text{Tragwiderstand } R_{\text{d,Absch}} = \eta_w * \eta_t * k_{\alpha} * k_{\text{red}} * n_{\text{tot}} * k_{\beta} * \sqrt{M_{\text{u,k}} * f_{\text{h},1,\text{k}} * d_{\text{ef}}} / 1000 = 12.50 \text{ kN}$$

### Anteil der Seilwirkung der Schrauben $\Delta R_{\text{d,Seil}}$

Die Seilwirkung darf nur berücksichtigt werden, wenn  $l_{\text{ef}} \geq 6d$ . Bei Sechskantschrauben (Teilgewinde) ist die wirksame Gewindelänge  $l_{\text{ef}}$  nur im Holz 2 anzusetzen. Im Holz 1 kann also nur der Kopfdurchziehwiderstand  $R_{\text{ax,head,d}}$  angesetzt werden. Massgebend ist der Minimalwert der beiden.

#### Holz 2

$$\begin{aligned}
 \text{Bedingung minimale effektive Gewindelänge } k_{l_{\text{ef},2}} &= \text{WENN}(l_{\text{ef},2} < 6*d; 0; 1) = 1 \\
 \text{Faktor } k_d &= \text{MIN}(d/8; 1) = 0.75 \\
 \text{Charakteristischen Wert der Ausziehfestigkeit für Durchmesser } 6\text{mm} \leq d \leq 12 \text{ mm (SIA 265, 6.5.3.7)} \\
 \text{Ausziehfestigkeit } f_{\text{ax},2,\text{k}} &= 0.52 * d^{-0.5} * l_{\text{ef},2}^{-0.1} * \rho_{\text{k},2}^{0.8} * k_d = 11.14 \text{ N/mm}^2 \\
 \text{Fixer Faktor } k_{\alpha} &= 0.62 \\
 \text{- Für } \beta &= 90^\circ \\
 \text{Scherfestigkeit } f_{\text{v},\alpha,d,2} &= \frac{k_{\alpha} * f_{\text{ax},2,\text{k}}}{\pi * ((\sin(90)) ^ 2 + 1.2 * (\cos(90)) ^ 2)} = 2.20 \text{ N/mm}^2 \\
 \text{Ausziehwiderstand } R_{\text{ax},2,d} &= k_{l_{\text{ef},2}} * n_{\text{tot}}^{0.9} * \pi * d * l_{\text{ef},2} * f_{\text{v},\alpha,d,2} / 10^3 = 40.23 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



### Holz 1

Bedingung minimale effektive Gewindelänge  $k_{l,ef,1} = \text{WENN}(l_{ef,1} < 6 \cdot d; 0; 1) = 1$

Charakteristischen Wert der Ausziehfestigkeit für Durchmesser  $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$  (SIA 265, 6.5.3.7)

$$\text{Ausziehfestigkeit } f_{ax,1,k} = \text{WENN}(k_{l,ef,1}=0; 0; 0.52 \cdot d^{-0.5} \cdot l_{ef,1}^{-0.1} \cdot \rho_{k,1}^{0.8} \cdot k_d) = 11.94 \text{ N/mm}^2$$

- Für Kraft-Faser Winkel  $\beta = 90^\circ$

$$\text{Scherfestigkeit } f_{v,\alpha,d,1} = \frac{k_\alpha \cdot f_{ax,1,k}}{\pi \cdot \left( (\sin(90)) ^2 + 1.2 \cdot (\cos(90)) ^2 \right)} = 2.36 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausziehwiiderstand } R_{ax,1,d} = n_{tot}^{0.9} \cdot \pi \cdot d \cdot l_{ef,1} \cdot f_{v,\alpha,d,1} / 10^3 = 21.58 \text{ kN}$$

Bei Schraube mit Schaft muss das Durchziehen des Schraubenkopfs bzw. der Unterlagscheibe überprüft werden. Für den charakteristischen Kopfdurchziehparameter von Holzschrauben kann ein Mindestwert von

$f_{head,k} = 80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_a^2$  angenommen werden (SIA 265\_6.5.2.3.1 mit  $\rho_a = 350 \text{ N/mm}^2$ )

$$\text{Kopfdurchziehparameter } f_{head,k} = 80 \cdot (10)^{-6} \cdot 350^2 = 9.80 \text{ N/mm}^2$$

Der Schraubenkopfdurchmesser ist je nach Hersteller und Schraubentyp anders. Vereinfacht wird  $d_h = 1.85d$  angenommen (auf der sicheren Seite).

$$\text{Schraubenkopfdurchmesser } d_{h,1} = 1.85 \cdot d = 11 \text{ mm}$$

**Unterlagscheibe vorhanden US** = GEW("Abfrage/JN"; JN; ) = **Nein**

**Aussen-Ø Unterlagscheibe  $d_{h,2}$**  = **20 mm**

$$\text{massgebender Durchmesser } d_h = \text{WENN}(US="Ja"; d_{h,2}; d_{h,1}) = 11 \text{ mm}$$

$$\text{Kopfdurchziehwiiderstand } R_{ax,head,d} = k_\alpha \cdot n_{tot}^{0.9} \cdot f_{head,k} \cdot d_h^2 \cdot \left( \frac{\rho_{k,1}}{350} \right)^{(0.8)} / 10^3 = 8.91 \text{ kN}$$

Massgebender Bemessungswert des Ausziehwiiderstandes für die Seilwirkung  $\Delta R_{d,Seil}$ :

$$R_{ax,d} = \eta_w \cdot \eta_t \cdot \text{WENN}(\text{Typ}="Vollgewinde" \text{ UND } k_{l,ef,1}=1; \text{MIN}(R_{ax,1,d}; R_{ax,2,d}); \text{MIN}(R_{ax,2,d}; R_{ax,head,d})) = 21.58 \text{ N/mm}^2$$

Anteil zur berücksichtigung der Seilwirkung  $\Delta R_{d,Seil}$ :

$$\Delta R_{d,Seil} = \text{MIN}(0.25 \cdot R_{ax,d}; 1.0 \cdot R_{d,Absch}) = 5.39 \text{ kN}$$

### Tragwiiderstand der Verbindung mit Berücksichtigung der Seilwirkung

$$R_{d,Verb} = R_{d,Absch} + \Delta R_{d,Seil} = 17.89 \text{ kN}$$

### Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{Ed}}{R_{d,Verb}} = \frac{15.00}{17.89} = 0.84 \leq 1$$

$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt"}) = \text{Nachweis erfüllt}$

### Vergleich ohne Seilwirkung (gemäss SIA 265 Tabelle 31)

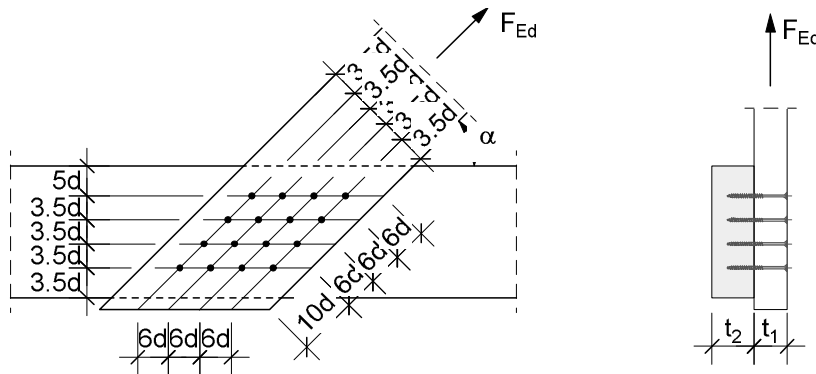
$$R_{d,2} = 2.5 \cdot \rho_{k,1}^{0.5} \cdot d^{1.8} / 1000 = 1.18 \text{ kN}$$

$$R_{d,Verb,2} = k_{red} \cdot n_{tot} \cdot R_{d,2} = 14.54 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{Ed}}{R_{d,Verb,2} \cdot \eta_t \cdot \eta_w} = \frac{15.00}{14.54 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = 1.03 \leq 1$$

$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt"}) = \text{Nachweis nicht erfüllt !}$

### Minimale Abstände (SIA 265\_Tabelle 35)



zur Faserrichtung, untereinander $a_1$	=	$6 \cdot d$	=	36.0 mm
zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{1,b}$	=	$10 \cdot d$	=	60.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, untereinander $a_2$	=	$3.5 \cdot d$	=	21.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand $a_{2,u}$	=	$3.5 \cdot d$	=	21.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b}$	=	$5 \cdot d$	=	30.0 mm

Kontrolle Breite Holz1  $k_1$ :  $2 \cdot a_{2,u} + \left( \frac{n_{\text{tot}}}{n} - 1 \right) \cdot a_2 = 105 \text{ mm} \leq h_1$

Kontrolle Breite Holz2  $k_2$ : WENN( $\alpha=0$ ;  $k_1$ ;  $a_{2,u} + a_{2,b} + (n - 1) \cdot a_2$ ) =  $105 \text{ mm} \leq h_2$

### Steifigkeit der Verbindung

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf, elastische Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmittel kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Verschiebungsmodul pro Schraube:

$$\text{Verschiebungsmodul } k_{\text{ser}} = \eta_{w,\text{ser}} \cdot \left( 3 - \frac{\alpha}{90} \cdot 1.5 \right) \cdot \rho_{k,2}^{0.5} \cdot d_{\text{ef}}^{1.7} / 1000 = 0.59 \text{ kN/mm}$$

$$\text{Kraft pro Schraube } F_{N,\text{ser}} = \frac{F_{\text{Ed,ser}}}{n_{\text{tot}}} = \frac{10.00}{16} = 0.63 \text{ kN}$$

$$\text{Elastische Verschiebung } \delta_{\text{el}} = \frac{F_{N,\text{ser}}}{k_{\text{ser}}} = \frac{0.63}{0.59} = 1.07 \text{ mm}$$

$$\text{Kriechzahl } \varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"}; Kz; GR=\text{Mat}_2; FK=\text{KL}) = 0.60$$

$$\text{Langzeitverschiebung } \delta_{\infty} = \delta_{\text{el}} \cdot (1 + \varphi) = 1.7 \text{ mm}$$

**Federsteifigkeit des Anschlusses:**

$$k = \frac{F_{\text{Ed,ser}} \cdot 1000}{\delta_{\text{el}}} = \frac{10.00 \cdot 1000}{1.07} = 9346 \text{ kN/m}$$



## Nachweis Holz 1 auf Zug

Bei Schrauben mit Vorbohrung müssen Schraubenlöcher als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265\_6.1.1.8). Zu berücksichtigende Querschnittsverminderung  $\Rightarrow$  siehe SIA 265\_6.1.1.8, Figur 24:

$$\begin{aligned} \text{Anzahl Schrauben für Querschnittsverminderung } S &= 4 \\ \text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} &= t_1 \cdot (h_1 - S \cdot d) = 4640 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\begin{aligned} \text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} &= \frac{F_{\text{Ed}} \cdot 10^3}{A_{\text{netto}}} = 3.23 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,1} &= \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; } ft0d; \text{FK=FK}_1) = 8,0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Reduktion der Festigkeit um ein Drittel zur näherungsweise Berücksichtigung der Zustmomente bei einseitig beanspruchten Bauteilen (SIA 265-6.1.1.10)

$$\text{reduzierte Zugfestigkeit } f_{t,0,d,1,\text{red}} = \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d,1} \cdot \eta_w \cdot \eta_t = 5.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d,1,\text{red}}} = \frac{3.23}{5.33} = 0.61 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

## Nachweis Holz 2 auf Zug

Bei Schrauben mit Vorbohrung müssen Schraubenlöcher als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265\_6.1.1.8). Zu berücksichtigende Querschnittsverminderung  $\Rightarrow$  siehe SIA 265\_6.1.1.8, Figur 24:

$$\begin{aligned} \text{Anzahl Schrauben für Querschnittsverminderung } S &= 4 \\ \text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} &= t_2 \cdot (h_2 - S \cdot d) = 9280 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\begin{aligned} \text{Zugkraft } F_{\text{Ed},2} &= F_{\text{Ed}} \cdot \cos(\alpha) = 15.00 \cdot \cos(0) = 15.00 \text{ kN} \\ \text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d,2} &= \frac{F_{\text{Ed},2} \cdot 10^3}{A_{\text{netto}}} = 1.62 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,2} &= \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; } ft0d; \text{FK=FK}_2) = 8.0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Reduktion der Festigkeit um ein Drittel zur näherungsweise Berücksichtigung der Zustmomente bei einseitig beanspruchten Bauteilen (SIA 265-6.1.1.10)

$$\text{reduzierte Zugfestigkeit } f_{t,0,d,2,\text{red}} = \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d,2} \cdot \eta_w \cdot \eta_t = 5.33 \text{ N/mm}^2$$

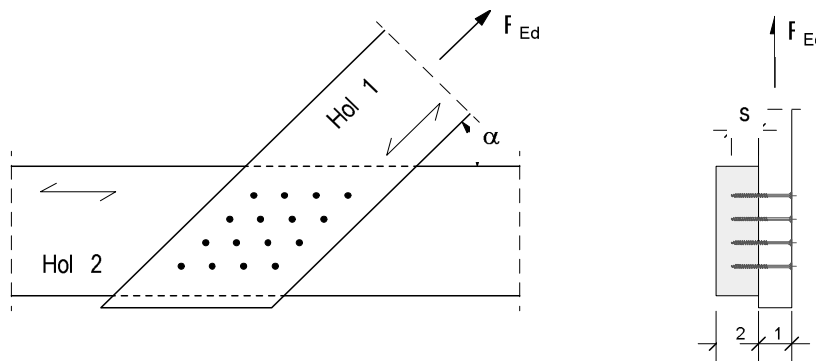
$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d,2}}{f_{t,0,d,2,\text{red}}} = \frac{1.62}{5.33} = 0.30 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

Je nach Situation sind weitere Nachweise für das Holz 2 zu erbringen (Biegung mit Normalkraft, Schub, usw).



### Schrauben Abscheren mit Seilwirkung (nicht vorgebohrt)



#### Voraussetzungen

- Tragwiderstand  $R_{d,verb}$  einer einschittigen Schraubenverbindung gemäss SIA 265 Anhang A.2
- Minimale Festigkeitsklasse C24 oder GL24k und **kein Laubholz**
- Schraubenverbindung **ohne Vorbohrung** und Schrauben mit einem Nenndurchmesser von 6 mm bis 24 mm
- Holzschrauben nach SN EN 14592 mit gewalzttem oder geschmiedetem Gewinde, einem Verhältniss Gewindekerndurchmesser  $d_1$  zu Nenndurchmesser  $d$  von 0.6 bis 0.75 und mit einer charakteristischen Zugfestigkeit  $f_{u,k} \geq 800 \text{ N/mm}^2$
- Wirksame Gewindelänge  $l_{ef} \geq 6d$ . Ist diese Bedingung nicht erfüllt, ist der Anteil der Seilwirkung  $\Delta R_{Seilw}$  gleich null und die Verbindung muss nach SIA 265\_6.5.2 bemessen werden.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,ser}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Holz 1

Breite $t_1$ =	40 mm
Höhe $h_1$ =	140 mm

Material $Mat_1$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_1$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_1$ )	=	C24
Rohdichte $\rho_{k,1}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_1$ )	=	350 kg/m <sup>3</sup>

#### Holz 2

Breite $t_2$ =	80 mm
Höhe $h_2$ =	140 mm

Material $Mat_2$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_2$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_2$ )	=	C24
Rohdichte $\rho_{k,2}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_2$ )	=	350 kg/m <sup>3</sup>



### Schraube

Schraubenlänge $l$ =		120 mm
Schrauben $\varnothing d$ =	GEW("Verbindungsmittel/Schraube3"; D; )	= 6 mm
Schraubentyp Typ =	GEW("Verbindungsmittel/Schraube3"; Typ; )	= Vollgewinde
Wirksame Gewindelänge $l_{ef,1}$ =	WENN(Typ="Vollgewinde"; $t_1$ ; 0)	= 40 mm
Wirksame Gewindelänge $l_{ef,2}$ =	WENN(Typ="Vollgewinde"; $l-t_1$ ; MIN(6*d; $l-t_1$ ))	= 80 mm
Gewindkerndurchmesser $d_1 = 0.6d$ (auf sicheren Seite):		
$d_1$ =	$0.6 * d$	= 3.6 mm
<b>Rechnerisch wirksamer Schraubendurchmesser <math>d_{ef}</math> nach SIA 265_6.5.2.5:</b>		
$d_{ef}$ =	$1.1 * d_1$	= 4.0 mm

### Belastung

Bemessungskraft Tragsicherheit $F_{Ed}$ =	15.00 kN
Bemessungskraft Gebrauchstauglichkeit $F_{Ed,ser}$ =	10.00 kN
Anschlusswinkel $\alpha$ =	0 °

### Berechnung Tragwiderstand

#### Parameter

Lochleibungsfestigkeiten:

Holz1 $f_{h,1,k}$ =	$0.082 * d_{ef}^{-0.3} * \rho_{k,1}$	=	18.93 N/mm <sup>2</sup>
Holz2 $f_{h,2,k}$ =	$f_{h,1,k}$	=	18.93 N/mm <sup>2</sup>
Hilfswert $\beta_f$ =	$f_{h,2,k} / f_{h,1,k} = 18.93 / 18.93$	=	1.00

Charakteristische Zugfestigkeit der Schraube (Festigkeitsklasse 8.8):

$f_{u,k}$ =	TAB("SIA263/Stahl"; fu; S=8.8)	=	800 N/mm <sup>2</sup>
-------------	--------------------------------	---	-----------------------

Charakteristische Wert des Flieissmoments im Gewindebereich gemäss SIA 265\_6.1.4.4:

$M_{u,k}$ =	$0.3 * f_{u,k} * d_{ef}^{2.6}$	=	8822 Nmm
-------------	--------------------------------	---	----------

Holzicken und Einschraubtiefen:

Minimale Holzdicke $t_{min}$ =	$4 * d$	=	24.0 mm
Erforderliche Holzdicke $t_{1,erf}$ =	$1.15 * \left( 2 * \sqrt{\frac{\beta_f}{1 + \beta_f}} + 2 \right) * \sqrt{\frac{M_{u,k}}{f_{h,1,k} * d_{ef}}}$	=	42.4 mm
Effektive Holzdicke $t_1$ =	$t_1$	=	40 mm $\geq t_{min}$
Erforderliche Einschraubtiefe $s_{erf}$ =	$1.15 * \left( 2 * \sqrt{\frac{1}{1 + \beta_f}} + 2 \right) * \sqrt{\frac{M_{u,k}}{f_{h,2,k} * d_{ef}}}$	=	42.4 mm
Minimale Einschraubtiefe $s_{min}$ =	$6 * d$	=	36 mm
Effektive Einschraubtiefe $s$ =	$l - t_1$	=	80 mm $\geq s_{min}$



Werden die minimalen Holzicken resp. Einschraubtiefen (4d resp. 6d) nicht unterschritten, darf der Tragwiderstand proportional abgemindert werden. (Tabelle 30 Fussnote 1 und Tabelle 33 Fussnote 2)

$$\begin{aligned} \text{Abminderungsfaktor } k_{\text{Abm}} &= \text{MIN}(t_1/t_{1,\text{erf}}; s/s_{\text{erf}}; 1) &= & 0.94 \\ \text{Hilfswert } k_{\beta} &= k_{\text{Abm}} * \sqrt{\frac{4 * \beta_f}{1 + \beta_f}} &= & 1.33 \\ \text{Fixer Hilfswert } k_{\alpha} &= & & 0.73 \end{aligned}$$

### Tragwiderstand der Verbindung Ohne Berücksichtigung der Seilwirkung

**Gewählt: 4 Reihen à 4 Schrauben = 16 Schrauben 6 x 120 mm**

$$\begin{aligned} \text{Gesamtanzahl Schrauben } n_{\text{tot}} &= 16 \\ \text{Anzahl Schraube in Faserrichtung hintereinander } n &= 4 \\ \text{Minimale Abstand der Schrauben untereinander in Faserrichtung:} \\ \parallel \text{ zur Faserrichtung, untereinander } a_1 &= 6 * d = 36 \text{ mm} \\ \text{Gewählter Abstand untereinander in Faserrichtung } a_{11} &= 36 \text{ mm} \geq a_1 \\ \text{massgebender Winkel Kraft-Faserrichtung } \gamma &= 0^\circ \end{aligned}$$

Bei unterschiedlichen Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung ist der Reduktionsbeiwert  $k_{\text{red}}$  für alle Holzteile einzeln zu bestimmen. Für die Ermittlung des Tragwiderstands der Verbindung ist der kleinste Wert von  $k_{\text{red}}$  einzusetzen (SIA 265 6.1.4.2).

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{\text{red}} = \text{WENN}(n=1;1;\text{MIN}(n^{-0.1} * \sqrt[4]{\frac{a_{11}}{10*d} * \frac{90-\gamma}{90} + \frac{\gamma}{90}; 1})) = 0.77$$

$$\text{Tragwiderstand } R_{\text{d,Absch}} = \eta_w * \eta_t * k_{\alpha} * k_{\text{red}} * n_{\text{tot}} * k_{\beta} * \sqrt{M_{\text{u,k}} * f_{\text{h,1,k}} * d_{\text{ef}}} / 1000 = 9.78 \text{ kN}$$

### Anteil der Seilwirkung der Schrauben $\Delta R_{\text{d,Seil}}$

Die Seilwirkung darf nur berücksichtigt werden, wenn  $l_{\text{ef}} \geq 6d$ . Bei Sechskantschrauben (Teilgewinde) ist die wirksame Gewindelänge  $l_{\text{ef}}$  nur im Holz 2 anzusetzen. Im Holz 1 kann also nur der Kopfdurchziehewiderstand  $R_{\text{ax,head,d}}$  angesetzt werden. Massgebend ist der Minimalwert der beiden.

#### Holz 2

$$\text{Bedingung minimale effektive Gewindelänge } k_{l_{\text{ef},2}} = \text{WENN}(l_{\text{ef},2} < 6*d; 0; 1) = 1$$

$$\text{Faktor } k_d = \text{MIN}(d/8; 1) = 0.75$$

Charakteristischen Wert der Ausziehfestigkeit für Durchmesser  $6\text{mm} \leq d \leq 12\text{mm}$  (SIA 265, 6.5.3.7)

$$\text{Ausziehfestigkeit } f_{\text{ax},2,k} = 0.52 * d^{-0.5} * l_{\text{ef},2}^{-0.1} * \rho_{\text{k},2}^{0.8} * k_d = 11.14 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Fixer Faktor } k_{\alpha} = 0.62$$

- Für  $\beta = 90^\circ$

$$\text{Scherfestigkeit } f_{\text{v},\alpha,d,2} = \frac{k_{\alpha} * f_{\text{ax},2,k}}{\pi * ((\sin(90))^2 + 1.2 * (\cos(90))^2)} = 2.20 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausziehwiderstand } R_{\text{ax},2,d} = k_{l_{\text{ef},2}} * n_{\text{tot}}^{0.9} * \pi * d * l_{\text{ef},2} * f_{\text{v},\alpha,d,2} / 10^3 = 40.23 \text{ kN}$$



### Holz 1

Bedingung minimale effektive Gewindelänge  $k_{l,ef,1} = \text{WENN}(l_{ef,1} < 6*d; 0; 1) = 1$

Charakteristischen Wert der Ausziehfestigkeit für Durchmesser  $6\text{mm} \leq d \leq 12\text{mm}$  (SIA 265, 6.5.3.7)

Ausziehfestigkeit  $f_{ax,1,k} = \text{WENN}(k_{l,ef,1}=0; 0; 0.52 * d^{-0.5} * l_{ef,1}^{-0.1} * \rho_{k,1}^{0.8} * k_d) = 11.94 \text{ N/mm}^2$

- Für Kraft-Faser Winkel  $\beta = 90^\circ$

Scherfestigkeit  $f_{v,\alpha,d,1} = \frac{k_\alpha * f_{ax,1,k}}{\pi * ((\sin(90)) ^2 + 1.2 * (\cos(90)) ^2)} = 2.36 \text{ N/mm}^2$

Auszieh widerstand  $R_{ax,1,d} = n_{tot}^{0.9} * \pi * d * l_{ef,1} * f_{v,\alpha,d,1} / 10^3 = 21.58 \text{ kN}$

Bei Schraube mit Schaft muss das Durchziehen des Schraubenkopfs bzw. der Unterlagscheibe überprüft werden. Für den charakteristischen Kopfdurchziehparameter von Holzschrauben kann ein Mindestwert von  $f_{head,k} = 80 * 10^{-6} * \rho_a^2$  angenommen werden (SIA 265\_6.5.2.3.1 mit  $\rho_a = 350 \text{ N/mm}^2$ )

Kopfdurchziehparameter  $f_{head,k} = 80 * (10)^{-6} * 350^2 = 9.80 \text{ N/mm}^2$

Der Schraubenkopfdurchmesser ist je nach Hersteller und Schraubentyp anders. Vereinfacht wird  $d_h = 1.85d$  angenommen (auf der sicheren Seite).

Schraubenkopfdurchmesser  $d_{h,1} = 1.85 * d = 11 \text{ mm}$

Unterlagscheibe vorhanden US = GEW("Abfrage/JN"; JN;) = Nein

**Aussen-Ø Unterlagscheibe  $d_{h,2} = 20 \text{ mm}$**

massgebender Durchmesser  $d_h = \text{WENN}(US="Ja"; d_{h,2}; d_{h,1}) = 11 \text{ mm}$

**Kopfdurchzieh widerstand  $R_{ax,head,d} = k_\alpha * n_{tot}^{0.9} * f_{head,k} * d_h^2 * \left(\frac{\rho_{k,1}}{350}\right)^{(0.8)} / 10^3 = 8.91 \text{ kN}$**

Massgebender Bemessungswert des Auszieh widerstandes für die Seilwirkung  $\Delta R_{d,Seil}$ :

$R_{ax,d} = \eta_w * \eta_t * \text{WENN}(\text{Typ}="Vollgewinde" \text{ UND } k_{l,ef,1}=1; \text{MIN}(R_{ax,1,d}; R_{ax,2,d}); \text{MIN}(R_{ax,2,d}; R_{ax,head,d})) = 21.58 \text{ kN}$

Anteil zur berücksichtigung der Seilwirkung  $\Delta R_{d,Seil}$ :

$\Delta R_{d,Seil} = \text{MIN}(0.25 * R_{ax,d}; 1.0 * R_{d,Absch}) = 5.39 \text{ kN}$

### Tragwiderstand der Verbindung mit Berücksichtigung der Seilwirkung

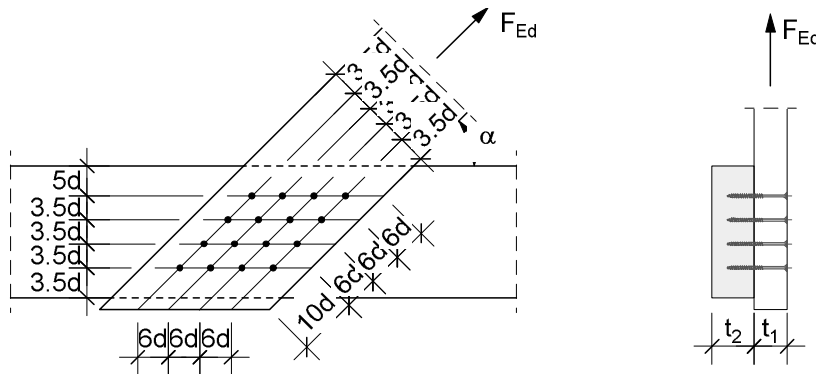
$R_{d,Verb} = R_{d,Absch} + \Delta R_{d,Seil} = 15.17 \text{ kN}$

### Nachweis

**Ausnutzung:**  $\frac{F_{Ed}}{R_{d,Verb}} = \frac{15.00}{15.17} = 0.99 \leq 1$

$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt") = \text{Nachweis erfüllt}$

### Minimale Abstände (SIA 265\_Tabelle 34)



zur Faserrichtung, untereinander $a_1$	$= 10 \cdot d$	$= 60.0 \text{ mm}$
zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{1,b}$	$= 13 \cdot d$	$= 78.0 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, untereinander $a_2$	$= 5 \cdot d$	$= 30.0 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand $a_{2,u}$	$= \text{WENN}(t_1 \geq 14 \cdot d \text{ UND } t_2 \geq 14 \cdot d; 4 \cdot d; 8 \cdot d)$	$= 48.0 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b}$	$= 8 \cdot d$	$= 48.0 \text{ mm}$

Kontrolle Breite Holz1  $k_1$ :  $2 \cdot a_{2,u} + \left(\frac{n_{\text{tot}}}{n} - 1\right) \cdot a_2 = 186 \text{ mm} \leq h_1$

Kontrolle Breite Holz2  $k_2$ :  $\text{WENN}(\alpha=0; k_1; a_{2,u} + a_{2,b} + (n - 1) \cdot a_2) = 186 \text{ mm} \leq h_2$

### Steifigkeit der Verbindung

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf, elastische Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmittel kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Verschiebungsmodul pro Schraube:

Verschiebungsmodul  $k_{\text{ser}} = \eta_{w, \text{ser}} \cdot \left(60 - \frac{\alpha}{90} \cdot 30\right) \cdot d_{\text{ef}}^{1.7} / 1000 = 0.63 \text{ kN/mm}$

Kraft pro Schraube  $F_{N, \text{ser}} = \frac{F_{\text{Ed, ser}}}{n_{\text{tot}}} = \frac{10.00}{16} = 0.63 \text{ kN}$

Elastische Verschiebung  $\delta_{\text{el}} = \frac{F_{N, \text{ser}}}{k_{\text{ser}}} = \frac{0.63}{0.63} = 1.00 \text{ mm}$

Kriechzahl  $\varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"}; Kz; GR=\text{Mat}_2; FK=\text{KL}) = 0.60$

Langzeitverschiebung  $\delta_{\infty} = \delta_{\text{el}} \cdot (1 + \varphi) = 1.6 \text{ mm}$

**Federsteifigkeit des Anschlusses:**

$k = \frac{F_{\text{Ed, ser}} \cdot 1000}{\delta_{\text{el}}} = \frac{10.00 \cdot 1000}{1.00} = 10000 \text{ kN/m}$



## Nachweis Holz 1 auf Zug

Bei Schrauben mit Vorbohrung müssen Schraubenlöcher als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265\_6.1.1.8). Zu berücksichtigende Querschnittsverminderung  $\Rightarrow$  siehe SIA 265\_6.1.1.8, Figur 24:

$$\begin{aligned} \text{Anzahl Schrauben für Querschnittsverminderung } S &= 4 \\ \text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} &= t_1 * (h_1 - S * d) = 4640 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\begin{aligned} \text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} &= \frac{F_{\text{Ed}} * 10^3}{A_{\text{netto}}} = 3.23 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,1} &= \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; } ft0d; \text{FK=FK}_1) = 8,0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Reduktion der Festigkeit um ein Drittel zur näherungsweise Berücksichtigung der Zustmomente bei einseitig beanspruchten Bauteilen (SIA 265-6.1.1.10)

$$\text{reduzierte Zugfestigkeit } f_{t,0,d,1,\text{red}} = \frac{2}{3} * f_{t,0,d,1} * \eta_w * \eta_t = 5.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d,1,\text{red}}} = \frac{3.23}{5.33} = 0.61 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

## Nachweis Holz 2 auf Zug

Bei Schrauben mit Vorbohrung müssen Schraubenlöcher als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265\_6.1.1.8). Zu berücksichtigende Querschnittsverminderung  $\Rightarrow$  siehe SIA 265\_6.1.1.8, Figur 24:

$$\begin{aligned} \text{Anzahl Schrauben für Querschnittsverminderung } S &= 4 \\ \text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} &= t_2 * (h_2 - S * d) = 9280 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\begin{aligned} \text{Zugkraft } F_{\text{Ed},2} &= F_{\text{Ed}} * \cos(\alpha) = 15.00 * \cos(0) = 15.00 \text{ kN} \\ \text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d,2} &= \frac{F_{\text{Ed},2} * 10^3}{A_{\text{netto}}} = 1.62 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,2} &= \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; } ft0d; \text{FK=FK}_2) = 8.0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Reduktion der Festigkeit um ein Drittel zur näherungsweise Berücksichtigung der Zustmomente bei einseitig beanspruchten Bauteilen (SIA 265-6.1.1.10)

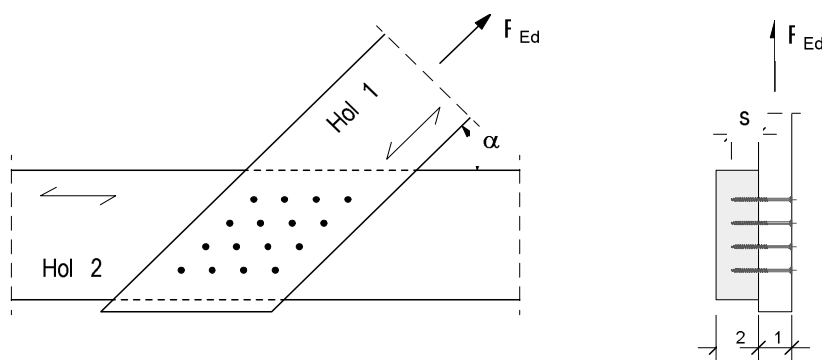
$$\text{reduzierte Zugfestigkeit } f_{t,0,d,2,\text{red}} = \frac{2}{3} * f_{t,0,d,2} * \eta_w * \eta_t = 5.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d,2}}{f_{t,0,d,2,\text{red}}} = \frac{1.62}{5.33} = 0.30 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

Je nach Situation sind weitere Nachweise für das Holz 2 zu erbringen (Biegung mit Normalkraft, Schub, usw).

### Sechskantschraube Abscheren mit Seilwirkung



#### Voraussetzungen

- Tragwiderstand  $R_{d,verb}$  einer einschittigen Schraubenverbindung gemäss SIA 265 Anhang A.2
- Minimale Festigkeitsklasse C24 oder GL24k
- Holzschrauben der Festigkeitsklasse 4.6 ( $f_{u,k} = 400\text{N/mm}^2$ ) mit einem geschnittenen Gewinde nach DIN 7998:Der Schaftdurchmesser entspricht dem grössten Aussen-Querschnittsdurchmesser des Gewindes.
- Für diese Schrauben ist eine **Vorbohrung erforderlich**. Die Vorbohrung muss dem Schaftdurchmesser entsprechen und in der Tiefe maximal die Schaftlänge plus 1/3 der Gewindelänge (SIA 265\_8.5.7)
- Schraubengeometrie von Sechskantschrauben nach DIN 571 mit einer wirksamen Gewindelänge  $l_{ef} \geq 0.6l$  und  $l_{ef} \geq 6d$ .

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,ser}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Holz 1

Breite $t_1$ =	60 mm
Höhe $h_1$ =	140 mm

Material $Mat_1$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_1$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_1$ )	=	C24
Rohdichte $\rho_{k,1}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_1$ )	=	350 kg/m <sup>3</sup>

#### Holz 2

Breite $t_2$ =	80 mm
Höhe $h_2$ =	140 mm

Material $Mat_2$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_2$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_2$ )	=	C24
Rohdichte $\rho_{k,2}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_2$ )	=	350 kg/m <sup>3</sup>



### Schraube

Schraubenlänge $l =$		80 mm
Schraubendurchmesser $d =$	GEW("Verbindungsmittel/Schraube"; D; )	= 6 mm
Wirksame Gewindelänge $l_{ef} =$	$\text{MIN}(0.6 * l; l - t_1)$	= 20 mm
Gewindkerndurchmesser $d_1$ nach DIN 571:		
$d_1 =$	TAB("Verbindungsmittel/Schraube"; D1; D=d)	= 4,0 mm
Rechnerisch wirksamer Schraubendurchmesser $d_{ef}$ nach SIA 265_6.5.2.5:		
$d_{ef} =$	$1.1 * d_1$	= 4.4 mm

### Belastung

Bemessungskraft $F_{Ed} =$		10.00 kN
Belastung Gebrauchstauglichkeit $F_{Ed,ser} =$		6.70 kN

Winkel Kraft- / Faserrichtung  $\alpha =$  0 °

### Berechnung Tragwiderstand

#### Parameter

Lochleibungsfestigkeiten:

$f_{h,1,0,k} =$	$0.082 * (1 - 0.01 * d_{ef}) * \rho_{k,1}$		= 27.44 N/mm <sup>2</sup>
$f_{h,2,0,k} =$	$0.082 * (1 - 0.01 * d_{ef}) * \rho_{k,2}$		= 27.44 N/mm <sup>2</sup>
$f_{h,2,90,k} =$	$\text{WENN}(\text{Mat}_2 = \text{"Laubholz"}; \frac{f_{h,2,0,k}}{0.9 + 0.015 * d_{ef}}; \frac{f_{h,2,0,k}}{1.35 + 0.015 * d_{ef}})$		= 19.38 N/mm <sup>2</sup>
Holz1 $f_{h,1,k} =$	$f_{h,1,0,k}$		= 27.44 N/mm <sup>2</sup>
Holz2 $f_{h,2,k} =$	$f_{h,2,0,k} - \frac{\alpha}{90} * (f_{h,2,0,k} - f_{h,2,90,k})$		= 27.44 N/mm <sup>2</sup>
Hilfswert $\beta_f =$	$f_{h,2,k} / f_{h,1,k} = 27.44 / 27.44$		= 1.00

Charakteristische Zugfestigkeit der Schraube (Festigkeitsklasse 4.6):

$f_{u,k} =$	TAB("SIA263/Stahl"; fu; S=4.6)		= 400 N/mm <sup>2</sup>
-------------	--------------------------------	--	-------------------------

Charakteristische Wert des Fließmoments im Gewindebereich gemäss DIN 1052: 2008\_12.6(6):

$M_{u,k} =$	$0.15 * f_{u,k} * d^{2.6}$		= 6329 Nmm
-------------	----------------------------	--	------------

Holzicken und Einschraubtiefen:

Minimale Holzdicke $t_{min} =$	$4 * d$		= 24.0 mm $\geq$ 24
Erforderliche Holzdicke $t_{1,erf} =$	$1.15 * \left( 2 * \sqrt{\frac{\beta_f}{1 + \beta_f}} + 2 \right) * \sqrt{\frac{M_{u,k}}{f_{h,1,k} * d_{ef}}}$		= 28.4 mm
Effektive Holzdicke $t_1 =$	$t_1$		= 60 mm $\geq$ $t_{min}$
Erforderliche Einschraubtiefe $s_{erf} =$	$1.15 * \left( 2 * \sqrt{\frac{1}{1 + \beta_f}} + 2 \right) * \sqrt{\frac{M_{u,k}}{f_{h,2,k} * d_{ef}}}$		= 28.4 mm
Minimale Einschraubtiefe $s_{min} =$	$6 * d$		= 36 mm
Effektive Einschraubtiefe $s =$	$l - t_1$		= 20 mm $\geq$ $s_{min}$





Werden die minimalen Holzicken resp. Einschraubtiefen (4d resp. 6d) nicht unterschritten, darf der Tragwiderstand proportional abgemindert werden. (Tabelle 30 Fussnote 1 und Tabelle 33 Fussnote 2)

$$\text{Abminderungsfaktor } k_{\text{Abm}} = \text{MIN}(t_1/t_{1,\text{erf}}; s/s_{\text{erf}}; 1) = 0.70$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta} = k_{\text{Abm}} * \sqrt{\frac{4 * \beta_f}{1 + \beta_f}} = 0.99$$

$$\text{Fixer Hilfswert } k_{\alpha} = 0.73$$

### Tragwiderstand der Verbindung Ohne Berücksichtigung der Seilwirkung

**Gewählt: 4 Reihen à 4 Schrauben = 16 Schrauben 6 x 120 mm**

$$\text{Gesamtanzahl Schrauben } n_{\text{tot}} = 16$$

$$\text{Anzahl Schraube in Faserrichtung hintereinander } n = 4$$

Minimale Abstand der Schrauben untereinander in Faserrichtung:

$$\parallel \text{ zur Faserrichtung, untereinander } a_1 = 7 * d = 42 \text{ mm}$$

$$\text{Gewählter Abstand untereinander in Faserrichtung } a_{11} = 42 \text{ mm} \geq a_1$$

$$\text{massgebender Winkel Kraft-Faserrichtung } \gamma = 0^\circ$$

Bei unterschiedlichen Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung ist der Reduktionsbeiwert  $k_{\text{red}}$  für alle Holzteile einzeln zu bestimmen. Für die Ermittlung des Tragwiderstands der Verbindung ist der kleinste Wert von  $k_{\text{red}}$  einzusetzen (SIA 265 6.1.4.2).

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{\text{red}} = \text{WENN}(n=1;1;\text{MIN}(n^{-0.1} * \sqrt[4]{\frac{a_{11}}{10*d} * \frac{90-\gamma}{90} + \frac{\gamma}{90}}; 1)) = 0.80$$

$$\text{Tragwiderstand } R_{\text{d,Absch}} = \eta_w * \eta_t * k_{\alpha} * k_{\text{red}} * n_{\text{tot}} * k_{\beta} * \sqrt{M_{\text{u,k}} * f_{\text{h},1,\text{k}} * d_{\text{ef}}} / 1000 = 8.09 \text{ kN}$$

### Anteil der Seilwirkung der Schrauben $\Delta R_{\text{d,Seil}}$

Die Seilwirkung darf nur berücksichtigt werden, wenn  $l_{\text{ef}} \geq 6d$ . Bei Sechskantschrauben (Teilgewinde) ist die wirksame Gewindelänge  $l_{\text{ef}}$  nur im Holz 2 anzusetzen. Im Holz 1 kann also nur der Kopfdurchziehewiderstand  $R_{\text{ax,head,d}}$  angesetzt werden. Massgebend ist der Minimalwert der beiden.

$$\text{Bedingung minimale effektive Gewindelänge } k_{l,\text{ef}} = \text{WENN}(l_{\text{ef}} < 6*d; 0; 1) = 0$$

Charakteristischen Wert der Ausziehfestigkeit pauschal nach SIA 265\_6.5.2.2 (Minimalwert)

$$\text{Ausziehfestigkeit } f_{\text{ax,k}} = 70 * 10^{-6} * \rho_{\text{k},2}^2 = 8.57 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Fixer Faktor } k_{\alpha} = 0.62$$

- Für  $\beta = 90^\circ$

$$\text{Scherfestigkeit } f_{\text{v},\alpha,\text{d}} = \frac{k_{\alpha} * f_{\text{ax,k}}}{\pi * ((\sin(90))^2 + 1.2 * (\cos(90))^2)} = 1.69 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausziehewiderstand } R_{\text{ax},2,\text{d}} = k_{l,\text{ef}} * n_{\text{tot}}^{0.9} * \pi * d * l_{\text{ef}} * f_{\text{v},\alpha,\text{d}} / 10^3 = 0.00 \text{ kN}$$



Bei Schraube mit Schaft muss das Durchziehen des Schraubenkopfs bzw. der Unterlagscheibe überprüft werden. Für den charakteristischen Kopfdurchzieparameter von Sechskantschrauben kann ein Mindestwert von  $f_{head,k} = 60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_a^2$  angenommen werden (SIA 265\_6.5.2.2 mit  $\rho_a = 350 \text{ N/mm}^2$ )

$$\text{Kopfdurchziehparameter } f_{head,k} = 60 \cdot (10)^{-6} \cdot 350^2 = 7.35 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Unterlagscheibe vorhanden US} = \text{GEW}(\text{"Abfrage/JN"; JN; }) = \text{Ja}$$

$$\text{Aussen-Ø Unterlagscheibe } d_{h,1} = 21 \text{ mm}$$

$$\text{Schraubenkopfdurchmesser } d_{h,2} = \text{TAB}(\text{"Verbindungsmitel/Schraube"; S; D=d}) = 10 \text{ mm}$$

$$\text{massgebender Durchmesser } d_h = \text{WENN}(\text{US="Ja"; } d_{h,1}; d_{h,2}) = 21 \text{ mm}$$

$$\text{Kopfdurchziehwiderstand } R_{ax,head,d} = k_\alpha \cdot n_{tot}^{0.9} \cdot f_{head,k} \cdot d_h^2 \cdot \left(\frac{\rho_{k,1}}{350}\right)^{(0.8)} / 10^3 = 24.37 \text{ kN}$$

Massgebender Bemessungswert des Ausziehwiderstandes für die Seilwirkung  $\Delta R_{d,Seil}$ :

$$R_{ax,d} = \eta_w \cdot \eta_t \cdot \text{MIN}(R_{ax,2,d}; R_{ax,head,d}) = 0.00 \text{ kN}$$

Anteil zur Berücksichtigung der Seilwirkung  $\Delta R_{d,Seil}$ :

$$\Delta R_{d,Seil} = \text{MIN}(0.25 \cdot R_{ax,d}; 1.0 \cdot R_{d,Absch}) = 0.00 \text{ kN}$$

### Tragwiderstand der Verbindung mit Berücksichtigung der Seilwirkung

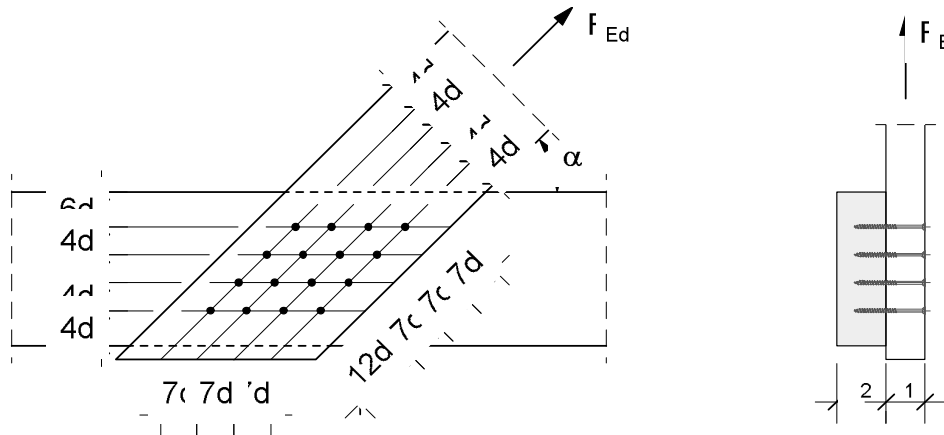
$$R_{d,Verb} = R_{d,Absch} + \Delta R_{d,Seil} = 8.09 \text{ kN}$$

### Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{Ed}}{R_{d,Verb}} = \frac{10.00}{8.09} = 1.24 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis nicht erfüllt !}$$

### Minimale Abstände (SIA 265 Tabelle 29)



zur Faserrichtung, untereinander	$a_1 = 7 \cdot d$	= 42.0 mm
zur Faserrichtung, beanspr. Rand	$a_{1,b} = 12 \cdot d$	= 72.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, untereinander	$a_2 = 4 \cdot d$	= 24.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand	$a_{2,u} = 4 \cdot d$	= 24.0 mm
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand	$a_{2,b} = 6 \cdot d$	= 36.0 mm

Kontrolle Breite Holz1  $k_1$ :  $2 \cdot a_{2,u} + \left(\frac{n_{tot}}{n} - 1\right) \cdot a_2 = 120 \text{ mm} \leq h_1$

Kontrolle Breite Holz2  $k_2$ : WENN( $\alpha=0$ ;  $k_1$ ;  $a_{2,u} + a_{2,b} + (n - 1) \cdot a_2 = 120 \text{ mm} \leq h_2$ )

### Steifigkeit der Verbindung

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf, elastische Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmittel kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Verschiebungsmodul pro Schraube:

$$\text{Verschiebungsmodul } k_{ser} = \eta_{w,ser} \cdot \left(3 - \frac{\alpha}{90} \cdot 1.5\right) \cdot \rho_{k,2}^{0.5} \cdot d_{ef}^{1.7} / 1000 = 0.70 \text{ kN/mm}$$

$$\text{Kraft pro Schraube } F_{N,ser} = \frac{F_{Ed,ser}}{n_{tot}} = \frac{6.70}{16} = 0.42 \text{ kN}$$

$$\text{Elastische Verschiebung } \delta_{el} = \frac{F_{N,ser}}{k_{ser}} = \frac{0.42}{0.70} = 0.60 \text{ mm}$$

$$\text{Kriechzahl } \varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"; Kz; GR=Mat}_2\text{; FK=KL}) = 0.60$$

$$\text{Langzeitverschiebung } \delta_{\infty} = \delta_{el} \cdot (1 + \varphi) = 1.0 \text{ mm}$$

**Federsteifigkeit des Anschlusses:**

$$k = \frac{F_{Ed,ser} \cdot 1000}{\delta_{el}} = \frac{6.70 \cdot 1000}{0.60} = 11167 \text{ kN/m}$$



## Nachweis Holz 1 auf Zug

Bei Schrauben mit Vorbohrung müssen Schraubenlöcher als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265\_6.1.1.8). Zu berücksichtigende Querschnittsverminderung  $\Rightarrow$  siehe SIA 265\_6.1.1.8, Figur 24:

$$\begin{aligned} \text{Anzahl Schrauben für Querschnittsverminderung } S &= 4 \\ \text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} &= t_1 \cdot (h_1 - S \cdot d) = 6960 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\begin{aligned} \text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} &= \frac{F_{\text{Ed}} \cdot 10^3}{A_{\text{netto}}} = 1.44 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,1} &= \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; ft0d; FK=FK}_1) = 8.00 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Reduktion der Festigkeit um ein Drittel zur näherungsweise Berücksichtigung der Zustmomente bei einseitig beanspruchten Bauteilen (SIA 265-6.1.1.10)

$$\text{reduzierte Zugfestigkeit } f_{t,0,d,1,\text{red}} = \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d,1} \cdot \eta_w \cdot \eta_t = 5.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d,1,\text{red}}} = \frac{1.44}{5.33} = 0.27 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

## Nachweis Holz 2 auf zug

Bei Schrauben mit Vorbohrung müssen Schraubenlöcher als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265\_6.1.1.8). Zu berücksichtigende Querschnittsverminderung  $\Rightarrow$  siehe SIA 265\_6.1.1.8, Figur 24:

$$\begin{aligned} \text{Anzahl Schrauben für Querschnittsverminderung } S &= 4 \\ \text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} &= t_2 \cdot (h_2 - S \cdot d) = 9280 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\begin{aligned} \text{Zugkraft } F_{\text{Ed},2} &= F_{\text{Ed}} \cdot \cos(\alpha) = 10.00 \cdot \cos(0) = 10.00 \text{ kN} \\ \text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d,2} &= \frac{F_{\text{Ed},2} \cdot 10^3}{A_{\text{netto}}} = 1.08 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,2} &= \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; ft0d; FK=FK}_2) = 8,0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Reduktion der Festigkeit um ein Drittel zur näherungsweise Berücksichtigung der Zusatzmomente bei einseitig beanspruchten Bauteilen (SIA 265-6.1.1.10)

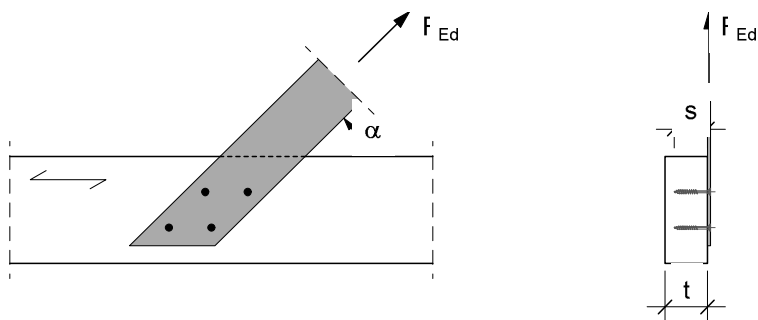
$$\text{reduzierte Zugfestigkeit } f_{t,0,d,2,\text{red}} = \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d,2} \cdot \eta_w \cdot \eta_t = 5.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d,2}}{f_{t,0,d,2,\text{red}}} = \frac{1.08}{5.33} = 0.20 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

Je nach Situation sind weitere Nachweise für das Holz 2 zu erbringen (Biegung mit Normalkraft, Schub, usw).

### Sechskantschraube Abscheren Stahl-Holz mit Seilwirkung



#### Voraussetzungen

- Tragwiderstand  $R_{d,verb}$  einer einschittigen Schraubenverbindung gemäss SIA 265 Anhang A.2
- Minimale Festigkeitsklasse C24 oder GL24k
- Holzschrauben der Festigkeitsklasse 4.6 ( $f_{u,k} = 400\text{N/mm}^2$ ) mit einem geschnittenen Gewinde nach DIN 7998: Der Schaftdurchmesser entspricht dem grössten Aussen-Querschnittsdurchmesser des Gewindes.
- Für diese Schrauben ist eine **Vorbereitung erforderlich**. Die Vorbohrung muss dem Schaftdurchmesser entsprechen und in der Tiefe maximal die Schaftlänge plus 1/3 der Gewindelänge (SIA 265\_8.5.7)
- Schraubengeometrie von Schlüsselschrauben nach DIN 571 mit einer wirksamen Gewindelänge  $l_{ef} \geq 0.6l$  und  $l_{ef} \geq 6d$ .

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,ser}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Holz

Breite t =	120 mm		
Höhe h =	140 mm		
Material Mat:	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Nadelholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=Mat)	=	C24
Rohdichte $\rho_k$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK)	=	350 kg/m <sup>3</sup>

#### Stahlblech

Blechedicke $t_{Blech}$ =	2.5 mm		
Blechhöhe $h_{Blech}$ =	120 mm		
Stahlsorte St =	GEW("SIA263/Stahl"; S; )	=	S235
Fließgrenze $f_y$ =	TAB("SIA263/Stahl"; $f_y$ ; S=St)	=	235 N/mm <sup>2</sup>
Zugfestigkeit $f_u$ =	TAB("SIA263/Stahl"; $f_u$ ; S=St)	=	360 N/mm <sup>2</sup>



### Schraube

Schraubenlänge l =		120 mm
Schraubendurchmesser d =	GEW("Verbindungsmittel/Schraube"; D; )	= 6 mm
Wirksame Gewindelänge l <sub>ef</sub> =	MIN(0.6 * l; t)	= 72 mm
Gewindekerndurchmesser d <sub>1</sub> nach DIN 571:		
d <sub>1</sub> =	TAB("Verbindungsmittel/Schraube"; D1; D=d)	= 4.0 mm
Rechnerisch wirksamer Schraubendurchmesser d <sub>ef</sub> nach SIA 265_6.5.2.5:		
d <sub>ef</sub> =	1.1 * d <sub>1</sub>	= 4.4 mm

### Belastung

Bemessungskraft F <sub>Ed</sub> =	15.00 kN
Winkel Kraft- / Faserrichtung α =	0 °

### Berechnung Tragwiderstand

#### Parameter

Lochleibungsfestigkeiten:

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d_{ef}) * \rho_k = 27.44 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,90,k} = \text{WENN}(\text{Mat}="Laubholz"; \frac{f_{h,0,k}}{0.9 + 0.015 * d_{ef}}; \frac{f_{h,0,k}}{1.35 + 0.015 * d_{ef}}) = 19.38 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,k} = f_{h,0,k} * \frac{\alpha}{90} * (f_{h,0,k} - f_{h,90,k}) = 27.44 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristische Zugfestigkeit der Schraube (Festigkeitsklasse 4.6):

$$f_{u,k} = \text{TAB}("SIA263/Stahl"; f_u; S=4.6) = 400 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristische Wert des Flieissmoments im Gewindebereich gemäss DIN 1052: 2008\_12.6(6):

$$M_{u,k} = 0.15 * f_{u,k} * d^{2.6} = 6329 \text{ Nmm}$$

Einschraubtiefen:

$$\text{Erforderliche Einschraubtiefe } s_{\text{erf}} = 1.15 * (2 + \sqrt{2}) * \sqrt{\frac{M_{u,k}}{f_{h,k} * d_{ef}}} = 28.4 \text{ mm}$$

$$\text{Minimale Einschraubtiefe } s_{\text{min}} = 6 * d = 36 \text{ mm}$$

$$\text{Effektive Einschraubtiefe } s = t - t_{\text{Blech}} = 118 \text{ mm} \geq s_{\text{min}}$$

Wird die minimale Einschraubtiefe von 6d nicht unterschritten, darf der Tragwiderstand proportional abgemindert werden. (Tabelle 30 Fussnote 1)

$$\text{Abminderungsfaktor } k_{\text{Abm}} = \text{MIN}(s / s_{\text{erf}}; 1) = 1.00$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta} = k_{\text{Abm}} * \sqrt{2} = 1.41$$

$$\text{Fixer Hilfswert } k_{\alpha} = 0.73$$



### Tragwiderstand der Verbindung Ohne Berücksichtigung der Seilwirkung

**Gewählt: 4 Reihen à 4 Schrauben = 16 Schrauben 6 x 120 mm**

Gesamtanzahl Schrauben  $n_{tot} = 16$

Anzahl Schraube in Faserrichtung hintereinander  $n = 4$

Minimale Abstand der Schrauben untereinander in Faserrichtung:

|| zur Faserrichtung, untereinander  $a_1 = 7 \cdot d = 42 \text{ mm}$

Gewählter Abstand untereinander in Faserrichtung  $a_{11} = 42 \text{ mm} \geq a_1$

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{red} = \text{WENN}(n=1;1; \text{MIN}(n^{-0.1} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_{11}}{10 \cdot d}} \cdot \frac{90-\alpha}{90} + \frac{\alpha}{90}; 1)) = 0.80$$

$$\text{Tragwiderstand } R_{d,Absch} = \eta_w \cdot \eta_t \cdot k_\alpha \cdot k_{red} \cdot n_{tot} \cdot k_\beta \cdot \sqrt{M_{u,k} \cdot f_{h,k} \cdot d_{ef}} / 1000 = 11.52 \text{ kN}$$

### Anteil der Seilwirkung der Schrauben $\Delta R_{d,Seil}$

Die Seilwirkung darf nur berücksichtigt werden, wenn  $l_{ef} \geq 6d$ .

$$\text{Bedingung minimale effektive Gewindelänge } k_{l,ef} = \text{WENN}(l_{ef} < 6 \cdot d; 0; 1) = 1$$

Charakteristischen Wert der Ausziehfestigkeit pauschal nach SIA 265\_6.5.2.2

$$\text{Ausziehfestigkeit } f_{ax,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 8.57 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Fixer Faktor } k_\alpha = 0.62$$

- Für  $\beta = 90^\circ$

$$\text{Scherfestigkeit } f_{v,\alpha,d} = \frac{k_\alpha \cdot f_{ax,k}}{\pi \cdot ((\sin(90))^2 + 1.2 \cdot (\cos(90))^2)} = 1.69 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausziehwiderstand } R_{ax,d} = k_{l,ef} \cdot n_{tot}^{0.9} \cdot \pi \cdot d \cdot l_{ef} \cdot f_{v,\alpha,d} / 10^3 = 27.81 \text{ kN}$$

Anteil zur berücksichtigung der Seilwirkung  $\Delta R_{d,Seil}$ :

$$\Delta R_{d,Seil} = \text{MIN}(0.25 \cdot R_{ax,d}; 1.0 \cdot R_{d,Absch}) = 6.95 \text{ kN}$$

### Tragwiderstand der Verbindung mit Berücksichtigung der Seilwirkung

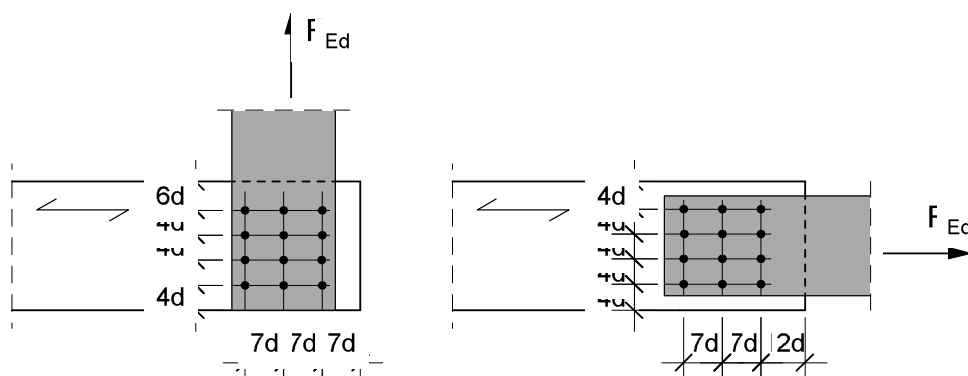
$$R_{d,Verb} = R_{d,Absch} + \Delta R_{d,Seil} = 18.47 \text{ kN}$$

### Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{Ed}}{R_{d,Verb}} = \frac{15.00}{18.47} = 0.81 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Minimale Abstände (SIA 265 Tabelle 29)



zur Faserrichtung, untereinander $a_1 =$	$7 \cdot d$	$= 42.0 \text{ mm}$
zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{1,b} =$	$12 \cdot d$	$= 72.0 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, untereinander $a_2 =$	$4.0 \cdot d$	$= 24.0 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand $a_{2,u} =$	$4.0 \cdot d$	$= 24.0 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b} =$	$6 \cdot d$	$= 36.0 \text{ mm}$

Kontrolle Breite Holz1  $k_1$ :  $2 \cdot a_{2,u} + \left(\frac{n_{\text{tot}}}{n} - 1\right) \cdot a_2 = 120 \text{ mm} \leq h_1$

Kontrolle Breite Holz2  $k_2$ : WENN( $\alpha=0$ ;  $k_1$ ;  $a_{2,u} + a_{2,b} + (n-1) \cdot a_2$ )  $= 120 \text{ mm} \leq h_2$

### Steifigkeit der Verbindung

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf, elastische Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmittel kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Belastung Gebrauchstauglichkeit  $F_{\text{Ed,ser}} = 10.00 \text{ kN}$

Verschiebungsmodul pro Schraube:

Verschiebungsmodul  $k_{\text{ser}} = \eta_{w,\text{ser}} \cdot \left(3 - \frac{\alpha}{90} \cdot 1.5\right) \cdot \rho_k^{0.5} \cdot d_{\text{ef}}^{1.7} / 1000 = 0.70 \text{ kN/mm}$

Kraft pro Schraube  $F_{\text{N,ser}} = \frac{F_{\text{Ed,ser}}}{n_{\text{tot}}} = \frac{10.00}{16} = 0.63 \text{ kN}$

Elastische Verschiebung  $\delta_{\text{el}} = \frac{F_{\text{N,ser}}}{k_{\text{ser}}} = \frac{0.63}{0.70} = 0.90 \text{ mm}$

Kriechzahl  $\varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"}; \text{Kz}; \text{GR=Mat}; \text{FK=KL}) = 0.60$

Langzeitverschiebung  $\delta_{\infty} = \delta_{\text{el}} \cdot (1 + \varphi) = 1.4 \text{ mm}$

**Federsteifigkeit des Anschlusses:**

$k = \frac{F_{\text{Ed,ser}} \cdot 1000}{\delta_{\text{el}}} = \frac{10.00 \cdot 1000}{0.90} = 11111 \text{ kN/m}$





## Nachweis Holz auf Zug

Bei Schrauben mit Vorbohrung müssen Schraubenlöcher als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265\_6.1.1.8). Zu berücksichtigende Querschnittsverminderung  $\Rightarrow$  siehe SIA 265\_6.1.1.8, Figur 24:

$$\begin{aligned} \text{Anzahl Schrauben für Querschnittsverminderung } S &= 4 \\ \text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} &= t \cdot (h - S \cdot d) = 13920 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\begin{aligned} \text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} &= \frac{F_{\text{Ed}} \cdot \cos(\alpha) \cdot 10^3}{A_{\text{netto}}} = 1.08 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,1} &= \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; } ft0d; \text{FK=FK}) = 8.0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Reduktion der Festigkeit um ein Drittel zur näherungsweise Berücksichtigung der Zusatzmomente bei einseitig beanspruchten Bauteilen (SIA 265-6.1.1.10)

$$\text{reduzierte Zugfestigkeit } f_{t,0,d,1,\text{red}} = \frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d,1} \cdot \eta_w \cdot \eta_t = 5.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d,1,\text{red}}} = \frac{1.08}{5.33} = 0.20 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

## Nachweis Stahlblech

### Beanspruchung im Bruttoquerschnitt

$$\begin{aligned} \text{Bruttoquerschnitt } A_{\text{Blech}} &= t_{\text{Blech}} \cdot h_{\text{Blech}} = 300 \text{ mm}^2 \\ \text{Zugkraftwiderstand } N_{\text{Rd,brutto}} &= \frac{f_y \cdot A_{\text{Blech}}}{1.05 \cdot 10^3} = 67.1 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}}{N_{\text{Rd,brutto}}} = \frac{15.00}{67.1} = 0.22 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Beanspruchung im Nettoquerschnitt

$$\begin{aligned} \text{Loch } d_0 &= d + 0.5 = 6.5 \text{ mm} \\ \text{Nettoquerschnitt } A_{\text{Blech,netto}} &= t_{\text{Blech}} \cdot (h_{\text{Blech}} - S \cdot d_0) = 2.5 \cdot (120 - 4 \cdot 6.5) = 235 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Zugkraftwiderstand } N_{\text{Rd,netto}} = \frac{0.9 \cdot f_u \cdot A_{\text{Blech,netto}}}{1.25 \cdot (10)^3} = 60.9 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}}{N_{\text{Rd,netto}}} = \frac{15.00}{60.9} = 0.25 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



## Lochleibungswiderstand

Randabstand  $e_1 =$  25 mm

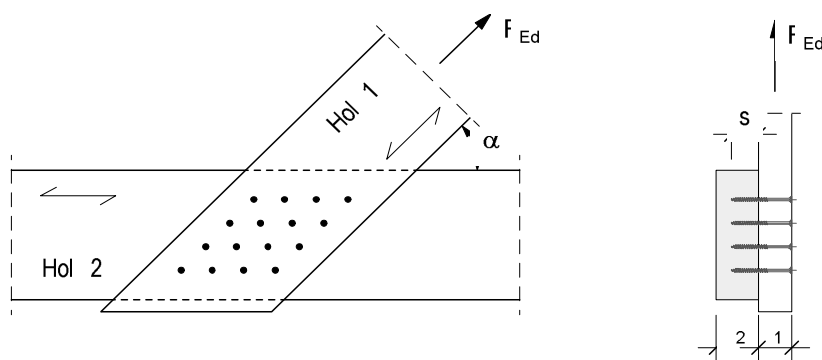
$$F_{b,Rd} = \text{MIN}\left(0.85 \cdot \frac{e_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t_{\text{Blech}}}{d_0 \cdot 1.25 \cdot 10^3}; 2.4 \cdot \frac{f_u \cdot d \cdot t_{\text{Blech}}}{1.25 \cdot 10^3}\right) = 10.4 \text{ kN}$$

$$\text{Kraft pro Stabdübel } F_{Ed,SD} = \frac{F_{Ed}}{n_{\text{tot}}} = \frac{15.00}{16} = 0.9 \text{ kN}$$

**Ausnutzung:**  $\frac{F_{Ed,SD}}{F_{b,Rd}} = \frac{0.9}{10.4} = 0.09 < 1$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Sechskantschraube Abscheren ohne Seilwirkung



#### Voraussetzungen

- Minimale Festigkeitsklasse C24 oder GL24k
- Holzschrauben der Festigkeitsklasse 4.6 ( $f_{u,k} = 400\text{N/mm}^2$ ) mit einem geschnittenen Gewinde nach DIN 7998: Der Schaftdurchmesser entspricht dem grössten Aussen-Querschnittsdurchmesser des Gewindes.
- Für diese Schrauben ist eine **Vorbereitung erforderlich**. Die Vorbohrung muss dem Schaftdurchmesser entsprechen und in der Tiefe maximal die Schaftlänge plus 1/3 der Gewindelänge (SIA 265\_8.5.7)
- Schraubengeometrie von Sechskantschrauben nach DIN 571 mit einer wirksamen Gewindelänge  $l_{ef} \geq 0.6l$  und  $l_{ef} \geq 6d$ .

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,ser}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Holz 1

Breite $t_1$ =	60 mm
Höhe $h_1$ =	140 mm
Material $Mat_1$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_1$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=Mat <sub>1</sub> ) = C24
Rohdichte $\rho_{k,1}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK <sub>1</sub> ) = 350 kg/m <sup>3</sup>

#### Holz 2

Breite $t_2$ =	80 mm
Höhe $h_2$ =	140 mm
Material $Mat_2$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_2$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=Mat <sub>2</sub> ) = C24
Rohdichte $\rho_{k,2}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK <sub>2</sub> ) = 350 kg/m <sup>3</sup>



### Schraube

Schraubendurchmesser  $d =$  GEW("Verbindungsmittel/Schraube"; D; ) = 6,0 mm

Schraubenlänge  $l =$  120 mm

Wirksame Gewindelänge  $l_{ef} = \text{MIN}(0.6 * l; l - t_1) =$  60 mm

### Belastung

Bemessungskraft Tragsicherheit  $F_{Ed} =$  15.00 kN

Bemessungskraft Gebrauchstauglichkeit  $F_{Ed,ser} =$  10.00 kN

Anschlusswinkel  $\alpha =$  0 °

### Berechnung Tragwiderstand

#### Tragwiderstand pro Schraube und Scherfuge

Massgebende Rohdichte  $\rho_k = \text{MIN}(\rho_{k,1}; \rho_{k,1}) =$  350 kg/m<sup>3</sup>

Erforderliche Holzdicke bzw. Einschraubtiefe  $l_{ef} = 9 * d =$  54.0 mm

Minimale Holzdicke  $t_{min} =$  4 \* d = 24.0 mm

Effektive Holzdicke  $t = \text{MIN}(t_1; t_2) =$  60.0 mm  $\geq t_{min}$

Minimale Einschraubtiefe  $s_{min} =$  6 \* d = 36 mm

Effektive Einschraubtiefe  $s = l - t_1 =$  60 mm  $\geq s_{min}$

Die erforderliche Holzdicke resp. Einschraubtiefe beträgt 9d. Werden die Minimalwerte (4d resp. 6d) nicht unterschritten, darf der Tragwiderstand proportional abgemindert werden. (Tabelle 30 Fussnote 1 und Tabelle 33 Fussnote 2)

Abminderungsfaktor  $\beta = \text{MIN}(\text{MIN}(t;s)/(9 * d); 1) =$  1.00

SIA 265\_Tabelle 30 mit Schnittebene im Gewinde:

Tragwiderstand  $R_{0,d} = 2.2 * \rho_k^{0.5} * d^{1.8} * \eta_w * \eta_t / 10^3 =$  1.04 kN

Tragwiderstand  $R_{90,d} = 1.9 * \rho_k^{0.5} * d^{1.8} * \eta_w * \eta_t / 10^3 =$  0.89 kN

Tragwiderstand  $R_d = R_{0,d} * \frac{\alpha}{90} * (R_{0,d} - R_{90,d}) =$  1.04 kN

#### Tragwiderstand der Verbindung

**Gewählt: 4 Reihen à 4 Schrauben = 16 Schrauben 6 x 120 mm**

Gesamtanzahl Schrauben  $n_{tot} =$  16

Anzahl Schraube in Faserrichtung hintereinander  $n =$  4

Minimale Abstand der Schrauben untereinander in Faserrichtung:

|| zur Faserrichtung, untereinander  $a_1 = 6 * d =$  36.0 mm

Gewählter Abstand untereinander in Faserrichtung  $a_{1,1} =$  36 mm  $\geq a_1$

massgebender Winkel Kraft-Faserrichtung  $\gamma = 0^\circ$

Bei unterschiedlichen Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung ist der Reduktionsbeiwert  $k_{red}$  für alle Holzteile einzeln zu bestimmen. Für die Ermittlung des Tragwiderstands der Verbindung ist der kleinste Wert von  $k_{red}$  einzusetzen (SIA 265 6.1.4.2).

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{red} = \text{WENN}(n=1;1;\text{MIN}(n^{-0.1} * \sqrt[4]{\frac{a_{11}}{10*d}} * \frac{90-\gamma}{90} + \frac{\gamma}{90};1)) = 0.77$$

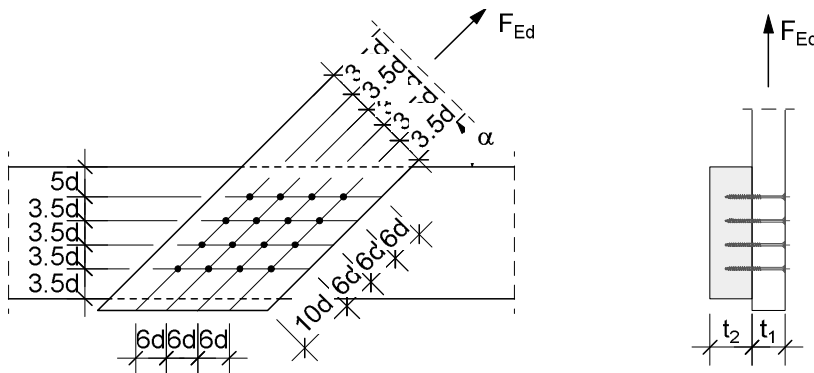
$$\text{Tragwiderstand } R_{d,Verb} = k_{red} * n_{tot} * \beta * R_d = 0.77 * 16 * 1.00 * 1.04 = 12.81 \text{ kN}$$

### Nachweis

**Ausnutzung:**  $\frac{F_{Ed}}{R_{d,Verb}} = \frac{15.00}{12.81} = 1.17 \leq 1$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis nicht erfüllt !**

### Minimale Abstände



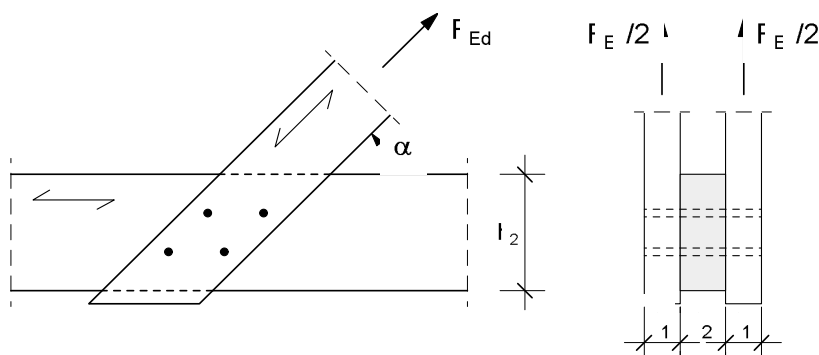
zur Faserrichtung, untereinander $a_1 =$	$6*d$	$= 36.0 \text{ mm}$
zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{1,b} =$	$10*d$	$= 60.0 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, untereinander $a_2 =$	$3.5*d$	$= 21.0 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand $a_{2,u} =$	$3.5*d$	$= 21.0 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b} =$	$5*d$	$= 30.0 \text{ mm}$

Kontrolle Breite Holz1  $k_1$ :  $2 * a_{2,u} + \left(\frac{n_{tot}}{n} - 1\right) * a_2 = 105 \text{ mm} \leq h_1$

Kontrolle Breite Holz2  $k_2$ :  $\text{WENN}(\alpha=0; k_1; a_{2,u} + a_{2,b} + (n-1) * a_2) = 105 \text{ mm} \leq h_2$

## Kapitel Stabdübel-Verbindung

### Stabdübel Holz-Holz 1



#### Voraussetzungen

- Stabdübel nach SN EN 14592 aus Stahl mit einer Mindestzugfestigkeit  $f_{u,k} = 510 \text{ N/mm}^2$  (S355) und einem Durchmesser  $d$  von 6 mm bis 30 mm
- Der Lochdurchmesser der Stahlteile darf maximal 1 mm grösser sein als der Nenndurchmesser der Stabdübel.
- Holzteile mit Rissen und markhaltiges Holz sind nicht zulässig.
- Die Holzfeuchte darf beim Abbund um nicht mehr als  $\pm 3\%$  vom erwarteten Mittelwert der Ausgleichsfeuchte des Bauteils am Einbauort abweichen.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,s}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Seitenholz

Breite $t_1$ =	70 mm
Höhe $h_1$ =	140 mm

Material $Mat_S$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Brettschichtholz
Festigkeitsklasse $FK_S$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_S$ )	=	GL24h
Rohdichte $\rho_{k,S}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_S$ )	=	380 kg/m <sup>3</sup>

#### Mittelholz

Breite $t_2$ =	100 mm
Höhe $h_2$ =	140 mm

Material $Mat_M$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Brettschichtholz
Festigkeitsklasse $FK_M$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_M$ )	=	GL24h
Rohdichte $\rho_{k,M}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_M$ )	=	380 kg/m <sup>3</sup>

#### Stabdübel

Durchmesser Stabdübel $d$ =	12 mm
Gesamtanzahl $n_{tot}$ =	8



## Belastung

Bemessungskraft Tragsicherheit $F_{Ed}$ =	72.00 kN
Bemessungskraft Gebrauchstauglichkeit $F_{Ed,ser}$ =	55.00 kN
Anschlusswinkel $\alpha$ =	0 °

## Berechnung Tragwiderstand (nach SIA 265 Angang A.1)

### Fixe Werte

Mindestzugfestigkeit $f_{u,k}$ =	510 N/mm <sup>2</sup>
Faktor $k_\alpha$ =	0.73
Anzahl der Scherfugen $p$ =	2

### Charakteristische Lochleibungsfestigkeit

#### Seitenholz:

$$f_{h,1,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_{k,S} = 27.42 \text{ N/mm}^2$$

#### Mittelholz:

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_{k,M} = 27.42 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,90,k} = \text{WENN}(\text{Mat}_S = \text{"Laubholz"}; \frac{f_{h,0,k}}{0.9 + 0.015 * d}; \frac{f_{h,0,k}}{1.35 + 0.015 * d}) = 17.92 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,2,k} = f_{h,0,k} - \frac{\alpha}{90} * (f_{h,0,k} - f_{h,90,k}) = 27.42 \text{ N/mm}^2$$

### SIA 265 - 6.2.1.1

$$\text{Massgebende Lochleibungsfestigkeit } f_{h,k} = f_{h,1,k} = 27.42 \text{ kN}$$

### Erforderliche Holzicken und Hilfswerte

$$\text{Verhältnis Lochleibung } \beta_f = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = 1.00$$

#### Seitenholz:

$$\text{Holzdicke } t_{1,1} = 0.44 * \left( \sqrt{\frac{\beta_f}{1 + \beta_f}} + 1 \right) * \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,1,k}}} * d^{0.8} = 23.6 \text{ mm}$$

$$\text{Holzdicke } t_{1,2} = 1.26 * \left( \sqrt{\frac{\beta_f}{1 + \beta_f}} + 1 \right) * \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,1,k}}} * d^{0.8} = 67.7 \text{ mm}$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 1,1} = 0.6 * \sqrt{\frac{4 * \beta_f}{1 + \beta_f}} = 0.85$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 1,2} = \sqrt{\frac{4 * \beta_f}{1 + \beta_f}} = 1.41$$

#### Mittelholz:

$$\text{Holzdicke } t_{2,2} = 2.52 * \frac{1}{\sqrt{1 + \beta_f}} * \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,2,k}}} * d^{0.8} = 56.10 \text{ mm}$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 2,2} = \sqrt{\frac{4 * \beta_f}{1 + \beta_f}} = 1.41$$



Daraus ergeben sich die effektiven Hilfwerte  $k_{\beta 1}$  und  $k_{\beta 2}$  (SIA 265, A.1 Figur 41)

$$\text{Hilfwerte } k_{\beta 1} = \text{MIN}(k_{\beta 1.1} + (t_1 - t_{1.1}) / (t_{1.2} - t_{1.1}) * (k_{\beta 1.2} - k_{\beta 1.1}); k_{\beta 1.2}) = 1.41$$

$$\text{Hilfwerte } k_{\beta 2} = \text{MIN}(t_2 / t_{2.2} * k_{\beta 2.2}; k_{\beta 2.2}) = 1.41$$

$$\text{massgebendert Hilfwert } k_{\beta} = \text{MIN}(k_{\beta 1}; k_{\beta 2}) = 1.41$$

$$\text{Kontrolle Versagensmodus: } \frac{t_{1,1}}{t_1} = 0.34 \leq 1$$

$$\text{Kontrolle Versagensmodus: } \frac{t_{2,2}}{t_2} = 0.56 \leq 1$$

Falls das Verhältnis  $t_{1,1} / t_1$  resp.  $t_{2,2} / t_2 \leq 1$  handelt es sich um Verbindungen mit **sprödem Verhalten (Modus 1)**. Diese sind wenn möglich zu vermeiden.

### Tragwiderstand der Verbindung

**Gewählt: 2 Reihen à 4 Stabdübel = 8 Stabdübel Ø 8 mm**

$$\begin{aligned} \text{Anzahl Stabdübel in Faserrichtung hintereinander } n &= 4 \\ \text{Abstand Stabdübel untereinander in Faserrichtung } a_1 &= 98 \text{ mm} \end{aligned}$$

Minimale Abstand  $a_1$  der Verbindungsmittel untereinander in Faserrichtung des Holzes:  **$a_1 \geq 7d$**

$$\text{massgebender Winkel Kraft-Faserrichtung } \gamma = 0^\circ$$

Bei unterschiedlichen Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung ist der Reduktionsbeiwert  $k_{red}$  für alle Holzteile einzeln zu bestimmen. Für die Ermittlung des Tragwiderstands der Verbindung ist der kleinste Wert von  $k_{red}$  einzusetzen.

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{red} = \text{WENN}(n=1;1;\text{MIN}(n^{-0.1} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{10*d} * \frac{90-\gamma}{90} + \frac{\gamma}{90}; 1})) = 0.83$$

$$\text{Tragwiderstand } R_{d,Verb} = k_{\alpha} * k_{red} * n_{tot} * p * k_{\beta} * \sqrt{0.3 * f_{u,k} * f_{h,k} * d^{1.8}} / 10^3 = 77.56 \text{ kN}$$

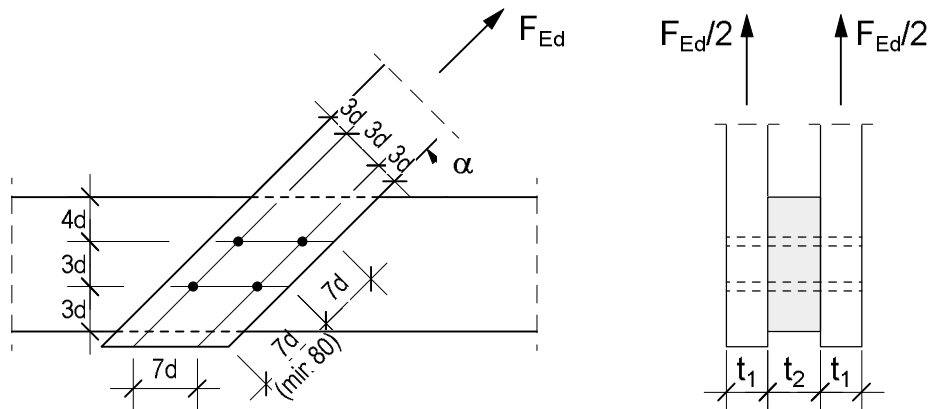
### Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{Ed}}{R_{d,Verb} * \eta_t * \eta_w} = \frac{72.00}{77.56 * 1.0 * 1.0} = 0.93 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt!"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



### Minimale Abstände der Stabdübel



⊥ zur Faserrichtung, untereinander $a_2 =$	$3 \cdot d$	$= 36 \text{ mm}$	
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand $a_{2,u} =$	$3 \cdot d$	$= 36 \text{ mm}$	
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b} =$	$4 \cdot d$	$= 48 \text{ mm}$	
zur Faserrichtung, untereinander $a_1 =$	$7 \cdot d$	$= 84 \text{ mm}$	
zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b} =$	$\text{MAX}(7 \cdot d; 80)$	$= 84 \text{ mm}$	

Kontrolle Breite Seitenholz  $k_1$ :  $2 \cdot a_{2,u} + \left( \frac{n_{\text{tot}}}{n} - 1 \right) \cdot a_2 = 108 \text{ mm} \leq h_1$

Kontrolle Breite Seitenholz  $k_2$ : WENN( $\alpha=0$ ;  $k_1$ ;  $a_{2,u} + a_{2,b} + (n - 1) \cdot a_2$ ) =  $108 \text{ mm} \leq h_2$

### Steifigkeit der Verbindung

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf, elastischer Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmitteln kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Verschiebungsmodul pro Stabdübel und Scherfuge:

Verschiebungsmodul  $k_{\text{ser}} = \eta_{w,s} \cdot \left( 3 - \frac{\alpha}{90} \cdot 1.5 \right) \cdot \rho_{k,M}^{0.5} \cdot d^{1.7} / 1000 = 4.00 \text{ kN/mm}$

Kraft pro Stabdübel  $F_{N,\text{ser}} = \frac{F_{\text{Ed,ser}}}{n_{\text{tot}} \cdot \rho} = \frac{55.00}{8 \cdot 2} = 3.44 \text{ kN}$

Elastische Verschiebung  $\delta_{\text{el}} = \frac{F_{N,\text{ser}}}{k_{\text{ser}}} = \frac{3.44}{4.00} = 0.86 \text{ mm}$

Kriechzahl  $\varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"}; Kz; GR=\text{Mat}_M; FK=KL) = 0.60$

Langzeitverschiebung  $\delta_{\infty} = \delta_{\text{el}} \cdot (1 + \varphi) = 1.4 \text{ mm}$

Federsteifigkeit des Anschlusses:

$k = \frac{F_{\text{Ed,ser}} \cdot 1000}{\delta_{\text{el}}} = \frac{55.00 \cdot 1000}{0.86} = 63953 \text{ kN/m}$



## Nachweis Seitenholz

Die Stabdübelbohrungen müssen als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265-6.1.1.8).

$$\text{Anzahl Stabdübel für Querschnittsverminderung } S = n_{\text{tot}}/n = 2$$

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} = 2 * t_1 * (h_1 - S * d) = 16240 \text{ mm}^2$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} = \frac{F_{\text{Ed}} * 10^3}{A_{\text{netto}}} = 4.43 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,S} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; } ft0d; \text{FK=FK}_S) = 12.0 \text{ N/mm}^2$$

Reduktion der Festigkeit um ein Drittel zur näherungsweise Berücksichtigung der Zustmomente bei einseitig beanspruchten Bauteilen (SIA 265-6.1.1.10 bzw. DIN 11.1.2)

$$\text{reduzierte Zugfestigkeit } f_{t,0,d,S,\text{red}} = \frac{2}{3} * f_{t,0,d,S} = 8.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d,S,\text{red}} * \eta_t * \eta_w} = \frac{4.43}{8.00 * 1.0 * 1.0} = 0.55 \leq 1$$

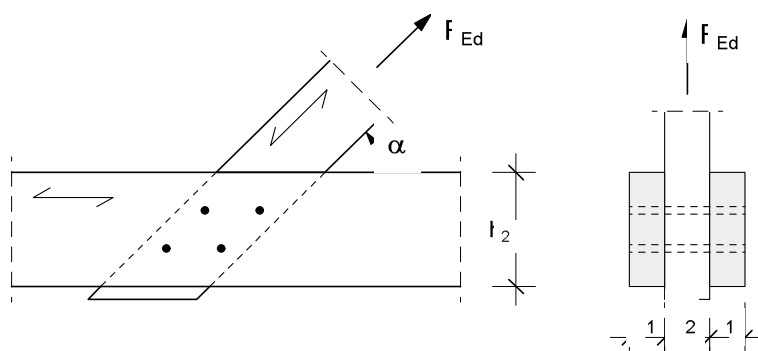
$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

## Bemerkung zur Lagesicherung

In der Regel ist die Lagesicherung der Verbindungsmittel folgendermassen sicherzustellen:

- Pro Verbindung mindestens 4 Stabdübel oder mindestens 1 Stabdübel plus 1 Passschraube.
- Grössere Verbindungen sind konstruktiv mit mehreren Passschrauben zu sichern.
- Bei Verbindungen mit wiederholten Wechsellasten sind alle Stabdübel gegen Herauswandern zu sichern oder als Passschrauben auszuführen.

### Stabdübel Holz-Holz 2



#### Voraussetzungen

- Stabdübel nach SN EN 14592 aus Stahl mit einer Mindestzugfestigkeit  $f_{u,k} = 510 \text{ N/mm}^2$  (S355) und einem Durchmesser  $d$  von 6 mm bis 30 mm
- Der Lochdurchmesser der Stahlteile darf maximal 1 mm grösser sein als der Nenndurchmesser der Stabdübel.
- Holzteile mit Rissen und markhaltiges Holz sind nicht zulässig.
- Die Holzfeuchte darf beim Abbund um nicht mehr als  $\pm 3\%$  vom erwarteten Mittelwert der Ausgleichsfeuchte des Bauteils am Einbauort abweichen.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,s}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Seitenholz

Breite $t_1$ =	70 mm
Höhe $h_1$ =	340 mm
Material $Mat_S$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Nadelholz
Festigkeitsklasse $FK_S$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_S$ ) = C24
Rohdichte $\rho_{k,S}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_S$ ) = 350 kg/m <sup>3</sup>

#### Mittelholz

Breite $t_2$ =	80 mm
Höhe $h_2$ =	160 mm
Material $Mat_M$ :	GEW("SIA265/Holz"; B; ) = Brettschichtholz
Festigkeitsklasse $FK_M$ :	GEW("SIA265/Holz"; FK; B= $Mat_M$ ) = GL24h
Rohdichte $\rho_{k,M}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK= $FK_M$ ) = 380 kg/m <sup>3</sup>

#### Stabdübel

Durchmesser Stabdübel $d$ =	12 mm
Gesamtanzahl $n_{tot}$ =	11



### Belastung

Bemessungskraft Tragsicherheit $F_{Ed}$ =	72.00 kN
Bemessungskraft Gebrauchstauglichkeit $F_{Ed,ser}$ =	55.00 kN
Anschlusswinkel $\alpha$ =	0 °

### Berechnung Tragwiderstand (nach SIA 265 Angang A.1)

#### Fixe Werte

Mindestzugfestigkeit $f_{u,k}$ =	510 N/mm <sup>2</sup>
Faktor $k_\alpha$ =	0.73
Anzahl der Scherfugen $p$ =	2

#### Charakteristische Lochleibungsfestigkeit

##### Seitenholz:

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_{k,S} = 25.26 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,90,k} = \text{WENN}(\text{Mat}_S = \text{"Laubholz"}; \frac{f_{h,0,k}}{0.9 + 0.015 * d}; \frac{f_{h,0,k}}{1.35 + 0.015 * d}) = 16.51 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,0,k} - \frac{\alpha}{90} * (f_{h,0,k} - f_{h,90,k}) = 25.26 \text{ N/mm}^2$$

##### Mittelholz:

$$f_{h,2,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_{k,M} = 27.42 \text{ N/mm}^2$$

SIA 265 - 6.2.1.1

**massgebende Lochleibungsfestigkeit  $f_{h,k} = f_{h,1,k} = 25.26 \text{ N/mm}^2$** 

#### Erforderliche Holzdicke und Hilfswerte

$$\text{Verhältnis Lochleibung } \beta_f = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = 1.09$$

##### Seitenholz:

$$\text{Holzdicke } t_{1,1} = 0.44 * \left( \sqrt{\frac{\beta_f}{1 + \beta_f}} + 1 \right) * \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,1,k}}} * d^{0.8} = 24.9 \text{ mm}$$

$$\text{Holzdicke } t_{1,2} = 1.26 * \left( \sqrt{\frac{\beta_f}{1 + \beta_f}} + 1 \right) * \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,1,k}}} * d^{0.8} = 71.2 \text{ mm}$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 1,1} = 0.6 * \sqrt{\frac{4 * \beta_f}{1 + \beta_f}} = 0.87$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 1,2} = \sqrt{\frac{4 * \beta_f}{1 + \beta_f}} = 1.44$$

##### Mittelholz:

$$\text{Holzdicke } t_{2,2} = 2.52 * \frac{1}{\sqrt{1 + \beta_f}} * \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,2,k}}} * d^{0.8} = 54.88 \text{ mm}$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 2,2} = \sqrt{\frac{4 * \beta_f}{1 + \beta_f}} = 1.44$$



Daraus ergeben sich die effektiven Hilfwerte  $k_{\beta 1}$  und  $k_{\beta 2}$  (SIA 265, A.1 Figur 41)

$$\text{Hilfwerte } k_{\beta 1} = \text{MIN}(k_{\beta 1.1} + (t_1 - t_{1.1}) / (t_{1.2} - t_{1.1}) * (k_{\beta 1.2} - k_{\beta 1.1}); k_{\beta 1.2}) = 1.43$$

$$\text{Hilfwerte } k_{\beta 2} = \text{MIN}(t_2 / t_{2.2} * k_{\beta 2.2}; k_{\beta 2.2}) = 1.44$$

$$\text{massgebendert Hilfwert } k_{\beta} = \text{MIN}(k_{\beta 1}; k_{\beta 2}) = 1.43$$

$$\text{Kontrolle Versagensmodus: } \frac{t_{1,1}}{t_1} = 0.36 \leq 1$$

$$\text{Kontrolle Versagensmodus: } \frac{t_{2,2}}{t_2} = 0.69 \leq 1$$

Falls das Verhältnis  $t_{1,1} / t_1$  resp.  $t_{2,2} / t_2 \leq 1$  handelt es sich um Verbindungen mit **sprödem Verhalten (Modus 1)**. Diese sind wenn möglich zu vermeiden.

### Tragwiderstand der Verbindung

**Gewählt: 2 Reihen à 4 Stabdübel + 1 Reihe à 3 Stabdübel = 11 Stabdübel Ø 12 mm**

$$\begin{aligned} \text{Anzahl Stabdübel in Faserrichtung hintereinander } n &= 4 \\ \text{Abstand Stabdübel untereinander in Faserrichtung } a_1 &= 84 \text{ mm} \end{aligned}$$

Minimale Abstand  $a_1$  der Verbindungsmittel untereinander in Faserrichtung des Holzes:  **$a_1 \geq 7d$**

$$\text{massgebender Winkel Kraft-Faserrichtung } \gamma = 0^\circ$$

Bei unterschiedlichen Winkeln zwischen Kraft- und Faserrichtung ist der Reduktionsbeiwert  $k_{red}$  für alle Holzteile einzeln zu bestimmen. Für die Ermittlung des Tragwiderstands der Verbindung ist der kleinste Wert von  $k_{red}$  einzusetzen.

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{red} = \text{WENN}(n=1;1;\text{MIN}(n^{-0.1} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{10*d} * \frac{90-\gamma}{90} + \frac{\gamma}{90}};1)) = 0.80$$

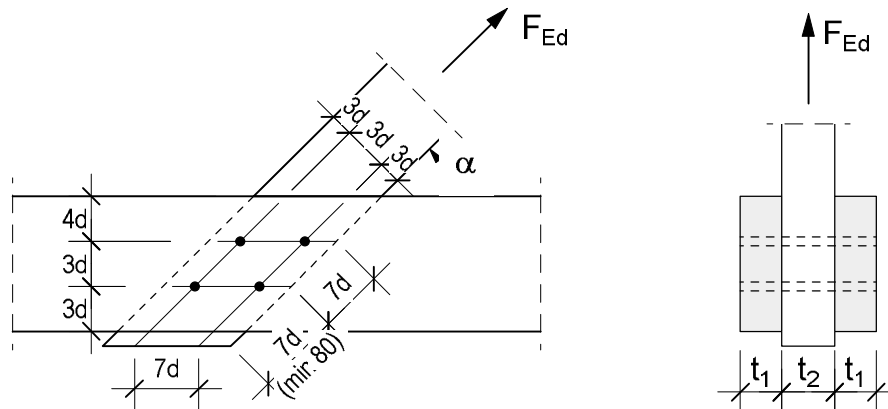
$$\text{Tragwiderstand } R_{d,Verb} = k_{\alpha} * k_{red} * n_{tot} * p * k_{\beta} * \sqrt{0.3 * f_{u,k} * f_{h,k} * d^{1.8}} / 10^3 = 100.06 \text{ kN}$$

### Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{Ed}}{R_{d,Verb} * \eta_t * \eta_w} = \frac{72.00}{100.06 * 1.0 * 1.0} = 0.72 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Minimale Abstände der Stabdübel



⊥ zur Faserrichtung, untereinander $a_2 =$	$3 \cdot d$	$= 36 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand $a_{2,u} =$	$3 \cdot d$	$= 36 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b} =$	$4 \cdot d$	$= 48 \text{ mm}$
zur Faserrichtung, untereinander $a_1 =$	$7 \cdot d$	$= 84 \text{ mm}$
zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b} =$	$\text{MAX}(7 \cdot d; 80)$	$= 84 \text{ mm}$

Kontrolle Breite Seitenholz  $k_1$ :  $2 \cdot a_{2,u} + \left( \frac{n_{\text{tot}}}{n} - 1 \right) \cdot a_2 = 135 \text{ mm} \leq h_1$

Kontrolle Breite Seitenholz  $k_2$ : WENN( $\alpha=0$ ;  $k_1$ ;  $a_{2,u} + a_{2,b} + (n-1) \cdot a_2$ )  $= 135 \text{ mm} \leq h_2$

### Steifigkeit der Verbindung

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf, elastischer Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmitteln kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Verschiebungsmodul pro Stabdübel und Scherfuge:

Verschiebungsmodul  $k_{\text{ser}} = \eta_{w,s} \cdot \left( 3 - \frac{\alpha}{90} \cdot 1.5 \right) \cdot \rho_{k,S}^{0.5} \cdot d^{1.7} / 1000 = 3.83 \text{ kN/mm}$

Kraft pro Stabdübel  $F_{N,\text{ser}} = \frac{F_{\text{Ed,ser}}}{n_{\text{tot}} \cdot \rho} = \frac{55.00}{11 \cdot 2} = 2.50 \text{ kN}$

Elastische Verschiebung  $\delta_{\text{el}} = \frac{F_{N,\text{ser}}}{k_{\text{ser}}} = \frac{2.50}{3.83} = 0.65 \text{ mm}$

Kriechzahl  $\varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"}; Kz; GR=\text{Mat}_S; FK=KL) = 0.60$

Langzeitverschiebung  $\delta_{\infty} = \delta_{\text{el}} \cdot (1 + \varphi) = 1.0 \text{ mm}$

Federsteifigkeit des Anschlusses:

$k = \frac{F_{\text{Ed,ser}} \cdot 1000}{\delta_{\text{el}}} = \frac{55.00 \cdot 1000}{0.65} = 84615 \text{ kN/m}$



## Nachweis Mittelholz

Die Stabdübelbohrungen müssen als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265-6.1.1.8 bzw DIN 11.1.2).

$$\text{Anzahl Stabdübel für Querschnittsverminderung } S = n_{\text{tot}}/n = 3$$

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} = t_2 \cdot (h_2 - S \cdot d) = 9920 \text{ mm}^2$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} = \frac{F_{\text{Ed}} \cdot 10^3}{A_{\text{netto}}} = 7.26 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,M} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; } ft0d; \text{FK=FK}_M) = 12.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d,M} \cdot \eta_t \cdot \eta_w} = \frac{7.26}{12.00 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = 0.60 \leq 1$$

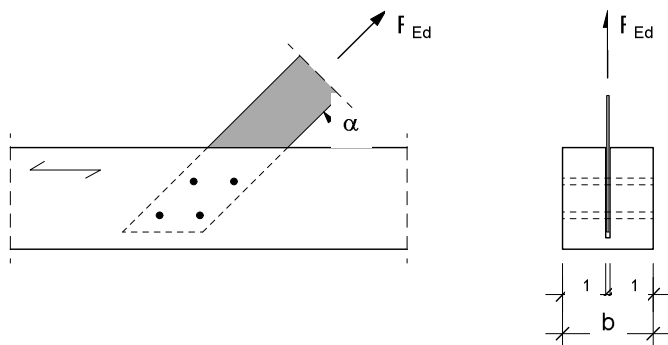
$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

## Bemerkung zur Lagesicherung

In der Regel ist die Lagesicherung der Verbindungsmittel folgendermassen sicherzustellen:

- Pro Verbindung mindestens 4 Stabdübel oder mindestens 1 Stabdübel plus 1 Passschraube.
- Grössere Verbindungen sind konstruktiv mit mehreren Passschrauben zu sichern.
- Bei Verbindungen mit wiederholten Wechsellasten sind alle Stabdübel gegen Herauswandern zu sichern oder als Passschrauben auszuführen.

### Stabdübel Schlitzblech



#### Voraussetzungen

- Stabdübel nach SN EN 14592 aus Stahl mit einer Mindestzugfestigkeit  $f_{u,k} = 510 \text{ N/mm}^2$  (S355) und einem Durchmesser  $d$  von 6 mm bis 30 mm
- Stahlblech mittig angeordnet und ist nach SIA 263 nachzuweisen
- Der Lochdurchmesser der Stahlteile darf maximal 1 mm grösser sein als der Nenndurchmesser der Stabdübel.
- Holzteile mit Rissen und markhaltiges Holz sind nicht zulässig.
- Die Holzfeuchte darf beim Abbund um nicht mehr als  $\pm 3\%$  vom erwarteten Mittelwert der Ausgleichsfeuchte des Bauteils am Einbauort abweichen.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,s}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Holz

Breite $b$ =	140 mm
Höhe $h$ =	180 mm
Schlitzdicke $t_s$ =	6 mm
Holzdicke $t_1$ =	$\frac{b - t_s}{2} = 67 \text{ mm}$

Material Mat:	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Brettschichtholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=Mat)	=	GL24h
Rohdichte $\rho_k$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK)	=	380 kg/m <sup>3</sup>

#### Stabdübel

Durchmesser Stabdübel $d$ =	14 mm
Gesamtanzahl $n_{\text{tot}}$ =	9

#### Belastung

Bemessungskraft Tragsicherheit $F_{Ed}$ =	72.00 kN
Bemessungskraft Gebrauchstauglichkeit $F_{Ed,ser}$ =	55.00 kN
Anschlusswinkel $\alpha$ =	0 °





### Berechnung Tragwiderstand (nach SIA 265 Angang A.1)

#### Fixe Werte

$$\text{Mindestzugfestigkeit } f_{u,k} = 510 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Faktor } k_{\alpha} = 0.73$$

$$\text{Anzahl der Scherfugen } p = 2$$

#### Charakteristische Lochleibungsfestigkeit

$$f_{h,0,k} = 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k = 26.80 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,90,k} = \text{WENN}(\text{Mat}="Laubholz"; \frac{f_{h,0,k}}{0.9 + 0.015 \cdot d}; \frac{f_{h,0,k}}{1.35 + 0.015 \cdot d}) = 17.18 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,k} = f_{h,0,k} - \frac{\alpha}{90} \cdot (f_{h,0,k} - f_{h,90,k}) = 26.80 \text{ N/mm}^2$$

#### Erforderliche Holzdicke und Hilfswerte

$$\text{Holzdicke } t_{1,1} = 0.89 \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}} \cdot d^{0.8}} = 32.06 \text{ mm}$$

$$\text{Holzdicke } t_{1,2} = 2.52 \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}} \cdot d^{0.8}} = 90.79 \text{ mm}$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 1,1} = 1.2 = 1.20$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 1,2} = 2 = 2.00$$

Daraus ergibt sich der effektive Hilfswert  $k_{\beta}$  (SIA 265, A.1 Figur 41)

$$\text{Hilfswerte } k_{\beta} = \text{MIN}(k_{\beta 1,1} + (t_1 - t_{1,1}) / (t_{1,2} - t_{1,1}) \cdot (k_{\beta 1,2} - k_{\beta 1,1}); k_{\beta 1,2}) = 1.68$$

$$\text{Kontrolle Versagensmodus: } \frac{t_{1,1}}{t_1} = 0.48 \leq 1$$

Falls das Verhältnis  $t_{1,1} / t_1 \leq 1$  handelt es sich um Verbindungen mit **sprödem Verhalten (Modus 1)**. Diese sind wenn möglich zu vermeiden.

#### Tragwiderstand der Verbindung

**Gewählt: 3 Reihen à 3 Stabdübel = 9 Stabdübel Ø 14 mm**

$$\text{Anzahl Stabdübel in Faserrichtung hintereinander } n = 3$$

$$\text{Abstand Stabdübel untereinander in Faserrichtung } a_1 = 98 \text{ mm}$$

Minimale Abstand  $a_1$  der Verbindungsmittel untereinander in Faserrichtung des Holzes:  $a_1 \geq 7d$

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{\text{red}} = \text{WENN}(n=1; 1; \text{MIN}(n^{-0.1} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d} \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + \frac{\alpha}{90}}; 1)) = 0.82$$

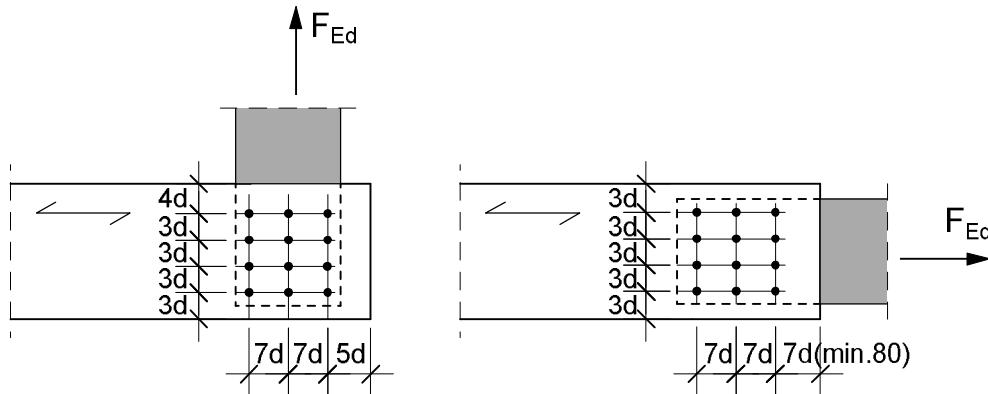
$$\text{Tragwiderstand } R_{d,\text{Verb}} = k_{\alpha} \cdot k_{\text{red}} \cdot n_{\text{tot}} \cdot p \cdot k_{\beta} \cdot \sqrt{0.3 \cdot f_{u,k} \cdot f_{h,k}} \cdot d^{1.8} / 10^3 = 134.02 \text{ kN}$$

#### Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}}{R_{d,\text{Verb}} \cdot \eta_t \cdot \eta_w} = \frac{72.00}{134.02 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = 0.54 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt") = \text{Nachweis erfüllt}$$

## Minimale Abstände der Stabdübel



⊥ zur Faserrichtung, untereinander $a_2 =$	$3 \cdot d$	$= 42 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand $a_{2,u} =$	$3 \cdot d$	$= 42 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b} =$	$4 \cdot d$	$= 56 \text{ mm}$
zur Faserrichtung, untereinander $a_1 =$	$7 \cdot d$	$= 98 \text{ mm}$
zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b} =$	$\text{MAX}(7 \cdot d; 80)$	$= 98 \text{ mm}$

Kontrolle Breite Holz: WENN( $\alpha=0$ ;  $\left(\frac{n_{\text{tot}}}{n} + 1\right) \cdot a_1$ ;  $a_{2,u} + a_{2,b} + (n-1) \cdot a_2$ )  $\leq 392 \text{ mm} \leq h$

## Steifigkeit der Verbindung

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf, elastischer Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmitteln kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Verschiebungsmodul pro Stabdübel und Scherfuge:

$$\text{Verschiebungsmodul } k_{\text{ser}} = \eta_{w,s} \cdot \left(6 - \frac{\alpha}{90} \cdot 3\right) \cdot \rho_k^{0.5} \cdot d^{1.7} / 1000 = 10.39 \text{ kN/mm}$$

$$\text{Kraft pro Stabdübel } F_{N,\text{ser}} = \frac{F_{\text{Ed,ser}}}{n_{\text{tot}} \cdot p} = \frac{55.00}{9 \cdot 2} = 3.06 \text{ kN}$$

$$\text{Elastische Verschiebung } \delta_{\text{el}} = \frac{F_{N,\text{ser}}}{k_{\text{ser}}} = \frac{3.06}{10.39} = 0.29 \text{ mm}$$

$$\text{Kriechzahl } \varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"; Kz; GR=Mat; FK=KL}) = 0.60$$

$$\text{Langzeitverschiebung } \delta_{\infty} = \delta_{\text{el}} \cdot (1 + \varphi) = 0.5 \text{ mm}$$

Federsteifigkeit des Anschlusses:

$$k = \frac{F_{\text{Ed,ser}} \cdot 1000}{\delta_{\text{el}}} = \frac{55.00 \cdot 1000}{0.29} = 189655 \text{ kN/m}$$



## Nachweis Nettoquerschnitt Holz (gültig nur wenn Anschlusswinkel $\alpha = 0^\circ$ )

Die Stabdübelbohrungen müssen als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265-6.1.1.8).

$$\text{Anzahl Stabdübel für Querschnittsverminderung } S = n_{\text{tot}}/n = 3$$

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} = 2 \cdot t_1 \cdot (h - S \cdot d) = 18492 \text{ mm}^2$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} = \text{WENN}(\alpha=0; \frac{F_{\text{Ed}} \cdot 10^3}{A_{\text{netto}}}; ) = 3.9 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"}; ft0d; FK=FK) = 12.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{3.9}{12.0} = 0.33 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

**Bemerkung:** Ist der Anschlusswinkel  $\alpha > 0^\circ$  sind andere Nachweise für das Holz im Nettoquerschnitt zu erbringen. (Biegung, Schub, Normalkraft usw.)

## Nachweis Stahlblech

$$\text{Stahlsorte St} = \text{GEW}(\text{"SIA263/Stahl"}; S; ) = S235$$

$$\text{Blechdicke } t_{\text{Blech}} = 5 \text{ mm}$$

$$\text{Blechhöhe } h_{\text{Blech}} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Fließgrenze } f_y = \text{TAB}(\text{"SIA263/Stahl"}; fy; S=St) = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zugfestigkeit } f_u = \text{TAB}(\text{"SIA263/Stahl"}; fu; S=St) = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Loch } d_0 = d + 0.5 = 14.5 \text{ mm}$$

$$\text{Randabstand } e_1 = 30 \text{ mm}$$

## Beanspruchung im Bruttoquerschnitt

$$\text{Bruttoquerschnitt } A_{\text{Blech}} = t_{\text{Blech}} \cdot h_{\text{Blech}} = 750 \text{ mm}^2$$

SIA 263\_4.4.1.1

$$\text{Zugkraftwiderstand } N_{\text{Rd,brutto}} = \frac{f_y \cdot A_{\text{Blech}}}{1.05 \cdot 10^3} = 167.9 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}}{N_{\text{Rd,brutto}}} = \frac{72.00}{167.9} = 0.43 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



### Beanspruchung im Nettoquerschnitt

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{Blech,netto}} = t_{\text{Blech}} \cdot (h_{\text{Blech}} - S \cdot d_0) = 5 \cdot (150 - 3 \cdot 14.5) = 533 \text{ mm}^2$$

SIA 263\_4.4.1.1

$$\text{Zugkraftwiderstand } N_{\text{Rd,netto}} = \frac{0.9 \cdot f_u \cdot A_{\text{Blech,netto}}}{1.25 \cdot 10^3} = 138.2 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}}{N_{\text{Rd,netto}}} = \frac{72.00}{138.2} = 0.52 < 1$$

WENN(Ausnutzung  $\leq$  1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Lochleibungswiderstand (SIA 263\_6.2.2.1)

$$F_{\text{b,Rd}} = \text{MIN} \left( 0.85 \cdot \frac{e_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t_{\text{Blech}}}{d_0 \cdot 1.25 \cdot 10^3}; 2.4 \cdot \frac{f_u \cdot d \cdot t_{\text{Blech}}}{1.25 \cdot 10^3} \right) = 35.5 \text{ kN}$$

$$\text{Kraft pro Stabdübel } F_{\text{Ed,SD}} = \frac{F_{\text{Ed}}}{n_{\text{tot}}} = 8.0 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed,SD}}}{F_{\text{b,Rd}}} = \frac{8.0}{35.5} = 0.23 < 1$$

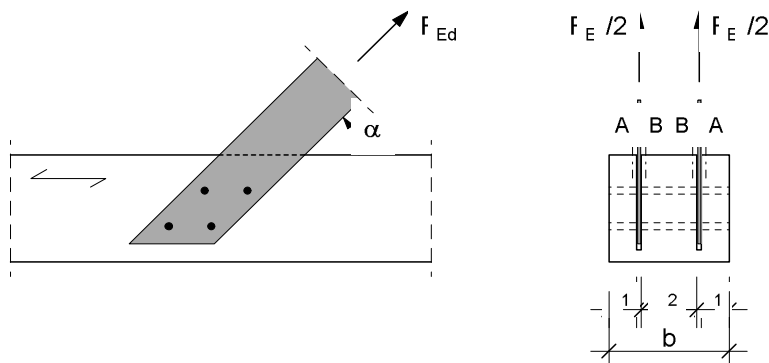
WENN(Ausnutzung  $\leq$  1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Bemerkung zur Lagesicherung

In der Regel ist die Lagesicherung der Verbindungsmittel folgendermassen sicherzustellen:

- Pro Verbindung mindestens 4 Stabdübel oder mindestens 1 Stabdübel plus 1 Passschraube.
- Grössere Verbindungen sind konstruktiv mit mehreren Passschrauben zu sichern.
- Bei Verbindungen mit wiederholten Wechsellasten sind alle Stabdübel gegen Herauswandern zu sichern oder als Passschrauben auszuführen.

### Stabdübel Schlitzblech mehrschnittig



#### Voraussetzungen

- Stabdübel nach SN EN 14592 aus Stahl mit einer Mindestzugfestigkeit  $f_{u,k} = 510 \text{ N/mm}^2$  (S355) und einem Durchmesser  $d$  von 6 mm bis 30 mm
- Stahlblech ist nach SIA 263 nachzuweisen
- Der Lochdurchmesser der Stahlteile darf maximal 1 mm grösser sein als der Nenndurchmesser der Stabdübel.
- Holzteile mit Rissen und markhaltiges Holz sind nicht zulässig.
- Die Holzfeuchte darf beim Abbund um nicht mehr als  $\pm 3\%$  vom erwarteten Mittelwert der Ausgleichsfeuchte des Bauteils am Einbauort abweichen.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,s}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Holz

Breite $b$ =		200 mm
Höhe $h$ =		240 mm
Schlitzdicke $t_s$ =		8 mm
Holzdicke $t_1$ =		30 mm
Holzdicke $t_2$ =	$b - 2 \cdot (t_s + t_1)$	= 124 mm

SIA 265 Tabelle 42:

$$\text{Bedingung A : } \frac{2 \cdot t_1}{t_2} = 0.48 \leq 1$$

$$\text{Bedingung B = } \frac{0.35 \cdot t_2}{t_1} = 1.45 \leq 1$$

Material Mat:	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Brettschichtholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=Mat)	=	GL24h
Rohdichte $\rho_k$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK)	=	380 kg/m <sup>3</sup>



### Stabdübel

Durchmesser Stabdübel  $d = 12$  mm  
Gesamtanzahl  $n_{\text{tot}} = 9$

### Belastung

Bemessungskraft Tragsicherheit  $F_{\text{Ed}} = 190.00$  kN  
Bemessungskraft Gebrauchstauglichkeit  $F_{\text{Ed,ser}} = 120.00$  kN  
Anschlusswinkel  $\alpha = 0^\circ$

### Berechnung Tragwiderstand (nach SIA 265 Angang A.1)

#### Fixe Werte

Mindestzugfestigkeit  $f_{u,k} = 510$  N/mm<sup>2</sup>  
Faktor  $k_\alpha = 0.73$   
Anzahl der Scherfugen  $\rho = 4$

#### Charakteristische Lochleibungsfestigkeit

$$f_{h,0,k} = 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k = 27.42 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,90,k} = \text{WENN}(\text{Mat}=\text{"Laubholz"}; \frac{f_{h,0,k}}{0.9 + 0.015 \cdot d}; \frac{f_{h,0,k}}{1.35 + 0.015 \cdot d}) = 17.92 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,k} = f_{h,0,k} - \frac{\alpha}{90} \cdot (f_{h,0,k} - f_{h,90,k}) = 27.42 \text{ N/mm}^2$$

#### Erforderliche Holzdicke und Hilfswerte

##### Seitenholz

$$\text{Holzdicke } t_{1,1} = 0.89 \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}} \cdot d}^{0.8} = 28.02 \text{ mm}$$

$$\text{Holzdicke } t_{1,2} = 2.52 \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}} \cdot d}^{0.8} = 79.34 \text{ mm}$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 1,1} = 1.2 = 1.20$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 1,2} = 2 = 2.00$$

##### Mittelholz:

$$\text{Holzdicke } t_{2,2} = 2.52 \cdot \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}} \cdot d}^{0.8} = 79.34 \text{ mm}$$

$$\text{Hilfswert } k_{\beta 2,2} = 2 = 2.00$$

Daraus ergeben sich die effektiven Hilfswerte  $k_{\beta 1}$  und  $k_{\beta 2}$  (SIA 265, A.1 Figur 41)

$$\text{Hilfswerte } k_{\beta 1} = \text{MIN}(k_{\beta 1,1} + (t_1 - t_{1,1}) / (t_{1,2} - t_{1,1}) \cdot (k_{\beta 1,2} - k_{\beta 1,1}); k_{\beta 1,2}) = 1.23$$

$$\text{Hilfswerte } k_{\beta 2} = \text{MIN}(t_2 / t_{2,2} \cdot k_{\beta 2,2}; k_{\beta 2,2}) = 2.00$$

$$\text{Kontrolle Versagensmodus: } \frac{t_{1,1}}{t_1} = 0.93 \leq 1$$

$$\text{Kontrolle Versagensmodus: } \frac{t_{2,2}}{t_2} = 0.64 \leq 1$$

Falls das Verhältnis  $t_{1,1} / t_1$  resp.  $t_{2,2} / t_2 \leq 1$  handelt es sich um Verbindungen mit **sprödem Verhalten (Modus 1)**. Diese sind wenn möglich zu vermeiden.

### Tragwiderstand der Verbindung

**Gewählt: 3 Reihen à 3 Stabdübel = 9 Stabdübel Ø 12 mm**

Anzahl Scherfugen A  $p_A = 2$   
 Anzahl Scherfugen B  $p_B = 2$   
 Anzahl Stabdübel in Faserrichtung hintereinander  $n = 3$   
 Abstand Stabdübel untereinander in Faserrichtung  $a_1 = 84 \text{ mm}$

Minimale Abstand  $a_1$  der Verbindungsmittel untereinander in Faserrichtung des Holzes:  $a_1 \geq 7d$

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{\text{red}} = \text{WENN}(n=1;1;\text{MIN}(n^{-0.1} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{10*d} * \frac{90-\alpha}{90} + \frac{\alpha}{90}};1)) = 0.82$$

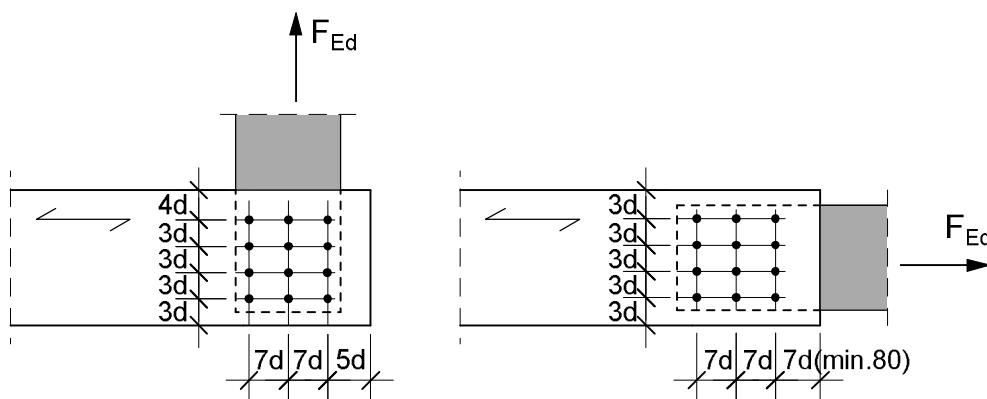
$$\text{Tragwiderstand } R_{d,\text{Verb}} = (p_A * k_{\beta 1} + p_B * k_{\beta 2}) * k_{\alpha} * k_{\text{red}} * n_{\text{tot}} * \sqrt{0.3 * f_{u,k} * f_{h,k} * d^{1.8}} / 10^3 = 197.48 \text{ kN}$$

### Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}}{R_{d,\text{Verb}} * \eta_t * \eta_w} = \frac{190.00}{197.48 * 1.0 * 1.0} = 0.96 \leq 1$$

WENN(Ausnutzung  $\leq 1$ ; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt") = **Nachweis erfüllt**

### Minimale Abstände der Stabdübel



⊥ zur Faserrichtung, untereinander  $a_2 = 3*d = 36 \text{ mm}$   
 ⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand  $a_{2,u} = 3*d = 36 \text{ mm}$   
 ⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand  $a_{2,b} = 4*d = 48 \text{ mm}$   
 || zur Faserrichtung, untereinander  $a_1 = 7*d = 84 \text{ mm}$   
 || zur Faserrichtung, beanspr. Rand  $a_{2,b} = \text{MAX}(7*d;80) = 84 \text{ mm}$

$$\text{Kontrolle Breite Holz: WENN}(\alpha=0; \left(\frac{n_{\text{tot}}}{n} + 1\right) * a_1; a_{2,u} + a_{2,b} + (n-1) * a_2) = 336 \text{ mm} \leq h$$



### Steifigkeit der Verbindung

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf, elastischer Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmitteln kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Verschiebungsmodul pro Stabdübel und Scherfuge:

$$\text{Verschiebungsmodul } k_{\text{ser}} = \eta_{w,s} \cdot \left(6 - \frac{\alpha}{90} \cdot 3\right) \cdot \rho_k^{0.5} \cdot d^{1.7} / 1000 = 7.99 \text{ kN/mm}$$

$$\text{Kraft pro Stabdübel } F_{N,\text{ser}} = \frac{F_{\text{Ed,ser}}}{n_{\text{tot}} \cdot p} = \frac{120.00}{9 \cdot 4} = 3.33 \text{ kN}$$

$$\text{Elastische Verschiebung } \delta_{\text{el}} = \frac{F_{N,\text{ser}}}{k_{\text{ser}}} = \frac{3.33}{7.99} = 0.42 \text{ mm}$$

$$\text{Kriechzahl } \varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"; Kz; GR=Mat; FK=KL}) = 0.60$$

$$\text{Langzeitverschiebung } \delta_{\infty} = \delta_{\text{el}} \cdot (1 + \varphi) = 0.7 \text{ mm}$$

Federsteifigkeit des Anschlusses:

$$k = \frac{F_{\text{Ed,ser}} \cdot 1000}{\delta_{\text{el}}} = \frac{120.00 \cdot 1000}{0.42} = 285714 \text{ kN/m}$$

### Nachweis Nettoquerschnitt Holz (gültig nur wenn Anschlusswinkel $\alpha = 0^\circ$ )

Die Stabdübelbohrungen müssen als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265-6.1.1.8).

$$\text{Anzahl Stabdübel für Querschnittsverminderung } S = n_{\text{tot}}/n = 3$$

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} = 2 \cdot t_1 \cdot (h - S \cdot d) = 12240 \text{ mm}^2$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} = \text{WENN}(\alpha=0; \frac{F_{\text{Ed}} \cdot 10^3}{A_{\text{netto}}}; ) = 15.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; ft0d; FK=FK}) = 12.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{15.5}{12.0} = 1.29 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis nicht erfüllt !}$$

**Bemerkung:** Ist der Anschlusswinkel  $\alpha > 0^\circ$  sind andere Nachweise für das Holz im Nettoquerschnitt zu erbringen. (Biegung, Schub, Normalkraft usw.)





### Nachweis Stahlblech

Stahlsorte St =	GEW("SIA263/Stahl"; S; )	=	S235
Blechdicke $t_{\text{Blech}}$ =		=	5 mm
Blechhöhe $h_{\text{Blech}}$ =		=	150 mm
Fließgrenze $f_y$ =	TAB("SIA263/Stahl"; $f_y$ ; S=St)	=	235 N/mm <sup>2</sup>
Zugfestigkeit $f_u$ =	TAB("SIA263/Stahl"; $f_u$ ; S=St)	=	360 N/mm <sup>2</sup>
Loch $d_0$ =	d + 0.5	=	12.5 mm
Randabstand $e_1$ =		=	30 mm

### Beanspruchung im Bruttoquerschnitt

$$\text{Bruttoquerschnitt } A_{\text{Blech}} = t_{\text{Blech}} \cdot h_{\text{Blech}} = 750 \text{ mm}^2$$

$$\text{Zugkraftwiderstand } N_{\text{Rd,brutto}} = \frac{f_y \cdot A_{\text{Blech}}}{1.05 \cdot 10^3} = 167.9 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}/2}{N_{\text{Rd,brutto}}} = \frac{190.00/2}{167.9} = 0.57 < 1$$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Beanspruchung im Nettoquerschnitt

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{Blech,netto}} = t_{\text{Blech}} \cdot (h_{\text{Blech}} - S \cdot d_0) = 5 \cdot (150 - 3 \cdot 12.5) = 563 \text{ mm}^2$$

$$\text{Zugkraftwiderstand } N_{\text{Rd,netto}} = \frac{0.9 \cdot f_u \cdot A_{\text{Blech,netto}}}{1.25 \cdot 10^3} = 145.9 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}/2}{N_{\text{Rd,netto}}} = \frac{190.00/2}{145.9} = 0.65 < 1$$

WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Lochleibungswiderstand

$$F_{\text{b,Rd}} = \text{MIN}\left(0.85 \cdot \frac{e_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t_{\text{Blech}}}{d_0 \cdot 1.25 \cdot 10^3}; 2.4 \cdot \frac{f_u \cdot d \cdot t_{\text{Blech}}}{1.25 \cdot 10^3}\right) = 35.3 \text{ kN}$$

$$\text{Kraft pro Stabdübel } F_{\text{Ed,SD}} = \frac{F_{\text{Ed}}/2}{n_{\text{tot}}} = 10.6 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed,SD}}}{F_{\text{b,Rd}}} = \frac{10.6}{35.3} = 0.30 < 1$$

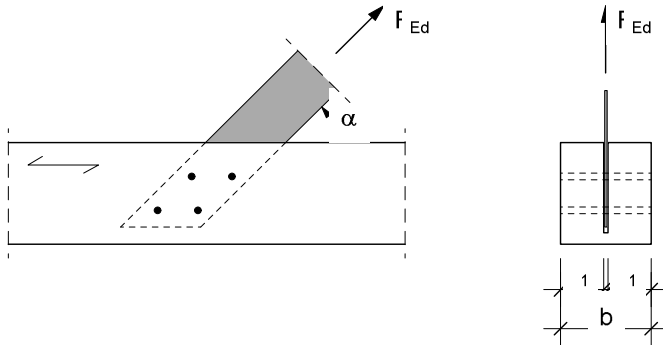
WENN(Ausnutzung $\leq$ 1;"Nachweis erfüllt";"Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

### Bemerkung zur Lagesicherung

In der Regel ist die Lagesicherung der Verbindungsmittel folgendermassen sicherzustellen:

- Pro Verbindung mindestens 4 Stabdübel oder mindestens 1 Stabdübel plus 1 Passschraube.
- Grössere Verbindungen sind konstruktiv mit mehreren Passschrauben zu sichern.
- Bei Verbindungen mit wiederholten Wechsellasten sind alle Stabdübel gegen Herauswandern zu sichern oder als Passschrauben auszuführen.

### Stabdübel Schlitzblech



#### Voraussetzungen

- Stabdübel nach SN EN 14592 aus Stahl mit einer Mindestzugfestigkeit  $f_{u,k} = 510 \text{ N/mm}^2$  (S355) und einem Durchmesser  $d$  von 6 mm bis 30 mm
- Stahlblech mittig angeordnet und ist nach SIA 263 nachzuweisen
- Der Lochdurchmesser der Stahlteile darf maximal 1 mm grösser sein als der Nenndurchmesser der Stabdübel.
- Holzteile mit Rissen und markhaltiges Holz sind nicht zulässig.
- Die Holzfeuchte darf beim Abbund um nicht mehr als  $\pm 3\%$  vom erwarteten Mittelwert der Ausgleichsfeuchte des Bauteils am Einbauort abweichen.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,s}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0

#### Holz

Breite $b$ =	140 mm
Höhe $h$ =	180 mm
Schlitzdicke $t_s$ =	6 mm
Holzdicke $t_1$ =	$\frac{b - t_s}{2} = 67 \text{ mm}$

Material Mat:	GEW("SIA265/Holz"; B; )	=	Brettschichtholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/Holz"; FK; B=Mat)	=	GL24h
Rohdichte $\rho_k$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; FK=FK)	=	380 kg/m <sup>3</sup>

#### Stabdübel

Durchmesser Stabdübel $d$ =	14 mm
Gesamtanzahl $n_{\text{tot}}$ =	9

#### Belastung

Bemessungskraft Tragsicherheit $F_{Ed}$ =	72.00 kN
Bemessungskraft Gebrauchstauglichkeit $F_{Ed,ser}$ =	55.00 kN
Anschlusswinkel $\alpha$ =	0 °



### Berechnung Tragwiderstand (nach SIA 265 Angang A.1)

#### Fixe Werte

Mindestzugfestigkeit $f_{u,k}$ =	510 N/mm <sup>2</sup>
Faktor $k_{\alpha}$ =	0.73
Anzahl der Scherfugen $p$ =	2

#### Charakteristische Lochleibungsfestigkeit

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k = 26.80 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,90,k} = \text{WENN}(\text{Mat}="Laubholz"; \frac{f_{h,0,k}}{0.9 + 0.015 * d}; \frac{f_{h,0,k}}{1.35 + 0.015 * d}) = 17.18 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,k} = f_{h,0,k} - \frac{\alpha}{90} * (f_{h,0,k} - f_{h,90,k}) = 26.80 \text{ N/mm}^2$$

#### Erforderliche Holzdicke und Hilfswerte

Holzdicke $t_{1,1}$ =	$0.89 * \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}} * d}^{0.8}$	=	32.06 mm
Holzdicke $t_{1,2}$ =	$2.52 * \sqrt{\frac{f_{u,k}}{f_{h,k}} * d}^{0.8}$	=	90.79 mm
Hilfswert $k_{\beta 1,1}$ =	1.2	=	1.20
Hilfswert $k_{\beta 1,2}$ =	2	=	2.00

Daraus ergibt sich der effektive Hilfswert  $k_{\beta}$  (SIA 265, A.1 Figur 41)

$$\text{Hilfswerte } k_{\beta} = \text{MIN}(k_{\beta 1,1} + (t_1 - t_{1,1}) / (t_{1,2} - t_{1,1}) * (k_{\beta 1,2} - k_{\beta 1,1}); k_{\beta 1,2}) = 1.68$$

$$\text{Kontrolle Versagensmodus: } \frac{t_{1,1}}{t_1} = 0.48 \leq 1$$

Falls das Verhältnis  $t_{1,1} / t_1 \leq 1$  handelt es sich um Verbindungen mit **sprödem Verhalten (Modus 1)**. Diese sind wenn möglich zu vermeiden.

#### Tragwiderstand der Verbindung

**Gewählt: 3 Reihen à 3 Stabdübel = 9 Stabdübel Ø 14 mm**

Anzahl Stabdübel in Faserrichtung hintereinander $n =$	3
Abstand Stabdübel untereinander in Faserrichtung $a_1 =$	98 mm

Minimale Abstand  $a_1$  der Verbindungsmittel untereinander in Faserrichtung des Holzes:  **$a_1 \geq 7d$**

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{red} = \text{WENN}(n=1;1; \text{MIN}(n^{-0.1} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 * d}} * \frac{90 - \alpha}{90} + \frac{\alpha}{90}; 1)) = 0.82$$

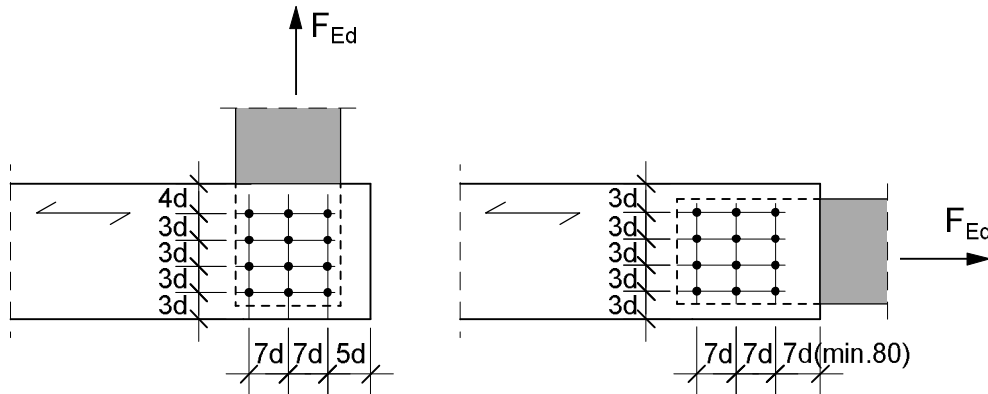
$$\text{Tragwiderstand } R_{d,verb} = k_{\alpha} * k_{red} * n_{tot} * p * k_{\beta} * \sqrt{0.3 * f_{u,k} * f_{h,k} * d^{1.8}} / 10^3 = 134.02 \text{ kN}$$

#### Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{Ed}}{R_{d,verb} * \eta_t * \eta_w} = \frac{72.00}{134.02 * 1.0 * 1.0} = 0.54 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = \text{Nachweis erfüllt}$$

### Minimale Abstände der Stabdübel



⊥ zur Faserrichtung, untereinander $a_2 =$	$3 \cdot d$	$= 42 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand $a_{2,u} =$	$3 \cdot d$	$= 42 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b} =$	$4 \cdot d$	$= 56 \text{ mm}$
zur Faserrichtung, untereinander $a_1 =$	$7 \cdot d$	$= 98 \text{ mm}$
zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b} =$	$\text{MAX}(7 \cdot d; 80)$	$= 98 \text{ mm}$

Kontrolle Breite Holz: WENN( $\alpha=0$ ;  $\left(\frac{n_{\text{tot}}}{n} + 1\right) \cdot a_1$ ;  $a_{2,u} + a_{2,b} + (n-1) \cdot a_2$ )  $\leq 392 \text{ mm} \leq h$

### Steifigkeit der Verbindung

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf, elastischer Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmitteln kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Verschiebungsmodul pro Stabdübel und Scherfuge:

$$\text{Verschiebungsmodul } k_{\text{ser}} = \eta_{w,s} \cdot \left(6 - \frac{\alpha}{90} \cdot 3\right) \cdot \rho_k^{0.5} \cdot d^{1.7} / 1000 = 10.39 \text{ kN/mm}$$

$$\text{Kraft pro Stabdübel } F_{N,\text{ser}} = \frac{F_{\text{Ed,ser}}}{n_{\text{tot}} \cdot p} = \frac{55.00}{9 \cdot 2} = 3.06 \text{ kN}$$

$$\text{Elastische Verschiebung } \delta_{\text{el}} = \frac{F_{N,\text{ser}}}{k_{\text{ser}}} = \frac{3.06}{10.39} = 0.29 \text{ mm}$$

$$\text{Kriechzahl } \varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"; Kz; GR=Mat; FK=KL}) = 0.60$$

$$\text{Langzeitverschiebung } \delta_{\infty} = \delta_{\text{el}} \cdot (1 + \varphi) = 0.5 \text{ mm}$$

Federsteifigkeit des Anschlusses:

$$k = \frac{F_{\text{Ed,ser}} \cdot 1000}{\delta_{\text{el}}} = \frac{55.00 \cdot 1000}{0.29} = 189655 \text{ kN/m}$$



## Nachweis Nettoquerschnitt Holz (gültig nur wenn Anschlusswinkel $\alpha = 0^\circ$ )

Die Stabdübelbohrungen müssen als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265-6.1.1.8).

$$\text{Anzahl Stabdübel für Querschnittsverminderung } S = n_{\text{tot}}/n = 3$$

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} = 2 \cdot t_1 \cdot (h - S \cdot d) = 18492 \text{ mm}^2$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} = \text{WENN}(\alpha=0; \frac{F_{\text{Ed}} \cdot 10^3}{A_{\text{netto}}}; ) = 3.9 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"}; ft0d; FK=FK) = 12,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{3.9}{12.0} = 0.33 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

**Bemerkung:** Ist der Anschlusswinkel  $\alpha > 0^\circ$  sind andere Nachweise für das Holz im Nettoquerschnitt zu erbringen. (Biegung, Schub, Normalkraft usw.)

## Nachweis Stahlblech

$$\text{Stahlsorte } St = \text{GEW}(\text{"SIA263/Stahl"}; S; ) = S235$$

$$\text{Blechdicke } t_{\text{Blech}} = 5 \text{ mm}$$

$$\text{Blechhöhe } h_{\text{Blech}} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Fließgrenze } f_y = \text{TAB}(\text{"SIA263/Stahl"}; fy; S=St) = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zugfestigkeit } f_u = \text{TAB}(\text{"SIA263/Stahl"}; fu; S=St) = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Loch } d_0 = d + 0.5 = 14.5 \text{ mm}$$

$$\text{Randabstand } e_1 = 30 \text{ mm}$$

## Beanspruchung im Bruttoquerschnitt

$$\text{Bruttoquerschnitt } A_{\text{Blech}} = t_{\text{Blech}} \cdot h_{\text{Blech}} = 750 \text{ mm}^2$$

SIA 263\_4.4.1.1

$$\text{Zugkraftwiderstand } N_{\text{Rd,brutto}} = \frac{f_y \cdot A_{\text{Blech}}}{1.05 \cdot 10^3} = 167.9 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{\text{Ed}}}{N_{\text{Rd,brutto}}} = \frac{72.00}{167.9} = 0.43 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



## Beanspruchung im Nettoquerschnitt

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{Blech,netto}} = t_{\text{Blech}} \cdot (h_{\text{Blech}} - S \cdot d_0) = 5 \cdot (150 - 3 \cdot 14.5) = 533 \text{ mm}^2$$

SIA 263\_4.4.1.1

$$\text{Zugkraftwiderstand } N_{\text{Rd,netto}} = \frac{0.9 \cdot f_u \cdot A_{\text{Blech,netto}}}{1.25 \cdot 10^3} = 138.2 \text{ kN}$$

**Ausnutzung:**  $\frac{F_{\text{Ed}}}{N_{\text{Rd,netto}}} = \frac{72.00}{138.2} = 0.52 < 1$

WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

## Lochleibungswiderstand (SIA 263\_6.2.2.1)

$$F_{\text{b,Rd}} = \text{MIN} \left( 0.85 \cdot \frac{e_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t_{\text{Blech}}}{d_0 \cdot 1.25 \cdot 10^3}; 2.4 \cdot \frac{f_u \cdot d \cdot t_{\text{Blech}}}{1.25 \cdot 10^3} \right) = 35.5 \text{ kN}$$

$$\text{Kraft pro Stabdübel } F_{\text{Ed,SD}} = \frac{F_{\text{Ed}}}{n_{\text{tot}}} = 8.0 \text{ kN}$$

**Ausnutzung:**  $\frac{F_{\text{Ed,SD}}}{F_{\text{b,Rd}}} = \frac{8.0}{35.5} = 0.23 < 1$

WENN(Ausnutzung ≤ 1; "Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !") = **Nachweis erfüllt**

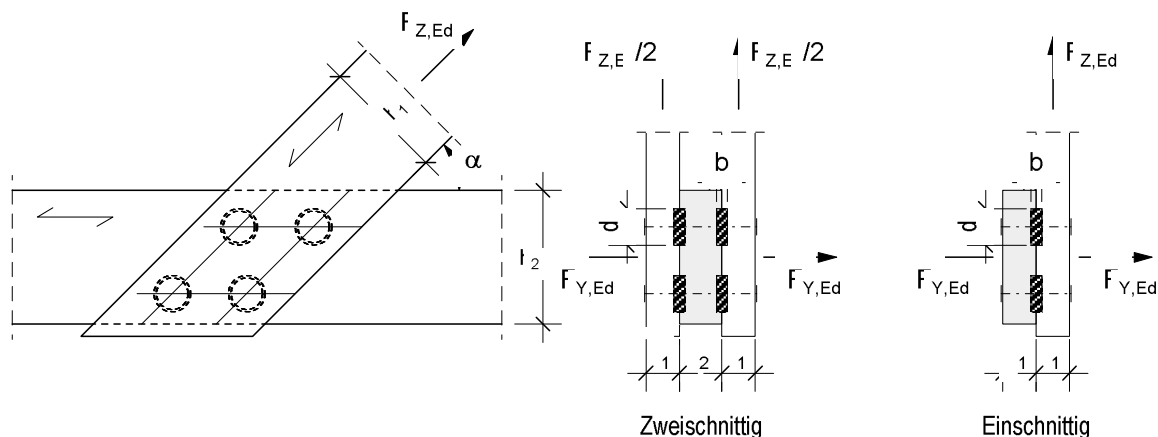
## Bemerkung zur Lagesicherung

In der Regel ist die Lagesicherung der Verbindungsmittel folgendermassen sicherzustellen:

- Pro Verbindung mindestens 4 Stabdübel oder mindestens 1 Stabdübel plus 1 Passschraube.
- Grössere Verbindungen sind konstruktiv mit mehreren Passschrauben zu sichern.
- Bei Verbindungen mit wiederholten Wechsellasten sind alle Stabdübel gegen Herauswandern zu sichern oder als Passschrauben auszuführen.

## Kapitel Ringdübel-Verbindung

### Einlassdübelverbindungen (Ringdübel)



#### Voraussetzungen

- Vollholz der Festigkeitsklasse C24 oder höher
- Ringdübel rechtwinklig zur Holzfaserrichtung eingelassen
- Ringdübelformen mit einer Ringbreite  $b \geq 1/4$  des Ringaussendurchmessers  $d$
- Sind 3 und 4 Dübel in Krafrichtung hintereinander angeordnet, so müssen die Bemessungswerte der Abscherwiderstände  $R_d$  aller Dübel um 10%, bei 5 und 6 Dübeln um 20% reduziert werden
- Mehr als 6 dübel sollen in Krafrichtung hintereinander statisch nicht in Rechnung gestellt werden.

#### Eingaben

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Faktor $\eta_w$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_{w,s}$ :	TAB("SIA265/FK"; SR; F=KL)	=	1.0
Faktor $\eta_t$ :	GEW("SIA265/EA"; FAK; )	=	1.0
Anzahl Schnitte p =	GEW("Verbindungsmittel/RingD"; p; )	=	2

#### Seitenholz

Breite $t_1$ =	70 mm
Höhe $h_1$ =	160 mm

Material $Mat_S$ :	GEW("Verbindungsmittel/RingD"; B; )	=	Brettschichtholz
Festigkeitsklasse $FK_S$ :	GEW("Verbindungsmittel/RingD"; FK; B= $Mat_S$ )	=	GL24h
Rohdichte $\rho_{k,S}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; $FK=FK_S$ )	=	380 kg/m <sup>3</sup>

#### Mittelholz

Breite $t_2$ =	100 mm
Höhe $h_2$ =	160 mm

Material $Mat_M$ :	GEW("Verbindungsmittel/RingD"; B; )	=	Brettschichtholz
Festigkeitsklasse $FK_M$ :	GEW("Verbindungsmittel/RingD"; FK; B= $Mat_M$ )	=	GL24h
Rohdichte $\rho_{k,M}$ =	TAB("SIA265/Holz"; $\rho_k$ ; $FK=FK_M$ )	=	380 kg/m <sup>3</sup>



## Ringdübel

Ausse-Ø Ringdübel d =	GEW("Verbindungsmittel/RingD"; d; )	=	100 mm
Ringdübelbreite b =	TAB("Verbindungsmittel/RingD"; b; d=d)	=	26 mm
Ø Bauschraube d <sub>BS</sub> =	TAB("Verbindungsmittel/RingD"; BS; d=d)	=	14 mm
Ø Bohrloch d <sub>BL</sub> =	TAB("Verbindungsmittel/RingD"; DL; d=d)	=	16 mm

## Belastung

Bemessungskraft Tragsicherheit F <sub>Z,Ed</sub> =	60.00 kN
Bemessungskraft Tragsicherheit F <sub>Y,Ed</sub> =	15.00 kN
Bemessungskraft Gebrauchstauglichkeit F <sub>Z,Ed,ser</sub> =	45.00 kN
Anschlusswinkel α =	0 °

## Berechnung Tragwiderstand Ringdübel (Z-Richtung)

Bemessungswert des Tragwiderstands pro Ringdübel und Schnitt R<sub>d</sub>

$$R_d = 18 \cdot d^{1.5} \cdot (1 - \alpha / 180) / 10^3 = 18.00 \text{ kN}$$

### Erforderliche Holzdicken

Seitenholz:

$$t_{1,erf} = \text{MAX}(1.5 \cdot b; 30) = 39 \text{ mm} \leq t_1$$

Mittelholz:

$$t_{2,erf} = \text{WENN}(p=2; \text{MAX}(2 \cdot b; 50); t_{1,erf}) = 52 \text{ mm} \leq t_2$$

## Tragwiderstand der Verbindung

Die Anzahl Ringdübel bezieht sich auf **einen** Schnitt

$$\text{Gesamtanzahl Ringdübel pro Schnitt } n_{\text{tot}} = 2$$

$$\text{Anzahl Ringdübel in Krafrichtung hintereinander } n_1 = 2$$

Reduktionsbeiwert gemäss Voraussetzungen HBT1(2012), S. 108

$$\text{Reduktionsbeiwert } k_{\text{red}} = \text{WENN}(n_1 \leq 2; 1; \text{WENN}(n_1 \leq 4; 0.9; \text{WENN}(n_1 \leq 6; 0.8; 0))) = 1.00$$

Für Bauteile aus Brettschichtholz GL24h dürfen die Bemessungswerte mit dem Faktor 1.1 erhöht werden (SIA 265\_6.8.1.3).

$$\text{Erhöhungsfaktor } k_{\text{erh}} = \text{WENN}(\text{FK}_S = \text{"GL24h"} \text{ UND } \text{FK}_M = \text{"GL24h"}; 1.1; 1) = 1.1$$

$$\text{Tragwiderstand } R_{d,Verb} = k_{\text{red}} \cdot k_{\text{erh}} \cdot n_{\text{tot}} \cdot p \cdot R_d = 1.00 \cdot 1.1 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 18.00 = 79.20 \text{ kN}$$

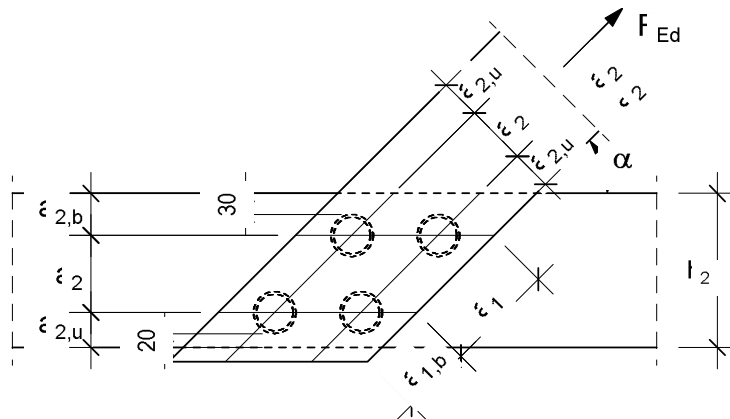
## Nachweis

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{Z,Ed}}{R_{d,Verb} \cdot \eta_t \cdot \eta_w} = \frac{60.00}{79.20 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = 0.76 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



### Minimale Abstände der Stabdübel



zur Faserrichtung, untereinander $a_1 =$	$4/3 \cdot (3/2 - \alpha/180) \cdot d$	$= 200 \text{ mm}$
zur Faserrichtung, beanspr. Rand $a_{2,b} =$	$1.8 \cdot d$	$= 180 \text{ mm}$
zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand $a_{2,u} =$	$0.8 \cdot d$	$= 80 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, untereinander $a_2 =$	$4/3 \cdot d$	$= 133 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, beanspr. Rand $=$	$0.8 \cdot d$	$= 80 \text{ mm}$
⊥ zur Faserrichtung, unbeanspr. Rand $=$	$2/3 \cdot d$	$= 67 \text{ mm}$

Kontrolle Seitenholz:

$$k_{1,\text{erf}}: \text{MAX}(2 \cdot 20 + d; 2 \cdot a_{2,u}) + \left( \frac{n_{\text{tot}}}{n_1} - 1 \right) \cdot a_2 = 160 \text{ mm} \leq h_1$$

Kontrolle Mittelholz:

$$k_{2,\text{erf}}: \text{WENN}(\alpha=0; k_{1,\text{erf}}; \text{MAX}(20+30+d; a_{2,b}+a_{2,u}) + (n_1 - 1) \cdot a_2) = 160 \text{ mm} \leq h_2$$

### Steifigkeit der Verbindung (SIA 265\_6.8.3.6)

Die gesamte Deformation einer Verbindung setzt sich zusammen aus Schlupf (**1mm** nach SIA 265\_6.8.3.5), elastische Verformung und Langzeitdeformation (Kriechen). Bei einer grossen Anzahl an Verbindungsmittel kann der Schlupf gleich Null angenommen werden.

Verschiebungsmodul pro Ringdübel:

$$\text{Verschiebungsmodul } k_{\text{ser}} = \eta_{w,s} \cdot \left( 1 - \frac{\alpha}{90} \cdot 0.5 \right) \cdot d^2 / 1000 = 10.00 \text{ kN/mm}$$

$$\text{Kraft pro Ringdübel } F_{N,\text{ser}} = \frac{F_{Z,\text{Ed,ser}}}{n_{\text{tot}} \cdot p} = \frac{45.00}{2 \cdot 2} = 11.25 \text{ kN}$$

$$\text{Elastische Verschiebung } \delta_{\text{el}} = \frac{F_{N,\text{ser}}}{k_{\text{ser}}} = \frac{11.25}{10.00} = 1.13 \text{ mm}$$

$$\text{Kriechzahl } \varphi = \text{TAB}(\text{"SIA265/KriechZ"}; Kz; GR=\text{Mat}_S; FK=KL) = 0.60$$

$$\text{Langzeitverschiebung } \delta_{\infty} = \delta_{\text{el}} \cdot (1 + \varphi) = 1.8 \text{ mm}$$

Federsteifigkeit des Anschlusses:

$$k = \frac{F_{Z,\text{Ed,ser}} \cdot 1000}{\delta_{\text{el}}} = \frac{45.00 \cdot 1000}{1.13} = 39823 \text{ kN/m}$$



### Berechnung Tragwiderstand Bolzen (Y-Richtung)

Beanspruchung auf Zug

SIA 263\_ Tabelle 2:

$$\text{Festigkeitsklasse St} = \text{GEW}(\text{"SIA263/Stahl"; S; }) = 4.6$$

SIA 263 (72)

$$\text{Spannungs-QS } A_s = \pi * \frac{d_{BS}^2}{4} = 3.14159 * \frac{14^2}{4} = 154 \text{ mm}^2$$

SIA 263\_ Tabelle 2:

$$\text{Zugfestigkeit } f_{ub} = \text{TAB}(\text{"SIA263/Stahl"; fu; S=St}) = 400 \text{ N/mm}^2$$

SIA 263\_6.2.2.1 Tabelle 16:

$$\text{Zugwiderstand } F_{t,Rd} = 0.9 * \frac{f_{ub} * A_s}{1.25} / 10^3 = 44.35 \text{ kN}$$

$$R_{d,verb} = \eta_{tot} * F_{t,Rd} = 88.70 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{F_{Y,Ed}}{R_{d,verb}} = \frac{15.00}{88.70} = 0.17 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

Das Durchziehen des Schraubenkopfes resp. der Unterlagscheibe muss auch überprüft werden:

$$\text{Durchmesser Unterlagscheibe } d_{US} = \text{TAB}(\text{"Verbindungsmittel/RingD"; US; d=d}) = 52 \text{ mm}$$

$$\text{Fläche Unterlagscheibe } A_{US} = \pi * \frac{d_{US}^2}{4} - \pi * \frac{d_{BL}^2}{4} = 1923 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{Y,Ed} * 1000}{A_{US} * \eta_{tot}} = 3.90 \text{ N/mm}^2$$

Für die Druckfestigkeit  $\perp$  zur Faserrichtung muss zuerst die Situation der Schraubenverbindung bestimmt werden:

$$\text{Situation S: } \text{GEW}(\text{"SIA265/fc90d"; AL; FK=FK_S}) = \text{Vorholz grössere Eindrückungen}$$

$$f_{c,90,d} = \text{TAB}(\text{"SIA265/fc90d"; fc90d; AL=S; FK=FK_S}) = 4.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{c,90,d}}{\eta_w * \eta_t * f_{c,90,d}} = \frac{3.90}{1.0 * 1.0 * 4.0} = 0.97 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



## Nachweis Seitenholz auf Zug

Sowohl die Ringdübel als auch die Bolzenlöcher müssen als Querschnittsverminderung berücksichtigt werden (SIA 265 Figur 36).

$$\text{Anzahl Ringdübel für Querschnittsverminderung } S = n_{\text{tot}}/n_1 = 1$$

Querschnittsverminderung durch halbe Ringdübelbreite:

$$\text{Abzug } A_{RD} = d * b / 2 = 1300 \text{ mm}^2$$

Querschnittsverminderung durch Bolzenloch (Ringdübel bereits in  $A_{RD}$  inbegriffen!)

$$\text{Abzug } A_{BL} = S * \left( d_{BL} * \left( t_1 - \frac{b}{2} \right) \right) = 912 \text{ mm}^2$$

$$\text{Nettoquerschnitt } A_{\text{netto}} = t_1 * h_1 - (A_{RD} + A_{BL}) = 8988 \text{ mm}^2$$

Die Zugspannungen resp. Druckspannungen im Nettoquerschnitt müssen untersucht werden. Massgebend ist die Zugspannung.

$$\text{Zugspannung } \sigma_{t,0,d} = \frac{F_{Z,Ed} * 10^3}{A_{\text{netto}}} = 6.68 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zugfestigkeit } f_{t,0,d,S} = \text{TAB}(\text{"SIA265/Holz"; } f_{t0d}; \text{FK=FK}_S) = 12.0 \text{ N/mm}^2$$

Reduktion der Festigkeit um ein Drittel zur näherungsweise Berücksichtigung der Zustmomente bei einseitig beanspruchten Bauteilen (SIA 265-6.1.1.10 und DIN 11.1.2)

$$\text{reduzierte Zugfestigkeit } f_{t,0,d,S,\text{red}} = \frac{2}{3} * f_{t,0,d,S} * \eta_w * \eta_t = 8.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d,S,\text{red}}} = \frac{6.68}{8.00} = 0.83 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

## Kapitel Brandschutz

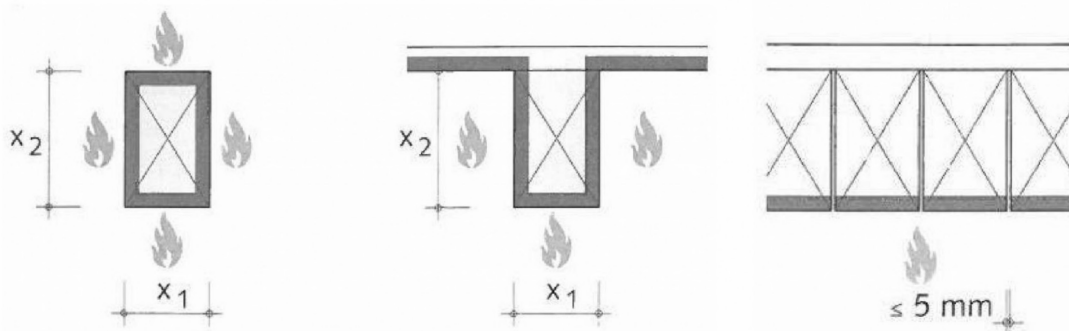
### Restquerschnitt ungeschützt

Ermittlung des ideellen Restquerschnitts eines ungeschützten tragenden Vollquerschnitts

$$\text{Feuerwiderstand R: GEW("SIABrand/Zeit"; R; )} = \underline{\text{R30}}$$

Zeitdauer t der Brandbeanspruchung des Querschnitts:  
 $t = \text{TAB("SIABrand/Zeit"; t; R=R)} = 30 \text{ min}$

Abbrand und Restquerschnitt :



**Ausgangsquerschnitte:**

Mindestabmessungen für  $x_1$  und  $x_2$ :

$$\text{Breite } x_1: \text{ WENN}(R=\text{"R30"}; 80; 140) = 80 \text{ mm}$$

$$\text{Höhe } x_2: \text{ WENN}(R=\text{"R30"}; 80; 140) = 80 \text{ mm}$$

$$\text{Breite Ausgangsquerschnitt } b = 80 \text{ mm} \geq x_1$$

$$\text{Höhe Ausgangsquerschnitt } h = 140 \text{ mm} \geq x_2$$

**Holz:**

$$\text{Holzart } H_a = \text{GEW("SIABrand/Rate"; H_a; )} = \text{Nadelholz (Vollholz)}$$

**Parameter:**

$$\text{Schichtdicke } d_{\text{red}} = \text{TAB("SIABrand/Zeit"; d_{\text{red}}; R=R)} = 7 \text{ mm}$$

$$\text{Abbrandrate } \beta_n = \text{TAB("SIABrand/Rate"; \beta_n; H_a=H_a)} = 0.8 \text{ mm/min}$$

$$\text{Abbrandtiefe } d_{\text{char},n} = \beta_n * t = 24.0 \text{ mm}$$

$$\text{Effektive Abbrandtiefe } d_{\text{ef}} = d_{\text{char},n} + d_{\text{red}} = 31.0 \text{ mm}$$

**Ideeller Restquerschnitt:**

Abbrand gemäss Abbildung:

$$\text{Abbrand } A_b = \text{GEW("SIABrand/Seiten"; A_b; )} = \text{vierseitig}$$

$$b_{\text{fi}} = \text{WENN}(A_b=\text{"einseitig"}; ; b - 2 * d_{\text{ef}}) = 18.0 \text{ mm}$$

$$h_{\text{fi}} = \text{WENN}(A_b=\text{"vierseitig"}; h - 2 * d_{\text{ef}}; h - d_{\text{ef}}) = 78.0 \text{ mm}$$

### Restquerschnitt ungeschützte HWS

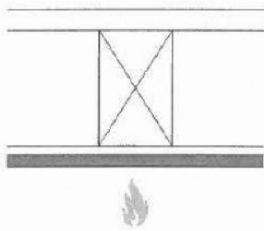
#### Ermittlung des ideellen Restquerschnitts für ungeschützte flächige Holzwerkstoffe

$$\begin{aligned} \text{Feuerwiderstand R: } & \text{GEW("SIABrand/Zeit"; R; )} & = & \text{R60} \\ t_{fi,erf} = & \text{TAB("SIABrand/Zeit"; t; R=R)} & = & 60 \text{ min} \end{aligned}$$

Zeitdauer t der direkten Brandbeanspruchung des Querschnitts:

$$t = t_{fi,erf} = 60.0 \text{ min}$$

#### Abbrand und Restdicke für ungeschützte Schichten aus flächigen Holzwerkstoffen



zu berücksichtigender Abbrand

**Platte BS:** GEW("SIABrand/HWS";HWS;) **Spanplatten**

**Dicke d =** **15.0 mm**

**Rohdichte  $\rho_k$  =** **500 kg/m<sup>3</sup>**

**Zusätzliche Angaben für mehrlagige Massivholzplatten**

**Anzahl der Schichten a=** **0**

**Dicke der dünnsten Lamelle h=** **0 mm**

#### Abbrandrate

$$\text{Ideelle Abbrandrate } \beta_n = \text{TAB("SIABrand/HWS"; bn; HWS=BS)} = 0,9 \text{ mm/min}$$

$$\beta_{n,p,d,1} = \text{WENN}(BS \neq \text{"einlagige MSP"} \text{ UND } BS \neq \text{"mehrlagige MSP"}; \text{MAX}((\beta_n * \sqrt{\frac{450}{\rho_k}} * \text{MAX}(\sqrt{\frac{20}{d}}; 1)); 0.65); 0) = 0.99 \text{ mm/min}$$

$$\beta_{n,p,d,2} = \text{WENN}(BS = \text{"mehrlagige MSP"}; \text{WENN}(a \geq 3 \text{ UND } h \geq 18 \text{ UND } d > 80; 0.8 * \beta_n; 0) = 0.00 \text{ mm/min}$$

$$\beta_{n,p,d,3} = \text{WENN}(BS = \text{"einlagige MSP"}; \beta_n; 0) = 0.00 \text{ mm/min}$$

$$\beta_{n,p,d} = \text{MAX}(\beta_{n,p,d,1}; \beta_{n,p,d,2}; \beta_{n,p,d,3}) = 0.99 \text{ mm/min}$$

#### Effektive Abbrandtiefe

$$\text{Abbrandtiefe } d_{char,n} = \beta_{n,p,d} * t = 59.4 \text{ mm}$$

$$\text{Schichtdicke } d_{red} = \text{TAB("SIABrand/Zeit"; d_{red}; R=R) = 7 \text{ mm}$$

$$\text{Effektive Abbrandtiefe } d_{ef} = d_{char,n} + d_{red} = 66.4 \text{ mm}$$

#### Ideelle Resthöhe des flächigen Holzbauteils

$$d_{fi} = d - d_{ef} = 15.0 - 66.4 = -51.4 \text{ mm}$$

**Die Restdicke der untersuchten Schicht beträgt xxx mm.**

### Restquerschnitt anfangs geschützt

#### Ermittlung des ideellen Restquerschnitts für anfangs geschützte tragende Bauteile

$$\begin{aligned} \text{Feuerwiderstand R: } & \text{GEW("SIABrand/Zeit"; R; )} & = & \text{R60} \\ t_{fi,erf} = & \text{TAB("SIABrand/Zeit"; t; R=R)} & = & 60 \text{ min} \end{aligned}$$

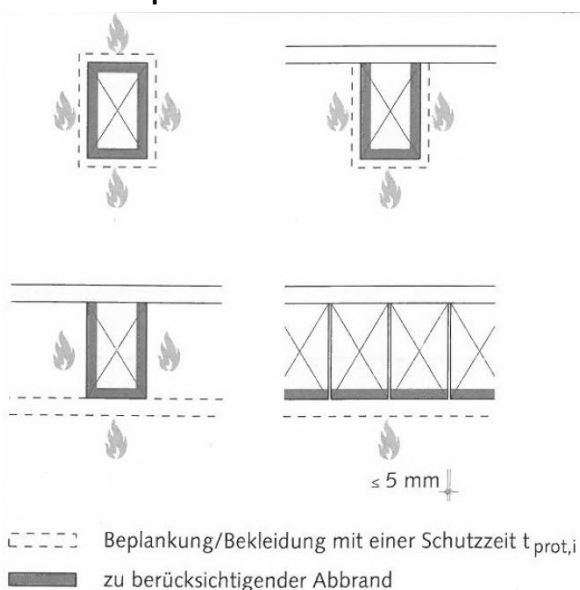
Schutzzeit  $t_{prot}$  der Beplankung/Bekleidung gemäss Lignum-Dok. Kap. 2.2.1

$$t_{prot} = 42 \text{ min}$$

Zeitdauer  $t$  der direkten Brandbeanspruchung des Querschnitts:

$$t = t_{fi,erf} - t_{prot} = 18 \text{ min}$$

#### Abbrand und Restquerschnitt :



#### Ausgangsquerschnitte:

Bei anfänglich geschützten Bauteilen sind keine Mindestabmessungen für  $x_1$  und  $x_2$  einzuhalten.

$$\text{Breite Ausgangsquerschnitt } b = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Höhe Ausgangsquerschnitt } h = 140 \text{ mm}$$

#### Holz:

$$\text{Holzart } H_a = \text{GEW("SIABrand/Rate"; H_a; )} = \text{Nadelholz (Vollholz)}$$

#### Parameter:

$$\text{Schichtdicke } d_{red} = \text{TAB("SIABrand/Zeit"; d_{red}; R=R)} = 7 \text{ mm}$$

$$\text{Abbrandrate } \beta_n = \text{TAB("SIABrand/Rate"; \beta_n; H_a=H_a)} = 0.8 \text{ mm/min}$$



### Abbrand während den ersten 15 Minuten nach dem Versagen der Beplankung/Bekleidung

$$\text{Zeitdauer } t_{15} = \text{WENN}(t < 15; t; 15) = 15 \text{ min}$$

$$\text{Abbrandtiefe } d_{\text{char},n,15} = 2 * \beta_n * t_{15} = 24.0 \text{ mm}$$

### Abbrand ab 15 Minuten nach dem Versagen der Beplankung/Bekleidung

$$\text{Zeitdauer } t_{\text{rest}} = t - t_{15} = 3 \text{ min}$$

$$\text{Abbrandtiefe } d_{\text{char},n,\text{rest}} = \beta_n * t_{\text{rest}} = 2.4 \text{ mm}$$

### Abbrandtiefe

$$\text{Effektive Abbrandtiefe } d_{\text{ef}} = d_{\text{char},n,15} + d_{\text{char},n,\text{rest}} + d_{\text{red}} = 33.4 \text{ mm}$$

### Ideeller Restquerschnitt:

Abbrand gemäss Abbildung:

$$\text{Abbrand } Ab = \text{GEW}(\text{"SIABrand/Seiten"; } Ab; ) = \text{vierseitig}$$

$$b_{\text{fi}} = \text{WENN}(Ab = \text{"einseitig"; } b; b - 2 * d_{\text{ef}}) = 33.2 \text{ mm}$$

$$h_{\text{fi}} = \text{WENN}(Ab = \text{"vierseitig"; } h - 2 * d_{\text{ef}}; h - d_{\text{ef}}) = 73.2 \text{ mm}$$

### Restquerschnitt anfangs geschützte HWS

Ermittlung des ideellen Restquerschnitts für anfangs geschützte flächige Holzwerkstoffe

$$\begin{aligned} \text{Feuerwiderstand R: } & \text{GEW("SIABrand/Zeit"; R; )} & = & \text{R60} \\ t_{fi,erf} = & \text{TAB("SIABrand/Zeit"; t; R=R)} & = & 60 \text{ min} \end{aligned}$$

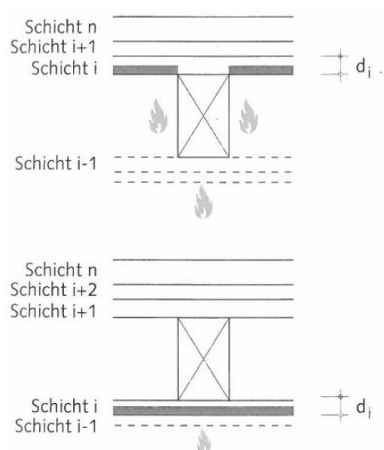
Schutzzeit  $t_{prot}$  der Beplankung/Bekleidung gemäss Lignum-Dok. Kap. 2.2.1

$$t_{prot} = 49.2 \text{ min}$$

Zeitdauer  $t$  der direkten Brandbeanspruchung des Querschnitts:

$$t = t_{fi,erf} - t_{prot} = 10.8 \text{ min}$$

**Abbrand und Restdicke für geschützte Schichten aus flächigen Holzwerkstoffen** nach dem Versagen der Beplankung/ Bekleidung gemäss Abbildung:



□ □ □ □ Beplankung/Bekleidung mit einer Schutzzeit  $t_{prot,i}$

■ zu berücksichtigender Abbrand

$$\text{Schutzzeit der untersuchten Schicht } t_{prot,i} = 23.0 \text{ min}$$

$$\text{Dicke der untersuchten Schicht } d_i = 27.0 \text{ mm}$$

$$\text{Schichtdicke } d_{red} = \text{TAB("SIABrand/Zeit"; dred; R=R)} = 7 \text{ mm}$$

$$\text{Abbrandrate } \beta_n = \frac{d_i}{t_{prot,i}} = 1.17 \text{ mm/min}$$

$$\text{Abbrandtiefe } d_{char,n} = \beta_n * t = 12.6 \text{ mm}$$

$$\text{Effektive Abbrandtiefe } d_{ef} = d_{char,n} + d_{red} = 19.6 \text{ mm}$$

$$\text{Restdicke } d_{fi} = d_i - d_{ef} = 7.4 \text{ mm}$$



### Restquerschnitt anfangs geschützt und seitlich Mineralwolle

Ermittlung des ideellen Restquerschnitts für anfangs geschützte Bauteile (seitlich Mineralwolle)

Feuerwiderstand R: GEW("SIABrand/Zeit"; R; ) = **REI60**

$t_{fi,erf} =$  TAB("SIABrand/Zeit"; t; R=R) = 60 min

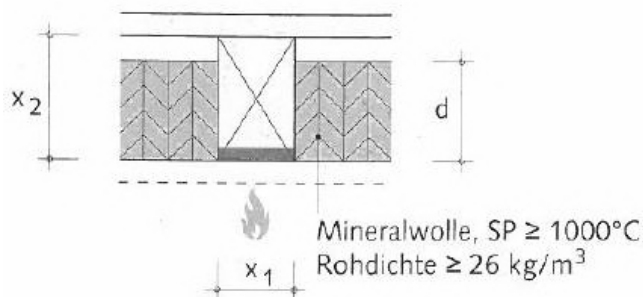
Schutzzeit  $t_{prot}$  der Beplankung/Bekleidung gemäss Lignum-Dok. Kap. 2.2.1

$t_{prot} =$  30 min

Zeitdauer t der direkten Brandbeanspruchung des Querschnitts:

$t = t_{fi,erf} - t_{prot} = 30$  min

**Abbrand und Restquerschnitt :**



**Ausgangsquerschnitte:**

Voraussetzungen:  $x_1 \geq 40$  mm; wenn  $x_1 \leq 100$  mm:  $x_2 \geq x_1$

Breite Ausgangsquerschnitt b = 40 mm  $\geq$  40 mm

Höhe Ausgangsquerschnitt h = 100 mm

**Kontrolle Voraussetzungen Tab.333-3**

Kontrolle: WENN( $b \leq 100$  UND  $h \geq b$ ; h; ) = 100 mm

**Holz:**

Holzart Ha = GEW("SIABrand/Rate"; HA; ) = Nadelholz (Vollholz)

**Parameter:**

Schichtdicke  $d_{red} =$  TAB("SIABrand/Zeit"; dred2; R=R) = 14 mm

Abbrandrate  $\beta_n =$  TAB("SIABrand/Rate";  $\beta_n$ ; HA=Ha) = 0.8 mm/min



### Abbrand während den ersten 15 Minuten nach dem Versagen der Beplankung/Bekleidung

$$\begin{aligned} \text{Zeitdauer } t_{15} &= \text{WENN}(t < 15; t; 15) &= 15 \text{ min} \\ \text{Abbrandtiefe } d_{\text{char},n,15} &= 2 * \beta_n * t_{15} &= 24.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

### Abbrand ab 15 Minuten nach dem Versagen der Beplankung/Bekleidung

$$\begin{aligned} \text{Zeitdauer } t_{\text{rest}} &= t - t_{15} &= 15 \text{ min} \\ \text{Abbrandtiefe } d_{\text{char},n,\text{rest}} &= \text{WENN}(b < 80; 2 * \beta_n * t_{\text{rest}}; \beta_n * t_{\text{rest}}) &= 24.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

### Abbrandtiefe

$$\text{Effektive Abbrandtiefe } d_{\text{ef}} = d_{\text{char},n,15} + d_{\text{char},n,\text{rest}} + d_{\text{red}} = 62.0 \text{ mm}$$

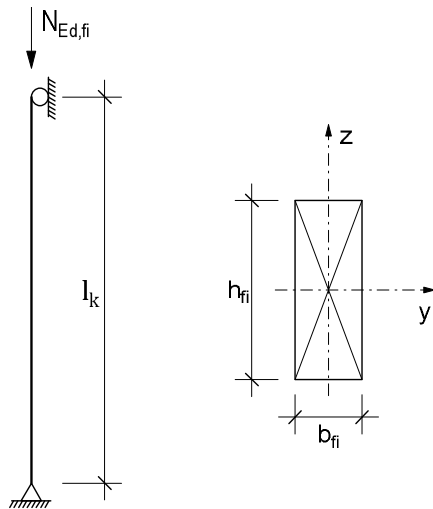
### Ideeller Restquerschnitt:

Abbrand gemäss Abbildung:

$$b_{\text{fi}} = b = 40.0 \text{ mm}$$

$$h_{\text{fi}} = h - d_{\text{ef}} = 38.0 \text{ mm}$$

### Bemessung Knicken Stütze im Brandfall (nach Lignum-Dok. 3.1)



#### Eingaben

**Knicklänge  $l_k$  = 3000 mm**

Feuchteklasse KL:	GEW("SIA265/FK"; F; )	=	1
Beiwert $\eta_{w,fi}$ :	TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL)	=	1.0
Beiwert $\eta_{t,fi}$ :	TAB("SIABrand/Beiw"; $\eta_t$ ; ln=1)	=	1.0
Beiwert $\eta_{M,fi}$ :	TAB("SIABrand/Beiw"; $\eta_M$ ; ln=1)	=	1.0
Beiwert $\gamma_{M,fi}$ :	TAB("SIABrand/Beiw"; $\gamma_M$ ; ln=1)	=	1.0

#### Stütze

**Ideelle Restbreite  $b_{fi}$  = 65.0 mm**

**Ideelle Resthöhe  $h_{fi}$  = 160.0 mm**

Baustoff BS:	GEW("SIA265/HolzK"; B; )	=	Brettschichtholz
Festigkeitsklasse FK:	GEW("SIA265/HolzK"; FK; B=BS)	=	GL24h

Faktor $k_{fi}$ =	TAB("SIABrand/kfi"; kfi; B=BS)	=	1.15
$f_{c,0,k}$ =	TAB("SIA265/HolzK"; fc0k; FK=FK)	=	24.0 N/mm <sup>2</sup>
$E_{0,05}$ =	TAB("SIA265/Holz"; E005; FK=FK)	=	9400 N/mm <sup>2</sup>

$$f_{c,0,d,fi} = \frac{\eta_{M,fi} \cdot \eta_{t,fi} \cdot \eta_{w,fi}}{\gamma_{M,fi}} \cdot k_{fi} \cdot f_{c,0,k} = 27.60 \text{ N/mm}^2$$



## Einwirkungen

### Ständige Einwirkungen (aus Belastungsannahme)

Eigengewicht + Auflast

$$N_{g,k} = 40.00 \text{ kN}$$

### Veränderliche Leiteinwirkung

$$N_{q,k} = 50.00 \text{ kN}$$

$$\text{Kat} = \text{GEW}(\text{"SIA260/Red"; EW; }) = \text{Kat. A Wohnfläche}$$

$$\text{Meereshöhe } h_M = 350 \text{ m}$$

Reduktionsbeiwert gemäss SIA 260 Tabelle 2

$$\psi_2 = \text{TAB}(\text{"SIA260/Red"; } \psi_2; \text{EW=Kat; h=h}_M) = 0.30$$

## Grenzzustand Tragsicherheit Typ 2

Aussergewöhnliche Bemessungssituation Brand nach SIA 260 (17):

-Eigenlast + Auflast + Nutzlast

$$\text{Bemessungswert Brandfall } N_{Ed,fi} = N_{g,k} + \psi_2 * N_{q,k} = 40.00 + 0.30 * 50.00 = 55.00 \text{ kN}$$

## Querschnittswerte

$$\text{Querschnittsfläche } A_{fi} = b_{fi} * h_{fi} = 10400 \text{ mm}^2$$

## Nachweise

Knickbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.8):

### Um die starke Achse (Y-Achse)

$$\text{Trägheitsradius } i_y = \frac{h_{fi}}{\sqrt{12}} = \frac{160.0}{\sqrt{12}} = 46.19 \text{ mm}$$

$$\text{geom. Schlankheit } \lambda = \frac{l_k}{i_y} = \frac{3000}{46.19} = 64.95$$

$$\text{rel. Schlankheit } \lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{64.95}{3.14159} * \sqrt{\frac{24.0}{9400}} = 1.04$$

$$\text{Hilfswert } \beta_c = \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"; } 0.1; 0.2) = 0.1$$

$$\text{Faktor } k = 0.5 * \left( 1 + \beta_c * (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2 \right) = 1.08$$

$$\text{Knickbeiwert } k_c = \text{MIN}\left(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}; 1\right) = 0.73$$

$$\text{Tragfähigkeit } N_{Rd,fi} = k_c * f_{c,0,d,fi} * A_{fi} * 10^{-3} = 209.54 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd,fi}} = \frac{55.00}{209.54} = 0.26 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"; "Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$



Knickbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.8):

**Um die schwache Achse (Z-Achse)**

$$\text{Trägheitsradius } i_z = \frac{b_{fi}}{\sqrt{12}} = \frac{65.0}{\sqrt{12}} = 18.76 \text{ mm}$$

$$\text{geom. Schlankheit } \lambda = \frac{l_k}{i_z} = \frac{3000}{18.76} = 159.91$$

$$\text{rel. Schlankheit } \lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{159.91}{3.14159} \cdot \sqrt{\frac{24.0}{9400}} = 2.57$$

$$\text{Hilfswert } \beta_c = \text{WENN}(\text{BS}=\text{"Brettschichtholz"}; 0.1; 0.2) = 0.1$$

$$\text{Faktor } k = 0.5 \cdot \left( 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2 \right) = 3.92$$

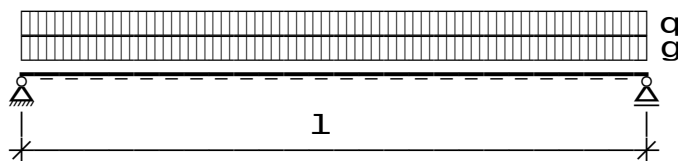
$$\text{Knickbeiwert } k_c = \text{MIN}\left(\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}; 1\right) = 0.15$$

$$\text{Tragfähigkeit } N_{Rd,fi} = k_c \cdot f_{c,0,d,fi} \cdot A_{fi} \cdot 10^{-3} = 43.06 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung: } \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd,fi}} = \frac{55.00}{43.06} = 1.28 < 1$$

$$\text{WENN}(\text{Ausnutzung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt !"}) = \text{Nachweis nicht erfüllt !}$$

### Bemessung Biegeträger im Brandfall (nach Lignum-Dok. 3.1)



#### Eingaben

Spannweite  $l =$  **6000 mm**  
 Kipphalterungsabstand  $a =$  **6000 mm**

Feuchteklasse KL: GEW("SIA265/FK"; F; ) = 1  
 Beiwert  $\eta_{w,fi}$ : TAB("SIA265/FK"; FR; F=KL) = 1.0  
 Beiwert  $\eta_{t,fi}$ : TAB("SIABrand/Beiw";  $\eta_t$ ; ln=1) = 1.0  
 Beiwert  $\eta_{M,fi}$ : TAB("SIABrand/Beiw";  $\eta_M$ ; ln=1) = 1.0  
 Beiwert  $\gamma_{M,fi}$ : TAB("SIABrand/Beiw";  $\gamma_M$ ; ln=1) = 1.0

#### Träger

Ideelle Restbreite  $b_{fi} =$  **110.0 mm**  
 Ideelle Resthöhe  $h_{fi} =$  **185.0 mm**

Baustoff BS: GEW("SIA265/HolzK"; B; ) = Brettschichtholz  
 Festigkeitsklasse FK: GEW("SIA265/HolzK"; FK; B=BS) = GL24h

Faktor  $k_{fi} =$  TAB("SIABrand/kfi"; kfi; B=BS) = 1.15  
 $f_{m,k} =$  TAB("SIA265/HolzK"; fmk; FK=FK) = 24.0 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{v,k} =$  TAB("SIA265/HolzK"; fvk; FK=FK) = 2.5 N/mm<sup>2</sup>  
 E-Modul  $E_{0,05} =$  TAB("SIA265/Holz"; E005; FK=FK) = 9400 N/mm<sup>2</sup>

$f_{m,d,fi} = \frac{\eta_{M,fi} \cdot \eta_{t,fi} \cdot \eta_{w,fi}}{\gamma_{M,fi}} \cdot k_{fi} \cdot f_{m,k} = 27.60 \text{ N/mm}^2$

$f_{v,d,fi} = \frac{\eta_{M,fi} \cdot \eta_{t,fi} \cdot \eta_{w,fi}}{\gamma_{M,fi}} \cdot k_{fi} \cdot f_{v,k} = 2.88 \text{ N/mm}^2$

#### Einwirkungen

##### Ständige Einwirkungen (aus Belastungsannahme)

Eigengewicht + Auflast

$g'_k =$  **2.20 kN/m**

##### Veränderliche Leiteinwirkung

$q'_k =$  **1.80 kN/m**

Kat = GEW("SIA260/Red"; EW; ) = Schnee

Meereshöhe  $h_M =$  450 m

Reduktionsbeiwert gemäss SIA 260 Tabelle 2

$\psi_2 =$  TAB("SIA260/Red";  $\psi_2$ ; EW=Kat; h= $h_M$ ) = 0.00



## Grenzzustand Tragsicherheit Typ 2

Aussergewöhnliche Bemessungssituation Brand nach SIA 260 (17):  
-Eigenlast + Auflast + Nutzlast

$$\text{Bemessungswert Brandfall } q_{fi} = g'_k + \psi_2 * q'_k = 2.20 + 0.00 * 1.80 = 2.20 \text{ kN/m}$$

### Querschnittswerte

$$\text{Querschnittsfläche } A_{fi} = b_{fi} * h_{fi} = 20350 \text{ mm}^2$$

$$\text{Widerstandsmoment } W_{y,fi} = \frac{b_{fi} * h_{fi}^2}{6} = 627458 \text{ mm}^3$$

### Schnittgrößen

$$\text{Biegemoment Brandfall } M_{Ed,fi} = \frac{q_{fi} * l^2}{8} * 10^{-6} = 9.90 \text{ kNm}$$

$$\text{Querkraft Brandfall } V_{Ed,fi} = \frac{q_{fi} * l}{2} * 10^{-3} = 6.60 \text{ kN}$$

### Nachweise

Kippbeiwertermittlung (SIA 265\_4.2.9.3):

$$\lambda_{rel,m} = 1.15 * \frac{\sqrt{a * h_{fi}}}{b_{fi}} * \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 0.56$$

$$\text{Kippbeiwert } k_m = \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 0.75; 1; \text{WENN}(\lambda_{rel,m} \leq 1.4; 1.56 - 0.75 * \lambda_{rel,m}; 1 / \lambda_{rel,m}^2)) = 1.00$$

$$\text{Tragfähigkeit } M_{Rd,fi} = k_m * f_{m,d,fi} * W_{y,fi} * 10^{-6} = 17.32 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung Biegung} = \frac{M_{Ed,fi}}{M_{Rd,fi}} = \frac{9.90}{17.32} = 0.57 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Biegung} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$

$$\text{Tragfähigkeit } V_{Rd,fi} = \frac{f_{v,d,fi} * A_{fi} * 10^{-3}}{1.5} = 39.07 \text{ kN}$$

$$\text{Ausnutzung Schub} = \frac{V_{Ed,fi}}{V_{Rd,fi}} = \frac{6.60}{39.07} = 0.17 \leq 1$$

$$\text{WENN}(\text{Schub} \leq 1; \text{"Nachweis erfüllt"}; \text{"Nachweis nicht erfüllt"}) = \text{Nachweis erfüllt}$$