



## Vorbemerkungen

### **Inhalt**

Vorlagen für statische Nachweise im Stahlbau nach DIN EN 1993

### **Hinweise zu Anwendung**

Die rechenfähigen Vorlagen können mit VCmaster interaktiv genutzt werden.

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  
Windows 7 oder höher

### **Entwicklung und Rechte**

Entwickelt in Deutschland  
VCmaster ist eine registrierte Marke  
© Veit Christoph GmbH  
[www.VCmaster.com](http://www.VCmaster.com)



### Inhalt

<b>Vorbemerkungen</b>	1
<b>Inhalt</b>	2
<b>Kapitel Fußpunkte und Auflager</b>	5
Stützenfuß unter Normalkraft und Moment	5
Doppel-T-Profil mit überstehender Fußplatte (N)	8
Doppel-T-Profil mit überstehender Fußplatte (N+V)	11
Doppel-T-Profil mit überstehender Fußplatte auf Einzelfundament	14
Doppel-T-Profil mit bündiger Fußplatte	17
Bündige Fußplatte mit Schubdollen	19
Quadrathohlprofil mit unausgesteifter überstehender Fußplatte	23
Rohrstütze mit überstehender Fußplatte	26
Versteifte Fußplatte	28
Stützeinspannung in ein Köcherfundament	35
Stützeinspannung in Köcherfundament (Parabel-Rechteck-Diagramm)	39
Knaggenanschluss mit rippenloser Lasteinleitung	43
Knaggenanschluss mit Lasteinleitung über Rippen	45
Kraffeinleitung Träger auf Träger	48
<b>Kapitel Schraubverbindungen</b>	55
Firststoß	55
Gelenkstoß	60
Geschraubter Biegeträger	64
Momentenverbindung	71
Geschraubter Laschenanschluss, gleitfest	73
Geschraubter Laschenanschluss, mehrschnittig	75
Scher- und Lochleibungsverbindung:	77
Geschraubter Querkraftanschluss	79
Blockversagen von Schraubengruppen	83
Träger mit Anschlussblech	85
Träger mit Anschlussblech und Ausklinkung	89
Trägeranschluss mit Winkeln	94
Beidseitiger Deckenträgeranschluss an Unterzug	100
Biegesteifer Deckenträgeranschluss	104
Stirnplattenanschluss an Stütze	110
Stirnplattenanschluss mit Ausklinkung	113



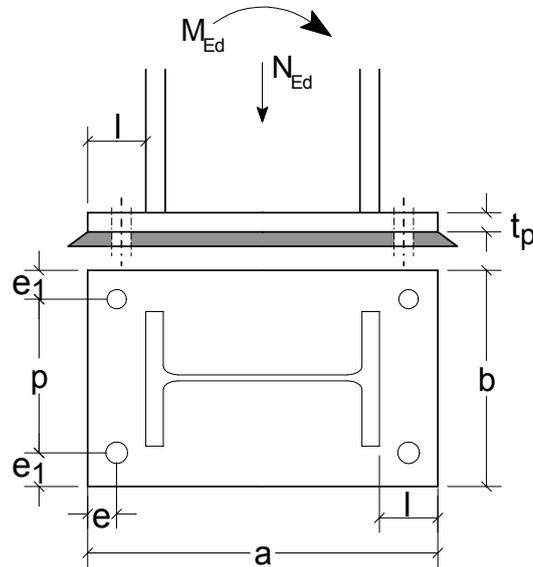
Biegesteifer Trägerstoß mit Laschen	117
Aufgehängter Träger	124
Zentrischer Anschluss zweier gleichschenkliger Doppelwinkel	127
Augenstab	131
Geschraubte Rahmenecke mit Voute	134
Geschraubte Rahmenecke mit Doppelvoute	147
Geschraubter Schräganschluss	163
<b>Kapitel Schweißverbindungen</b>	<b>165</b>
Konsole mit T-Querschnitt	165
Knotenblechanschluß geschweißt	169
Geschweißter Biegeträger	171
Doppel-Winkel an Knotenblech	174
Zugstabanschluss an Knotenblech	176
Geschweißter Anschluss Rechteckquerschnitt	179
Geschweißter Biegeträger (vereinfacht)	181
Geschweißter Biegeträger (richtungsbezogen)	184
Geschweißter Biegeträger mit Verstärkungslamellen (Klasse 1)	188
Geschweißter Biegeträger mit Verstärkungslamellen (Klasse 4)	191
Biegesteife Rahmenecke mit Voute	194
Biegesteife Rahmenecke mit Zuglasche	204
Biegesteife Rahmenecke mit Zuglasche und Schrägsteife	213
Biegeträger mit aufgeschweißtem Zusatzblech	224
<b>Kapitel Stabilitätsnachweise</b>	<b>226</b>
Unversteiftes Beulfeld	226
Ermittlung der Querschnittsklasse von I-Profilen	230
Ideales Biegedrillknickmoment $M_{cr}$	231
Winkel-Profil als Druckstab	233
T-Profil als Druckstab	239
Stütze unter Drucknormalkraft	245
Stütze unter Drucknormalkraft (gehalten)	248
Stütze mit Kopfmoment und Normalkraft	251
Aussenstütze mit einachsiger Biegung und Druck	255
Aussenstütze mit einachsiger Biegung und Druck (gehalten)	259
Stütze als mehrteiliger Druckstab / Rahmenstab	263
Einfeldträger aus I-Profil	269
Einfeldträger unter Biegung, Querkraft und Normalkraft	271



Einfeldträger mit zweiachsigter Biegung	276
Biegedrillknicken eines Einfeldträgers (Last im Schwerpunkt)	278
Biegedrillknicken eines Einfeldträgers (Lastangriff oben)	281
Biegedrillknicken eines Einfeldträgers (Lastangriff unten)	284
Biegedrillknicken eines Einfeldträgers (Lastangriff frei)	287
<b>Kapitel Fachwerkknoten</b>	<b>291</b>
Fachwerk aus kreisförmigen Hohlprofilen	291
Fachwerk aus quadratischen Hohlprofilen	295
Fachwerkknoten aus quadratischen Hohlprofilen (überlappt)	298
Dachverband	301
<b>Kapitel Knickbeiwerte</b>	<b>303</b>
Gelenkrahmen mit Pendelstütze	303
Gelenkrahmen mit n Pendelstützen	304
Kragstütze mit Pendelstütze	305
Kragstütze mit n Pendelstützen	306
Elastisch eingespannter Stab mit n Pendelstützen	307
Zweischiffiger Rahmen eingespannt	308
Zweischiffiger Rahmen gelenkig	309
Geschlossener Rahmen mit n Pendelstützen	311
Zweigelenkrahmen mit n Pendelstützen	313

# Kapitel Fußpunkte und Auflager

## Stützenfuß unter Normalkraft und Moment



### Belastung:

$N_{Ed} =$	1000,00 kN
$M_{Ed} =$	221,75 kNm

### System:

Randabstand $e =$	45,0 mm
Randabstand $e_1 =$	100,0 mm
Schraubenabstand $p =$	300,0 mm
Anschlussblechbreite $b =$	500,00 mm
Anschlussblechlänge $a =$	500,0 mm
Anschlussblechdicke $t_p =$	30,0 mm
Überstandslänge $l =$	100,0 mm
Schweißnahtdicke $a_w =$	10,0 mm
Fundamentüberstand $a_r =$	1000,0 mm
Fundamenthöhe $h =$	1400,0 mm
(idR) Lagerfugenbeiwert $\beta_j =$	$\frac{2}{3} = 0,67$

Profilreihe Typ =	GEW("EC3_de/Profile"; ID; )	=	HEB
Gewähltes Profil =	GEW("EC3_de/Typ; ID; )	=	HEB 300
Trägheitsmoment $I_{y1} =$	TAB("EC3_de/Typ; I <sub>y</sub> ; ID=Profil)	=	25170,00 cm <sup>4</sup>
Flanschbreite $b_f =$	TAB("EC3_de/Typ; b; ID=Profil)	=	300,00 mm
Flanschdicke $t_f =$	TAB("EC3_de/Typ; t <sub>f</sub> ; ID=Profil)	=	19,00 mm
Trägerhöhe $h_t =$	TAB("EC3_de/Typ; h; ID=Profil)	=	300,00 mm
Fläche $A =$	TAB("EC3_de/Typ; A; ID=Profil)	=	149,00 cm <sup>2</sup>
$M_{y,pl,Rd} =$	TAB("EC3_de/Typ; M <sub>yplRd</sub> ; ID=Profil)	=	450,00 kNm
$N_{pl,Rd} =$	TAB("EC3_de/Typ; N <sub>plRd</sub> ; ID=Profil)	=	3501,00 kN
Schrauben Schr =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 24
Festigkeitsklasse FK =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	4.6
$f_{ub,k} =$	TAB("EC3_de/FK"; f <sub>ubk</sub> ; FK=FK)	=	400,00 N/mm <sup>2</sup>
$A_s =$	TAB("EC3_de/Schra"; A <sub>s</sub> ; SG=Schr)	=	3,53 cm <sup>2</sup>



#### Material / Beiwerte:

$\gamma_{M0}$	=	1,00
$\gamma_{M2}$	=	1,25
Normalbeton		
$\gamma_c$	=	1,50
$\alpha_{cc}$	=	0,85
Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	= S 275
$E_s$ =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)	= 210000,00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)	= 275,00 N/mm <sup>2</sup>
Beton =	GEW("EC2_de/beton_ec2"; Bez; )	= C30/37
$f_{c,k}$ =	TAB("EC2_de/beton_ec2"; $f_{ck}$ ; Bez=Beton)	= 30,00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{c,d}$ =	$\alpha_{cc} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_c}$	= 17,00 N/mm <sup>2</sup>

#### Berechnung:



#### Beanspruchbarkeit der Lagerplatte auf der Seite der Zugstangen:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot I_{eff} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \cdot 10^{-3} = 13,33 \cdot 10^3 \text{ kNmm}$$
$$n = e = 45,00 \text{ mm}$$
$$\frac{n}{1,25 \cdot m} = \underline{\underline{0,82 < 1}}$$
$$B_{t,Rd} = 0,9 \cdot A_s \cdot \frac{f_{ub,k}}{\gamma_{M2} \cdot 10} = 101,66 \text{ kN}$$

Vollständiges Flanschfließen (Modus 1):

$$F_{T,Rd1} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = 1220,42 \text{ kN}$$

Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des Flansches (Modus 2):

$$F_{T,Rd2} = \frac{2 \cdot M_{pl,1,Rd} + n \cdot 2 \cdot B_{t,Rd}}{m + n} = 403,76 \text{ kN}$$

Schraubenversagen ohne Fließen des Flansches (Modus 3):

$$F_{T,Rd3} = 2 \cdot B_{t,Rd} = 203,32 \text{ kN}$$
$$F_{T,Rd} = \text{MIN}(F_{T,Rd1}; F_{T,Rd2}; F_{T,Rd3}) = \underline{\underline{203,32 \text{ kN}}}$$



#### Wirksame Auflagerfläche:

Grenzpressung in der Lagerfuge:

$$a_1 = \text{MIN}(a + 2 * a_r; 5 * a; a + h) = 1900,00 \text{ mm}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{2}{a_1}} \sqrt{\frac{a_1}{a * b}} = 3,80$$

$$f_{j,d} = \beta_j * k_j * f_{c,d} = 43,28 \text{ N/mm}^2$$

wirksame Lagerfläche

$$A_{\text{eff}} = 10 * \frac{N_{\text{Ed}} + F_{\text{T,Rd}}}{f_{j,d}} = 278,03 \text{ cm}^2$$

wirksame Lagerbreite

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_{y,k} * 10}{3 * f_{j,d} * \gamma_{M0}}} = 138,06 \text{ mm}$$

$$x_0 = \frac{A_{\text{eff}} * 100}{2 * c + b_f} = 48,26 \text{ mm}$$

$$\frac{x_0}{t_f + 2 * c} = \underline{\underline{0,16 < 1}}$$

#### Grenzmoment des Stützenfußes:

$$r_c = \frac{h_t}{2} + c - \frac{x_0}{2} = 263,93 \text{ mm}$$

$$M_{\text{Rd}} = \frac{F_{\text{T,Rd}} * 10^3 * \left(\frac{h_t}{2} + l - e\right) + A_{\text{eff}} * 100 * f_{j,d} * r_c}{10^6} = 359,27 \text{ kNm}$$

#### Beanspruchbarkeit der Stütze auf Biegung und Druck:

$$n = \frac{|N_{\text{Ed}}|}{N_{\text{pl,Rd}}} = 0,286$$

$$a = \text{MIN}\left(\frac{A - 2 * b_f * t_f / 100}{A}; 0,5\right) = 0,235$$

infolge N abgeminderte Momentenbeanspruchbarkeit

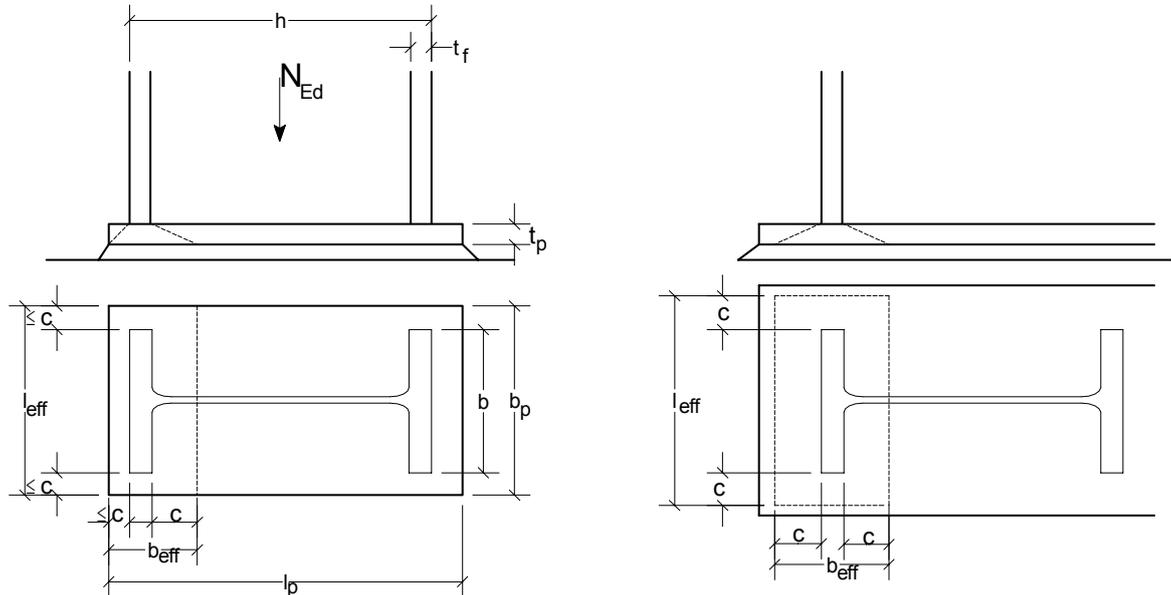
$$M_{\text{N,pl,Rd}} = M_{\text{y,pl,Rd}} * \frac{(1 - n)}{1 - 0,5 * a} = 364,08 \text{ kNcm}$$

#### Nachweis:

$$\text{MAX}\left(\frac{M_{\text{Ed}}}{M_{\text{N,pl,Rd}}}; \frac{M_{\text{Ed}}}{M_{\text{Rd}}}\right) = \underline{\underline{0,62 < 1}}$$

### Doppel-T-Profil mit überstehender Fußplatte (N)

Nachweis der Tragfähigkeit der Fußplatte mit dem Modell des äquivalenten T-Stummels mit Druckbeanspruchung (DIN EN 1993-1-8) unter Ausnutzung der Teilflächenpressung; Nachweis Kehlnaht



kurzer Überstand

großer Überstand

#### Belastung / Material:

$$N_{Ed} = 956,60 \text{ kN}$$

#### Fußplatte:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	=	S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,5 kN/cm <sup>2</sup>

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}} = 1,00$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

#### Beton:

Beton =	GEW("ec2_de/Beton_ec2"; Bez; fck≤35)	=	C20/25
---------	--------------------------------------	---	--------

$$\gamma_C = 1,50$$

$f_{ck}$ =	TAB("ec2_de/beton_ec2"; fck; Bez=Beton)	=	20,00 N/mm <sup>2</sup>
------------	---	---	-------------------------

$$\alpha_{cc} = 0,85$$

$f_{cd}$ =	TAB("ec2_de/beton_ec2"; fcd; Bez=Beton)* $\alpha_{cc}$ /0,85	=	11,33 N/mm <sup>2</sup>
------------	--	---	-------------------------

#### Geometrie:

Fußplatte

$$b_p = 230 \text{ mm}$$

$$l_p = 570 \text{ mm}$$

$$t_p = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Kehlnaht } a = 5 \text{ mm}$$

$$\text{Mörtelschicht } t_m = 30 \text{ mm}$$



Stützenprofil			
Profilreihe Typ =	GEW("EC3_de/Profile"; ID; )	=	IPE
Gew. Profil ID=	GEW("EC3_de/"Typ; ID; )	=	IPE 550
Höhe h =	TAB("EC3_de/"Typ; h; ID=ID)	=	550,00 mm
Breite b =	TAB("EC3_de/"Typ; b; ID=ID)	=	210,00 mm
Steg $t_w$ =	TAB("EC3_de/"Typ; tw; ID=ID)	=	11,10 mm
Flansch $t_f$ =	TAB("EC3_de/"Typ; tf; ID=ID;)	=	17,20 mm
Steghöhe d =	TAB("EC3_de/"Typ; d; ID=ID)	=	467,00 mm

#### Querschnittsklasse bei Druck:

$c =$	$(b_p - t_w) / 2 - a * \sqrt{2}$	=	102,4 mm
Flansch T-Stummel:			
$QK_{Fl} =$	WENN( $c/t_p \leq 9 * \epsilon; 1$ ; WENN( $c/t_p \leq 10 * \epsilon; 2$ ; WENN( $c/t_p \leq 14 * \epsilon; 3; 4$ )))	=	1

#### Nachweis Tragfähigkeit der Fußplatte:

Mörtelfestigkeit unter Lagerpressung:

$$t_m / b_p = 0,13 < 0,2$$

*Annahme: charakt. Druckfestigkeit der Mörtelschicht mind. so hoch wie die des Betons*

$$\Rightarrow \text{Anschlussbeiwert } \beta_j = 2/3 = 0,6667$$

$$f_{jd} = \beta_j * f_{cd} * \sqrt{2,25} = 11,33 \text{ N/mm}^2$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# master

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

durch den Beton aufnehmbare Druckkraft

Überprüfung auf Überschneidung und Ermittlung der maßgebenden Druckfläche

$$\text{check} = 2 * c / (h - 2 * t_f) = 0,25$$

$$l_{eff,f} = b + 2 * \text{MIN}(c; u_b) = 230,0 \text{ mm}$$

$$b_{eff,f} = \text{MIN}(c; u_l) + c + t_f = 91,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{c0,f} = l_{eff,f} * b_{eff,f} = 21045,0 \text{ mm}^2$$

wenn keine Überlappung (check  $\leq 1$ )

$$A_{c0,w} = (h - 2 * t_f - 2 * c) * (2 * c + t_w) = 54063,9 \text{ mm}^2$$

$$A_{c0,1} = 2 * A_{c0,f} + A_{c0,w} = 96153,9 \text{ mm}^2$$

wenn Überlappung (check  $> 1$ )

$$A_{c0,2} = (b + 2 * \text{MIN}(c; u_b)) * (h + 2 * \text{MIN}(c; u_l)) = 131100,0 \text{ mm}^2$$

$$N_{j,Rd} = f_{jd} * 10^{-3} * \text{WENN}(\text{check} \leq 1; A_{c0,1}; A_{c0,2}) = \mathbf{1089,42 \text{ kN}}$$

Nachweis

$$N_{Ed} / N_{j,Rd} = \mathbf{0,88 \leq 1}$$



#### Nachweis der Tragfähigkeit der Anschlussschweißnaht

Schweißnahtlänge aus Profilumfang näherungsweise

$$l_w = (4 * b + 2 * d) * 10^{-1} = 177,40 \text{ cm}$$

$$t_{\max} = \text{MAX}(t_p; t_w; t_f) = 25,0 \text{ mm}$$

Mindestanforderungen an Kehlnaht

$$a_{\min} = \sqrt{(t_{\max})} - 0,5 = 4,50 \text{ mm}$$

$$a_{\min} / a = \underline{\underline{0,90 \leq 1}}$$

$$3 / a = \underline{\underline{0,60 \leq 1}}$$

$$a / t_{\max} = \underline{\underline{0,20 \leq 1}}$$

vereinfachter Nachweis

$$F_{w,Ed} = N_{Ed} / l_w = 5,39 \text{ kN/cm}$$

$$\beta_w = 0,80$$

$$f_u = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{uk}; \text{ID=Stahl})/10 = 36,0 \text{ kN/cm}^2$$

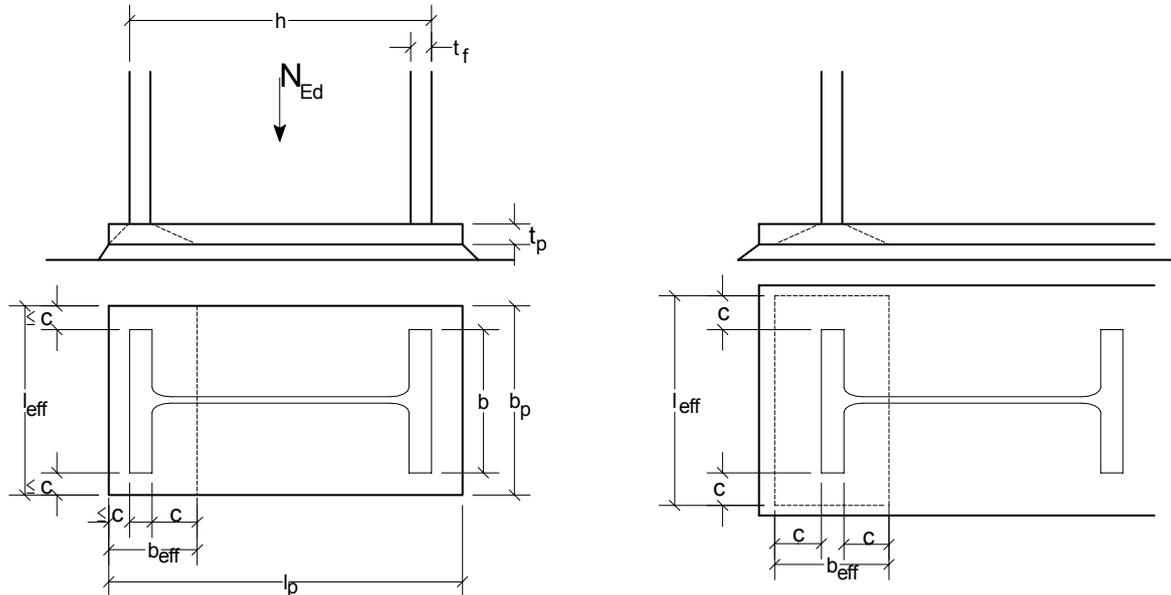
$$f_{vw,d} = (f_u / \sqrt{3}) / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} * a * 10^{-1} = 10,39 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} / F_{w,Rd} = \underline{\underline{0,52 \leq 1}}$$

### Doppel-T-Profil mit überstehender Fußplatte (N+V)

Nachweis der Tragfähigkeit der Fußplatte mit dem Modell des äquivalenten T-Stummels mit Druckbeanspruchung (DIN EN 1993-1-8) unter Ausnutzung der Teilflächenpressung; Nachweis Kehlnaht



kurzer Überstand

großer Überstand

#### Vorgabewerte:

Belastung / Material / Geometrie

$N_{Ed} =$  515,00 kN

$V_{Ed} =$  100,0 kN

Fußplatte

$b_p =$  220 mm

$l_p =$  210 mm

$t_p =$  40 mm

Kehlnaht a = 6 mm

Mörtelschicht  $t_m =$  40 mm

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID;) = S 235

Stützenprofil

Profilreihe Typ = GEW("EC3\_de/Profile"; ID; ) = HEA

Gew. Profil ID= GEW("EC3\_de/"Typ; ID; ) = HEA 200

Beton:

Beton = GEW("ec2\_de/Beton\_ec2"; Bez; fck≤35) = C20/25

$\gamma_C =$  1,50

$\alpha_{cc} =$  0,85

#### zugehörige Material- u. Geometriewerte:

Stützenprofil

Höhe h = TAB("EC3\_de/"Typ; h; ID=ID) = 190,00 mm

Breite b = TAB("EC3\_de/"Typ; b; ID=ID) = 200,00 mm

Steg  $t_w =$  TAB("EC3\_de/"Typ; tw; ID=ID) = 6,50 mm

Flansch  $t_f =$  TAB("EC3\_de/"Typ; tf; ID=ID) = 10,00 mm

Steghöhe d = TAB("EC3\_de/"Typ; d; ID=ID) = 134,00 mm



Fußplatte  
 $f_{y,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{yk}; \text{ID=Stahl})/10 = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   
 $\varepsilon = \sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}} = 1,00$   
 $\gamma_{M0} = 1,00$   
 $\gamma_{M2} = 1,25$   
Beton:  
 $f_{ck} = \text{TAB}(\text{"ec2\_de/beton\_ec2"; } f_{ck}; \text{Bez=Beton}) = 20,00 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{cd} = \text{TAB}(\text{"ec2\_de/beton\_ec2"; } f_{cd}; \text{Bez=Beton}) * \alpha_{cc}/0,85 = 11,33 \text{ N/mm}^2$

#### Querschnittsklasse bei Druck:

$c = (b_p - t_w) / 2 - a * \sqrt{(2)} = 98,3 \text{ mm}$   
Flansch T-Stummel:  
 $QK_{Fl} = \text{WENN}(c/t_p \leq 9 * \varepsilon; 1; \text{WENN}(c/t_p \leq 10 * \varepsilon; 2; \text{WENN}(c/t_p \leq 14 * \varepsilon; 3; 4))) = 1$

#### Nachweis Tragfähigkeit der Fußplatte:

Mörtelfestigkeit unter Lagerpressung:

$t_m / b_p = 0,18 < 0,2$

*Annahme: charakt. Druckfestigkeit der Mörtelschicht mind. so hoch wie die des Betons*

$\Rightarrow$  Anschlussbeiwert  $\beta_j = 2/3 = 0,6667$

$f_{jd} = \beta_j * f_{cd} * \sqrt{(2,25)} = 11,33 \text{ N/mm}^2$



durch den Beton aufnehmbare Druckkraft

Überprüfung auf Überschneidung und Ermittlung der maßgebenden Druckfläche

$check = 2 * c / (h - 2 * t_f) = 1,24$

$l_{eff,f} = b + 2 * \text{MIN}(c; u_b) = 220,0 \text{ mm}$

$b_{eff,f} = \text{MIN}(c; u_l) + c + t_f = 125,2 \text{ mm}^2$

$A_{c0,f} = l_{eff,f} * b_{eff,f} = 27544,0 \text{ mm}^2$

wenn keine Überlappung ( $check \leq 1$ )

$A_{c0,w} = (h - 2 * t_f - 2 * c) * (2 * c + t_w) = -8762,8 \text{ mm}^2$

$A_{c0,1} = 2 * A_{c0,f} + A_{c0,w} = 46325,2 \text{ mm}^2$

wenn Überlappung ( $check > 1$ )

$A_{c0,2} = (b + 2 * \text{MIN}(c; u_b)) * (h + 2 * \text{MIN}(c; u_l)) = 46200,0 \text{ mm}^2$

$N_{j,Rd} = f_{jd} * 10^{-3} * \text{WENN}(check \leq 1; A_{c0,1}; A_{c0,2}) = 523,45 \text{ kN}$

Nachweis

$N_{Ed} / N_{j,Rd} = 0,98 \leq 1$



#### Nachweis der Tragfähigkeit der Anschlussschweißnaht

Schweißnahtlänge aus Profillumfang näherungsweise

$$l_w = (4 * b + 2 * d) * 10^{-1} = 106,80 \text{ cm}$$

$$t_{\max} = \text{MAX}(t_p; t_w; t_f) = 40,0 \text{ mm}$$

Mindestanforderungen an Kehlnaht

$$a_{\min} = \sqrt{(t_{\max})} - 0,5 = 5,82 \text{ mm}$$

$$a_{\min} / a = \underline{0,97 \leq 1}$$

$$3 / a = \underline{0,50 \leq 1}$$

$$a / t_{\max} = \underline{0,15 \leq 1}$$

vereinfachter Nachweis

$$F_{w,Ed} = N_{Ed} / l_w = 4,82 \text{ kN/cm}$$

$$\beta_w = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; beta}_w; \text{ID=Stahl}) = 0,80$$

$$f_u = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{uk}; \text{ID=Stahl})/10 = 36,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{vw,d} = (f_u / \sqrt{(3)}) / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} * a * 10^{-1} = 12,47 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} / F_{w,Rd} = \underline{0,39 \leq 1}$$

#### Nachweis der Querkraft

Nachweis über Gleitwiderstand zwischen Fußplatte und Mörtelschicht

$$C_{f,d} = 0,20$$

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} * N_{Ed} = 103,0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / F_{f,Rd} = \underline{0,97 \leq 1}$$

#### Biegung im Plattenüberstand

Die Werte sind bezogen auf 1cm Breite

$$\sigma_c = f_{jd} = 11,33 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{y,d} = f_{y,k} / \gamma_{M0} = 23,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = t_p * 10^{-1} * f_{y,d} / \sqrt{(3)} = 54,27 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \sigma_c * t_p * 10^{-2} = 4,5 \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd} = (10^{-1} * t_p)^2 * f_{y,d} / 4 = 94,0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \sigma_c * (10^{-1} * t_p)^2 / 2 * 10^{-1} = 9,1 \text{ kNm}$$

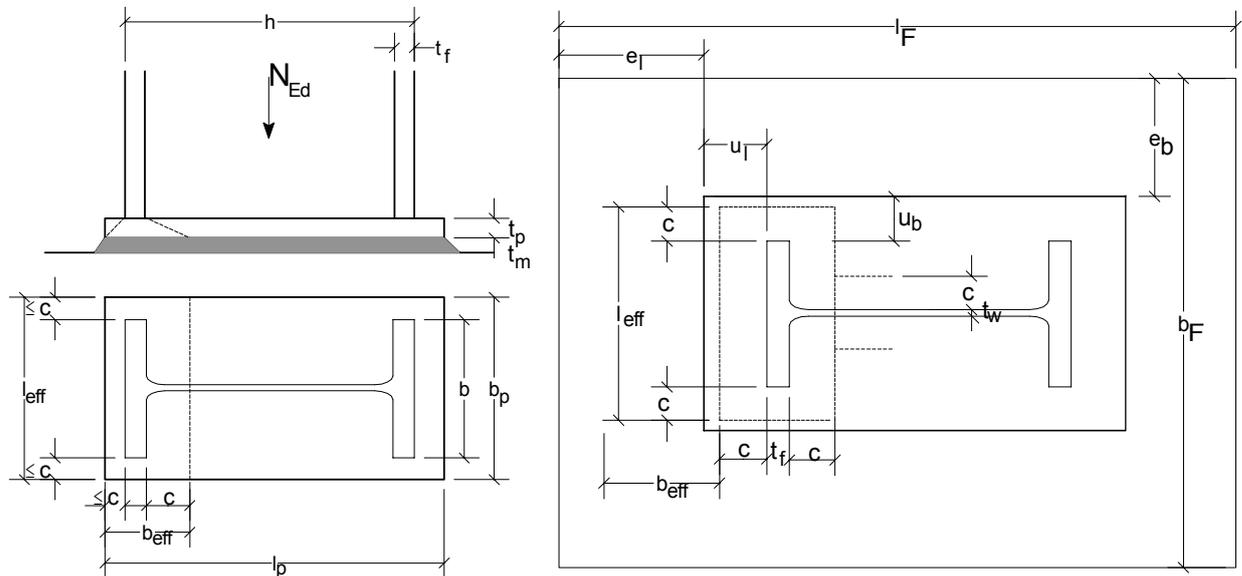
$$\rho = \text{WENN}(V_{Ed} < 0,5 * V_{pl,Rd}; 0; (2 * V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2) = 0,00$$

Nachweis

$$M_{Ed} / ((1-\rho) * M_{pl,Rd}) = \underline{0,10 \leq 1}$$

### Doppel-T-Profil mit überstehender Fußplatte auf Einzelfundament

Nachweis der Tragfähigkeit der Fußplatte mit dem Modell des äquivalenten T-Stummels mit Druckbeanspruchung (DIN EN 1993-1-8) unter Ausnutzung der Teilflächenpressung;



#### Vorgabewerte:

##### Belastung / Material / Geometrie

$N_{Ed} =$  550,00 kN

##### Stützenprofil

Profilreihe Typ = GEW("EC3\_de/Profile"; ID; ) = HEB  
 Gewähltes Profil ID= GEW("EC3\_de/"Typ; ID; ) = HEB 300

##### Fußplatte

$l_p =$  450 mm

$b_p =$  420 mm

$t_p =$  30 mm

Kehlnaht a = 7 mm

Mörtelschicht  $t_m =$  30 mm

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID;) = S 235

##### Fundament

Länge  $l_f =$  610,0 mm

Breite  $b_f =$  580,0 mm

Dicke  $d_f =$  800,0 mm

##### Beton:

Beton = GEW("ec2\_de/Beton\_ec2"; Bez; fck≤35) = C25/30

$\gamma_C =$  1,50

$\alpha_{cc} =$  0,85

#### zugehörige Material- u. Geometriewerte:

##### Stützenprofil

Höhe  $h =$  TAB("EC3\_de/"Typ; h; ID=ID) = 300,00 mm

Breite  $b =$  TAB("EC3\_de/"Typ; b; ID=ID) = 300,00 mm

Steg  $t_w =$  TAB("EC3\_de/"Typ; tw; ID=ID) = 11,00 mm

Flansch  $t_f =$  TAB("EC3\_de/"Typ; tf; ID=ID) = 19,00 mm

Steghöhe  $d =$  TAB("EC3\_de/"Typ; d; ID=ID) = 208,00 mm



Fußplatte

$$f_{y,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"}; f_{yk}; \text{ID=Stahl})/10 = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}} = 1,00$$
$$\gamma_{M0} = 1,00$$
$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Beton / Fundament:

$$f_{ck} = \text{TAB}(\text{"ec2\_de/beton\_ec2"}; f_{ck}; \text{Bez=Beton}) = 25,00 \text{ N/mm}^2$$
$$f_{cd} = \text{TAB}(\text{"ec2\_de/beton\_ec2"}; f_{cd}; \text{Bez=Beton}) * \alpha_{cc} / 0,85 = 14,17 \text{ N/mm}^2$$
$$\text{Abstand } e_b = (l_f - l_p) / 2 = 80,0 \text{ mm}$$
$$\text{Abstand } e_l = (b_f - b_p) / 2 = 80,0 \text{ mm}$$

#### Querschnittsklasse bei Druck:

$$c = (b_p - t_w) / 2 - a * \sqrt{2} = 194,6 \text{ mm}$$

Flansch T-Stummel:

$$QK_{Fl} = \text{WENN}(c/t_p \leq 9 * \varepsilon; 1; \text{WENN}(c/t_p \leq 10 * \varepsilon; 2; \text{WENN}(c/t_p \leq 14 * \varepsilon; 3; 4))) = 1$$

#### Nachweis Tragfähigkeit der Fußplatte:

Mörtelfestigkeit unter Lagerpressung:

$$t_m / b_p = 0,07 < 0,2$$

*Annahme: charakt. Druckfestigkeit der Mörtelschicht mind. so hoch wie die des Betons*

$$\Rightarrow \text{Anschlussbeiwert } \beta_j = 2/3 = 0,6667$$

$$\alpha = \text{MIN}((1 + d_f / (\text{MAX}(l_p; b_p))); (1 + 2 * e_l / l_p); (1 + 2 * e_b / b_p); 3) = 1,36$$

$$f_{jd} = \beta_j * f_{cd} * \alpha = 12,85 \text{ N/mm}^2$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# master

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

durch den Beton aufnehmbare Druckkraft

Überprüfung auf Überschneidung und Ermittlung der maßgebenden Druckfläche

$$\text{check} = 2 * c / (h - 2 * t_f) = 0,57$$
$$l_{\text{eff},f} = b + 2 * \text{MIN}(c; u_b) = 420,0 \text{ mm}$$
$$b_{\text{eff},f} = \text{MIN}(c; u_l) + c + t_f = 167,2 \text{ mm}^2$$
$$A_{c0,f} = l_{\text{eff},f} * b_{\text{eff},f} = 70224,0 \text{ mm}^2$$

wenn keine Überlappung (check ≤ 1)

$$A_{c0,w} = (h - 2 * t_f - 2 * c) * (2 * c + t_w) = 18117,0 \text{ mm}^2$$
$$A_{c0,1} = 2 * A_{c0,f} + A_{c0,w} = 158565,0 \text{ mm}^2$$

wenn Überlappung (check > 1)

$$A_{c0,2} = (b + 2 * \text{MIN}(c; u_b)) * (h + 2 * \text{MIN}(c; u_l)) = 188244,0 \text{ mm}^2$$
$$N_{j,Rd} = f_{jd} * 10^{-3} * \text{WENN}(\text{check} \leq 1; A_{c0,1}; A_{c0,2}) = 2037,56 \text{ kN}$$

Nachweis

$$N_{Ed} / N_{j,Rd} = \underline{\underline{0,27 \leq 1}}$$



#### Nachweis der Tragfähigkeit der Anschlussschweißnaht

Schweißnahtlänge aus Profilumfang näherungsweise

$$l_w = (4 * b + 2 * d) * 10^{-1} = 161,60 \text{ cm}$$

$$t_{\max} = \text{MAX}(t_p; t_w; t_f) = 30,0 \text{ mm}$$

Mindestanforderungen an Kehlnaht

$$a_{\min} = \sqrt{t_{\max}} - 0,5 = 4,98 \text{ mm}$$

$$a_{\min} / a = \underline{\underline{0,71 \leq 1}}$$

$$3 / a = \underline{\underline{0,43 \leq 1}}$$

$$a / t_{\max} = \underline{\underline{0,23 \leq 1}}$$

vereinfachter Nachweis

$$F_{w,Ed} = N_{Ed} / l_w = 3,40 \text{ kN/cm}$$

$$\beta_w = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"}; \beta_{a,w}; \text{ID=Stahl}) = 0,80$$

$$f_u = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"}; f_{u,k}; \text{ID=Stahl}) / 10 = 36,0 \text{ kN/cm}^2$$

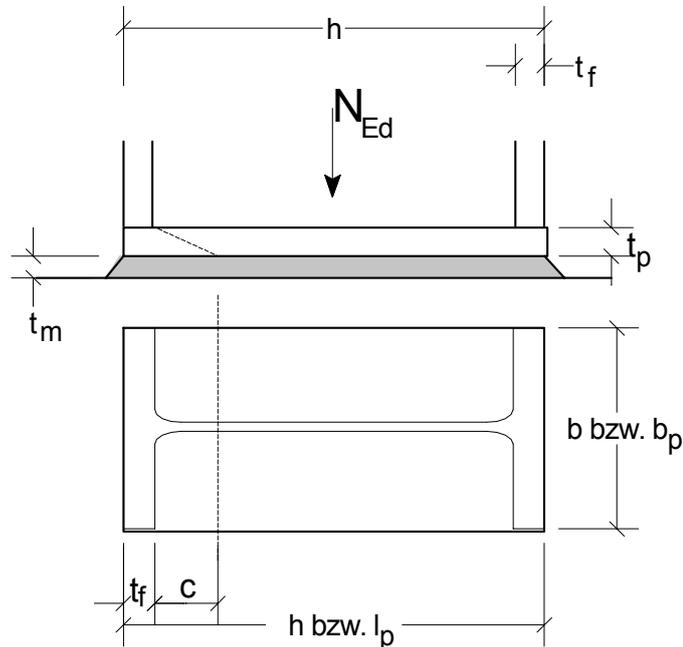
$$f_{vw,d} = (f_u / \sqrt{3}) / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} * a * 10^{-1} = 14,55 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} / F_{w,Rd} = \underline{\underline{0,23 \leq 1}}$$

### Doppel-T-Profil mit bündiger Fußplatte

Nachweis der Tragfähigkeit der Fußplatte mit dem Modell des äquivalenten T-Stummels mit Druckbeanspruchung (DIN EN 1993-1-8) unter Ausnutzung der Teilflächenpressung; als Vgl. Nachweis nach Plattentheorie;



#### Vorgabewerte:

Belastung / Material / Geometrie		
$N_{Ed}$ =		550,00 kN
Stützenprofil		
Profilreihe Typ =	GEW("EC3_de/Profile"; ID; )	= HEB
Gewähltes Profil ID=	GEW("EC3_de/Typ; ID; )	= HEB 260
Fußplatte		
$t_p$ =		80 mm
Kehlnaht a =		5 mm
Mörtelschicht $t_m$ =		30 mm
Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	= S 355
Beton:		
Beton =	GEW("ec2_de/Beton_ec2"; Bez; fck≤35)	= C20/25

#### zugehörige Material- u. Geometriewerte:

Fußplatte		
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	= 35,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon$ =	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	= 0,81
$\gamma_{M0}$ =		1,00
Beton:		
$f_{ck}$ =	TAB("ec2_de/beton_ec2"; fck; Bez=Beton)	= 20,00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cd}$ =	TAB("ec2_de/beton_ec2"; fcd; Bez=Beton)* $\alpha_{cc}$ /0,85	= 11,33 N/mm <sup>2</sup>
Stützenprofil		
Höhe h =	TAB("EC3_de/Typ; h; ID=ID)	= 260,00 mm
Breite b =	TAB("EC3_de/Typ; b; ID=ID)	= 260,00 mm
Steg $t_w$ =	TAB("EC3_de/Typ; tw; ID=ID)	= 10,00 mm
Flansch $t_f$ =	TAB("EC3_de/Typ; tf; ID=ID)	= 17,50 mm
Steghöhe d =	TAB("EC3_de/Typ; d; ID=ID)	= 177,00 mm



da bündig, folgt:

$$b_p = b = 260 \text{ mm}$$

$$l_p = h = 260 \text{ mm}$$

### Nachweis Tragfähigkeit der Fußplatte:

Mörtelfestigkeit unter Lagerpressung:

$$t_m / b_p = 0,12 < 0,2$$

*Annahme: charakt. Druckfestigkeit der Mörtelschicht mind. so hoch wie die des Betons*

$$\Rightarrow \text{Anschlussbeiwert } \beta_j = 2/3 = 0,6667$$

$$f_{jd} = \beta_j * f_{cd} * \sqrt{(2,25)} = 11,33 \text{ N/mm}^2$$



durch den Beton aufnehmbare Druckkraft

Überprüfung auf Überschneidung und Ermittlung der maßgebenden Druckfläche

$$\text{check} = 2 * c / (h - 2 * t_f) = 2,20$$

$$l_{\text{eff},f} = b = 260,0 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff},f} = c + t_f = 264,9 \text{ mm}^2$$

$$A_{c0,f} = l_{\text{eff},f} * b_{\text{eff},f} = 68874,0 \text{ mm}^2$$

wenn keine Überlappung (check  $\leq 1$ )

$$A_{c0,w} = (h - 2 * t_f - 2 * c) * (2 * c + t_w) = -136195,0 \text{ mm}^2$$

$$A_{c0,1} = 2 * A_{c0,f} + A_{c0,w} = 1553,0 \text{ mm}^2$$

wenn Überlappung (check  $> 1$ )

$$A_{c0,2} = b * h = 67600,0 \text{ mm}^2$$

$$N_{j,Rd} = f_{jd} * 10^{-3} * \text{WENN}(\text{check} \leq 1; A_{c0,1}; A_{c0,2}) = 765,91 \text{ kN}$$

Nachweis

$$N_{Ed} / N_{j,Rd} = 0,72 \leq 1$$

### Nachweis Tragfähigkeit der Fußplatte nach der Plattentheorie

$$\text{erf}_A = N_{Ed} * 10^3 / f_{cd} = 48543,7 \text{ mm}^2$$

$$\text{erf}_A / (b * h) = 0,72 \leq 1$$

$$\sigma_{Rd} = f_{y,k} / \gamma_{M0} * 10 = 355,0 \text{ N/mm}^2$$

$$m_e = 6,80$$

$$\text{erf}_{t_p} = \sqrt{(3 * N_{Ed} * 10^3 / (m_e * \sigma_{Rd}))} = 26,14 \text{ mm}$$

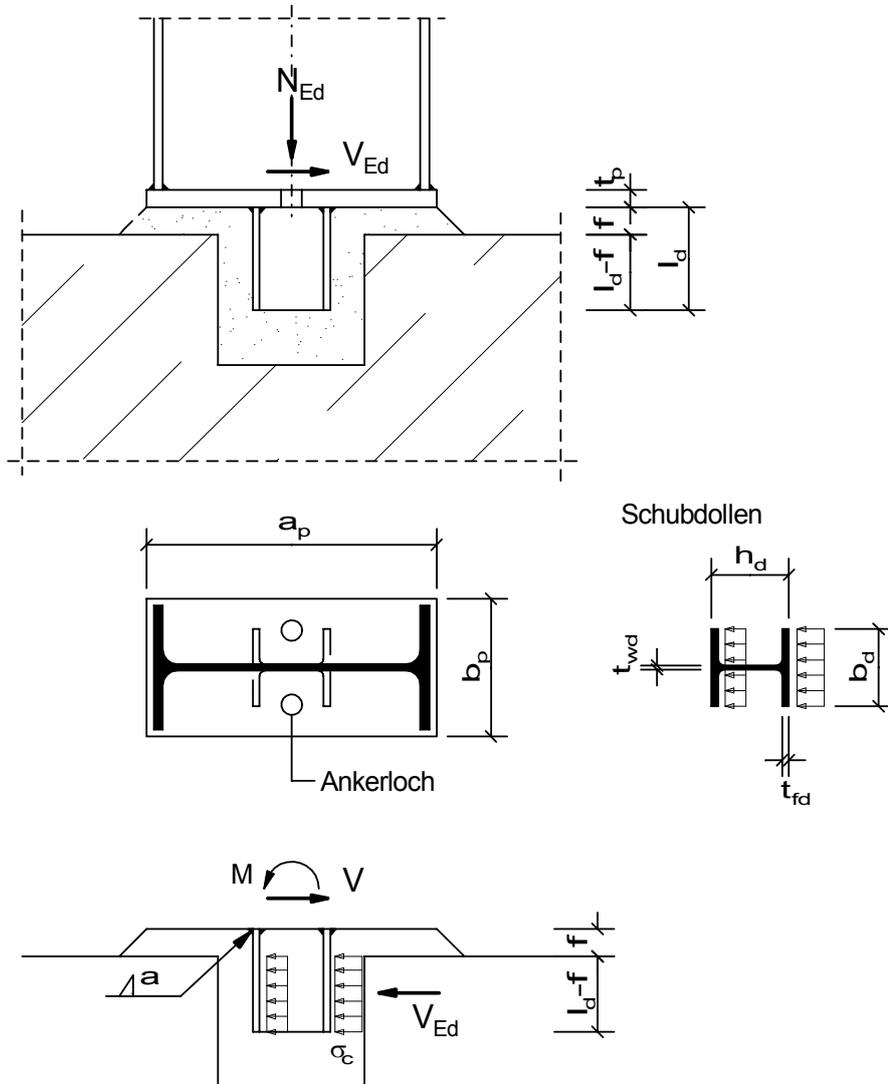
Momentenbeiwerte für dreiseitig gestützte Platten mit eingespanntem hinterem Rand (nach Stiglat/Wippel)

HEA	100	320	340	360	400	450	500	550	600
HEB	bis								
HEM	300								
$b_t / (2 h_t)$	0,50	0,47	0,44	0,42	0,38	0,33	0,30	0,27	0,25
$m_e$	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2	7,6	8,1	8,6	9,0

Für IPE-Reihe wird ab Nennhöhe 140mm generell eingesetzt:  $m_e = 9,0$

### Bündige Fußplatte mit Schubdollen

Profilbündige Fußplatte mit Schubdollen zur Einleitung der Horizontalkraft  $V_{Ed}$  in das Fundament (ohne Nachweis des Stützenquerschnitts und der Schweißnaht Stütze/Fußplatte).



#### Querschnitte / Geometrie:

Schubdollen:

Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	HEB
Träger ID1 =	GEW("EC3_de/Typ1; ID; )	=	HEB 140
Dollenlänge $l_d$ =		=	150,00 mm
Dollenhöhe $h_d$ =	TAB("EC3_de/Typ1; h; ID=ID1;)	=	140,00 mm
Dollenbreite $b_d$ =	TAB("EC3_de/Typ1; b; ID=ID1;)	=	140,00 mm
Dollensteg $t_{wd}$ =	TAB("EC3_de/Typ1; tw; ID=ID1;)	=	7,00 mm
Dollenflansch $t_{fd}$ =	TAB("EC3_de/Typ1; tf; ID=ID1;)	=	12,00 mm
Radius $r_d$ =	TAB("EC3_de/Typ1; r; ID=ID1;)	=	12,00 mm
Trägheitsmoment $I_{yd}$ =	TAB("EC3_de/Typ1; ly; ID=ID1;)	=	1510,00 cm <sup>4</sup>
Fläche $A_d$ =	TAB("EC3_de/Typ1; A; ID=ID1)	=	43,00 cm <sup>2</sup>



Stütze:			
Typ2 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	HEAA
Träger ID2 =	GEW("EC3_de/Typ2; ID; )	=	HEAA 450
Höhe $h_c$ =	TAB("EC3_de/Typ2; h;ID=ID2;)	=	425,00 mm
Breite $b_c$ =	TAB("EC3_de/Typ2; b;ID=ID2;)	=	300,00 mm

Fußplatte:			
Fußplattenlänge $a_p$ =	$h_c$	=	425,00 mm
Breite $b_p$ =	$b_c$	=	300,00 mm
Fußplattendicke $t_p$ =			30,00 mm
Ankerlochdurchmesser $d_0$ =			30,00 mm

Schweißnähte:			
Naht Dollen-Platte $a_1$ =			5,00 mm
Mörtelfuge $f_c$ =			30,00 mm

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0}$ =			1,0
$\gamma_{M2}$ =			1,25
Normalbeton			
$\gamma_c$ =			1,50
$\alpha_{cc}$ =			0,85

#### Einwirkungen:

Normalkraft $N_{Ed}$ =			285,00 kN
Querkraft $V_{Ed}$ =			65,00 kN

#### Material:

Beton:			
Beton =	GEW("EC2_de/beton_ec2"; Bez; )	=	C20/25
$f_{c,k}$ =	TAB("EC2_de/beton_ec2"; $f_{ck}$ ; Bez=Beton)/10	=	2,00 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{c,d}$ =	$\frac{f_{c,k}}{\gamma_c} * \alpha_{cc}$	=	1,13 kN/cm <sup>2</sup>
Stahl:			
Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\beta_w$ =	TAB("EC3_de/mat"; $\beta_{w}$ ; ID=Stahl)	=	0,80
$f_{w,Rd}$ =	$\frac{f_{u,k}}{\beta_w * \gamma_{M2}}$	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>

#### Betonpressung infolge Druckkraft $N_{Ed}$

gleichmäßige Betonpressung unter der Fußplatte

$$A_N = \left( a_p * b_p - 2 * \pi * \frac{d_0^2}{4} \right) * 10^{-2} = 1260,86 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{A_N} = 0,23 \text{ kN/cm}^2$$

#### Nachweis Betonpressung

$$\frac{\sigma_c}{f_{c,d}} = \underline{\underline{0,20 < 1}}$$



### Biegung der Fußplatte infolge Druckkraft $N_{Ed}$

Biegespannung in der Fußplatte

zwei dreiseitig gelagerte Platten mit gleichmäßig verteilter Last  $\sigma_c$   
eingespannter Rand am Profilstege, gelenkig gelagert bei Gurten

$$b2h = \frac{b_c}{2 \cdot h_c} = 0,35$$

$$\alpha_m = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/plat3s"; alphas; b2h=b2h;}) = 7,44$$

betragsmäßig größtes Moment ist Einspannmoment in der Mitte des Steges:

$$m = \frac{\sigma_c \cdot a_p \cdot b_p \cdot 1}{2 \cdot 100 \cdot \alpha_m} = 19,71 \text{ kNcm/cm}$$

Grenzmoment

$$m_{\max} = \frac{f_{y,k} \cdot (t_p / 10)^2}{\gamma_{M0} \cdot 6} = 35,25 \text{ kNcm/cm}$$

### **Nachweis Fußplatte**

$$\frac{m}{m_{\max}} = \underline{\underline{0,56 < 1}}$$

erforderliche Fußplattendicke

$$t_{p,\text{erf}} = \sqrt{3 \cdot \frac{a_p \cdot b_p \cdot \sigma_c}{\alpha_m \cdot f_{y,k} / \gamma_{M0}}} = 22,43 \text{ mm}$$

### **Nachweis der Fußplatte**

$$\frac{t_{p,\text{erf}}}{t_p} = \underline{\underline{0,75 < 1,0}}$$

### Einleitung der Horizontalkraft $V_{Ed}$ in das Fundament

Die Horizontalkraft wird zu 60% auf den vorderen und zu 40% auf den hinteren Flansch verteilt!

minimale Grenzpressung in der Lagerfuge:

$$f_{j,d} = \frac{2}{3} \cdot f_{c,d} = 0,75 \text{ kN/cm}^2$$

wirksame Lagerbreite

$$c = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{3 \cdot f_{j,d} \cdot \gamma_{M0}}} \cdot t_{fd} = 38,78 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff}} = t_{wd} + 2 \cdot r_d + 2 \cdot c = 108,56 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff}} = l_d - f_c = 120,00 \text{ mm}$$

gedrückte Fläche

$$A_c = b_{\text{eff}} \cdot l_{\text{eff}} / 100 = 130,27 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_c = \frac{V_{Ed}}{A_c} \cdot 0,6 = 0,30 \text{ kN/cm}^2$$

### **Nachweis der Betonpressung**

$$\frac{\sigma_c}{f_{j,d}} = \underline{\underline{0,40 < 1}}$$



### Flanschbiegung des Schubdollens

$$m_{Rd} = \frac{(t_{fd}/10)^2 \cdot f_{y,k}}{6 \cdot \gamma_{M0}} = 5,64 \text{ kNcm}$$

Moment Kragarm

$$m_{Ed,d} = \frac{(b_d - (t_{wd} + 2 \cdot r_d))^2}{8 \cdot 100} \cdot \sigma_c = 4,46 \text{ kNcm}$$

### Nachweis Biegung der Fußplatte

$$\frac{m_{Ed,d}}{m_{Rd}} = \underline{0,79 < 1}$$

### Schweißnaht zwischen Schubdollen und Fußplatte (Kehlnaht a<sub>1</sub>):



$$\tau_{orth,Ed} = \frac{V/\sqrt{2}}{A_{w1}} + \frac{M/\sqrt{2}}{W_d} = 5,77 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{orth,Ed} = \frac{\tau_{orth,Ed}}{\sqrt{3}} = 5,77 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\sigma_{orth,Ed}^2 + 3 \cdot (\tau_{orth,Ed})^2} = 11,54 \text{ kN/cm}^2$$

### Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{0,32 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{orth,Ed}}{0,9 \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2}} = \underline{0,22 < 1}$$

### Knaggenquerschnitt:

$$M_{y,c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \cdot W_d = 7714,11 \text{ kNcm}$$

### Nachweis Biegebeanspruchung:

$$\frac{|M|}{M_{y,c,Rd}} = \underline{0,08 < 1}$$

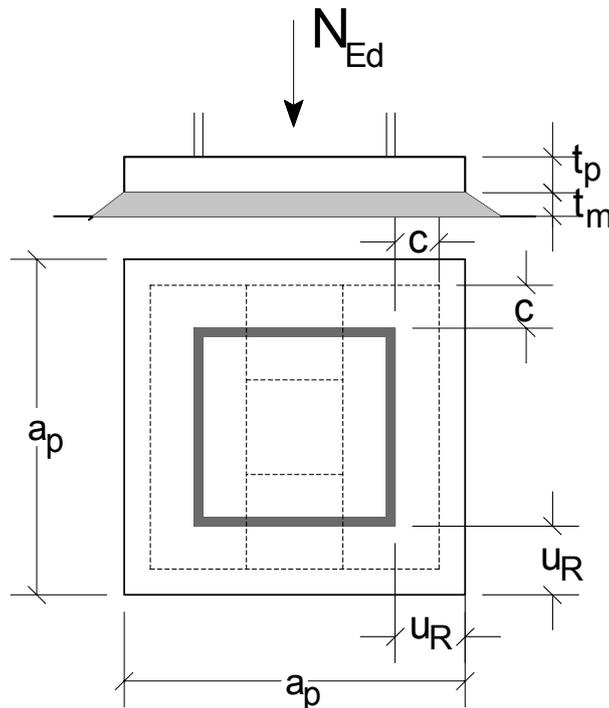
$$\tau_{Ed,max} = \frac{V}{A_d} = 1,51 \text{ kN/cm}^2$$

### Nachweis Querkraftbeanspruchung:

$$\frac{\tau_{Ed,max}}{f_{y,k} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})} = \underline{0,11 < 1}$$

### Quadrathohlprofil mit unausgesteifter überstehender Fußplatte

Nachweis der Tragfähigkeit der Fußplatte mit dem Modell des äquivalenten T-Stummels mit Druckbeanspruchung (DIN EN 1993-1-8); Nachweis Kehlnaht



#### Vorgabewerte:

Belastung / Material / Geometrie		
$N_{Ed}$ =		410,00 kN
Fußplatte		
$a_p$ =		300 mm
$t_p$ =		20 mm
Kehlnaht a =		5 mm
Mörtelschicht $t_m$ =		20 mm
Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	= S 235
Beton:		
Beton =	GEW("ec2_de/Beton_ec2"; Bez; fck≤35)	= C20/25
$\gamma_C$ =		1,50
$\alpha_{cc}$ =		0,85
Stützenprofil		
Profil1:	GEW("EC3_de/QRneu"; ID; )	= QRO 140x5

#### zugehörige Material- u. Geometriewerte:

Fußplatte:		
Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	= S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	= 23,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon$ =	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	= 1,00
$\gamma_{M0}$ =		1,00
$\gamma_{M2}$ =		1,25

**Stützenprofil**

$b_1 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; b; ID=Profil1)	=	140,00 mm
$t_1 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; t; ID=Profil1)	=	5,00 mm $\geq$ 2,5
$A_1 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; A; ID=Profil1)	=	26,70 cm <sup>2</sup>
$i_1 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; i; ID=Profil1)	=	55,00 mm
$r_o =$	TAB("EC3_de/QRneu"; ro; ID=Profil1)	=	7,50 mm

**Beton:**

$f_{ck} =$	TAB("ec2_de/beton_ec2"; fck; Bez=Beton)	=	20,00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cd} =$	TAB("ec2_de/beton_ec2"; fcd; Bez=Beton)* $\alpha_{cc}/0,85$	=	11,33 N/mm <sup>2</sup>

**Querschnittsklasse bei Druck:**

$$c = (a_p - t_1) / 2 - a \cdot \sqrt{2} = 140,4 \text{ mm}$$

**Flansch T-Stummel:**

$$QK_{FI} = \text{WENN}(c/t_p \leq 9 \cdot \epsilon; 1; \text{WENN}(c/t_p \leq 10 \cdot \epsilon; 2; \text{WENN}(c/t_p \leq 14 \cdot \epsilon; 3; 4))) = 1$$

**Nachweis Tragfähigkeit der Fußplatte:**Iterative Methode für den T-Stummel nach EC3Grenzpressung des Betons:

*Annahme: hier ohne Ausnutzung der Teilflächenpressung*

$$t_m / a_p = 0,07 < 0,2$$
$$f_{jd} = 2 / 3 \cdot f_{cd} = 7,55 \text{ N/mm}^2$$

Der Überstand wird bis zu einer Kraglänge von c berücksichtigt.

$$f_y = \text{WENN}(t_p \leq 40; f_{y,k}; f_y) = 23,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$c = t_p \cdot \left( \frac{f_y \cdot 10}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}} \right)^{0,5} = 64,4 \text{ mm}$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# master

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

Ermittlung der maßgebenden Fläche (T-Stummel dürfen sich nicht überschneiden)

## maßgebende Fläche

$A'1 =$	WENN( $c < u_R$ UND $d_i > 2 \cdot c$ ; $A_{T1}$ ; 0)	=	72252,0 mm <sup>2</sup>
$A'2 =$	WENN( $c > u_R$ UND $d_i > 2 \cdot c$ ; $A_{T2}$ ; 0)	=	0,0 mm <sup>2</sup>
$A'3 =$	WENN( $c < u_R$ UND $d_i < 2 \cdot c$ ; $A_{T3}$ ; 0)	=	0,0 mm <sup>2</sup>
$A'4 =$	WENN( $c > u_R$ UND $d_i < 2 \cdot c$ ; $A_{T4}$ ; 0)	=	0,0 mm <sup>2</sup>
$A' =$	MAX( $A'1$ ; $A'2$ ; $A'3$ ; $A'4$ )	=	72252,0 mm <sup>2</sup>

$$N_{j,Rd} = A' \cdot f_{jd} \cdot 10^{-3} = 545,5 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{j,Rd} = \underline{\underline{0,75 \leq 1}}$$



#### Nachweis der Tragfähigkeit der Anschlussschweißnaht:

Schweißnahtlänge aus Profilumfang näherungsweise

$$l_w = 4 * b_1 * 10^{-1} = 56,00 \text{ cm}$$

$$t_{\max} = \text{MAX}(t_p; t_1) = 20,0 \text{ mm}$$

Mindestanforderungen an Kehlnaht

$$a_{\min} = \sqrt{(t_{\max})} - 0,5 = 3,97 \text{ mm}$$

$$a_{\min} / a = \underline{\underline{0,79 \leq 1}}$$

$$3 / a = \underline{\underline{0,60 \leq 1}}$$

$$a / t_{\max} = \underline{\underline{0,25 \leq 1}}$$

vereinfachter Nachweis

$$F_{w,Ed} = N_{Ed} / l_w = 7,32 \text{ kN/cm}$$

$$\beta_w = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"}; \beta_{w}; \text{ID=Stahl}) = 0,80$$

$$f_u = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"}; f_{uk}; \text{ID=Stahl}) / 10 = 36,0 \text{ kN/cm}^2$$

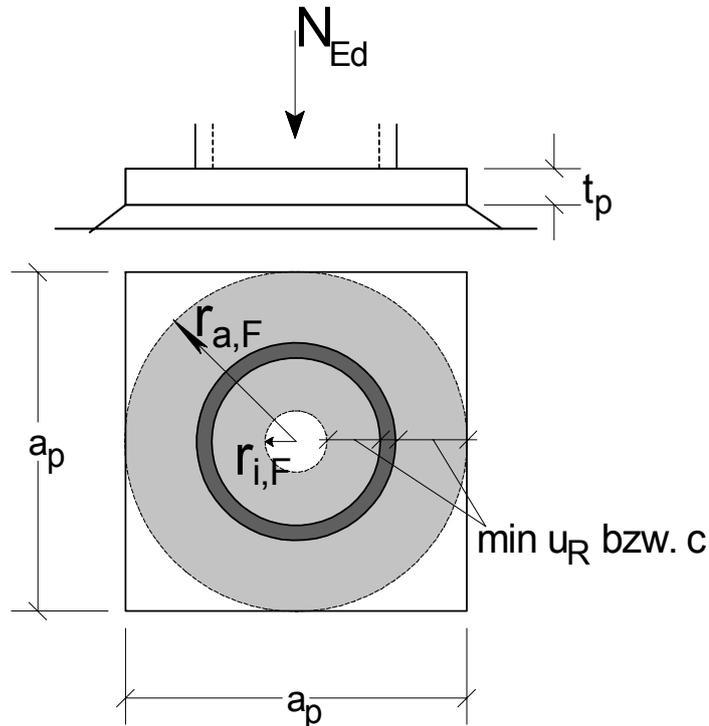
$$f_{vw,d} = (f_u / \sqrt{3}) / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} * a * 10^{-1} = 10,39 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} / F_{w,Rd} = \underline{\underline{0,70 \leq 1}}$$

### Rohrstütze mit überstehender Fußplatte

Nachweis der Tragfähigkeit der Fußplatte mit dem Modell des äquivalenten T-Stummels mit Druckbeanspruchung (DIN EN 1993-1-8); Nachweis Kehlnaht



#### Vorgabewerte:

Belastung / Material / Geometrie		
$N_{Ed} =$		410,00 kN
Fußplatte		
$a_p =$		280 mm
$t_p =$		20 mm
Kehlnaht a =		5 mm
Mörtelschicht $t_m =$		20 mm
Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	= S 235
Stützenprofil		
Profil1:	GEW("EC3_de/R"; ID; )	= R 177.8x5
Beton:		
Beton =	GEW("ec2_de/Beton_ec2"; Bez; fck≤35)	= C20/25
$\gamma_C =$		1,50

#### zugehörige Material- u. Geometriewerte:

Fußplatte:		
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{y,k}$ ; ID=Stahl)/10	= 23,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon =$	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	= 1,00
$\gamma_{M0} =$		1,00
$\gamma_{M2} =$		1,25
Stützenprofil		
d =	TAB("EC3_de/R"; d; ID=Profil1)	= 177,80 mm
t =	TAB("EC3_de/R"; t; ID=Profil1)	= 5,00 mm ≥ 2,5
Beton:		
$f_{ck} =$	TAB("ec2_de/beton_ec2"; fck;Bez=Beton)	= 20,00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cd} =$	TAB("ec2_de/beton_ec2"; fcd;Bez=Beton)* $\alpha_{cc}/0,85$	= 11,33 N/mm <sup>2</sup>



### Nachweis Tragfähigkeit der Fußplatte (elastisch-elastisch):

Iterative Methode für den T-Stummel nach EC3

Grenzpressung des Betons:

Annahme: hier ohne Ausnutzung der Teilflächenpressung

$$t_m / a_p = 0,07 < 0,2$$
$$f_{jd} = 2 / 3 * f_{cd} = 7,55 \text{ N/mm}^2$$

Der Überstand wird bis zu einer Kraglänge von c berücksichtigt.

$$f_y = \text{WENN}(t_p \leq 40; f_{y,k}; f_y) = 23,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$c = t_p * \left( \frac{f_y * 10}{3 * f_{jd} * \gamma_{M0}} \right)^{0,5} = 64,4 \text{ mm}$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

### Nachweis der Tragfähigkeit der Anschlussschweißnaht:

Schweißnahtlänge aus Profilmfang näherungsweise

$$l_w = \pi * d * 10^{-1} = 55,86 \text{ cm}$$

$$t_{max} = \text{MAX}(t_p; t) = 20,0 \text{ mm}$$

Mindestanforderungen an Kehlnaht

$$a_{min} = \sqrt{(t_{max})} - 0,5 = 3,97 \text{ mm}$$

$$a_{min} / a = \underline{0,79 \leq 1}$$

$$3 / a = \underline{0,60 \leq 1}$$

$$a / t_{max} = \underline{0,25 \leq 1}$$

vereinfachter Nachweis

$$F_{w,Ed} = N_{Ed} / l_w = 7,34 \text{ kN/cm}$$

$$\text{(EC3-1-8, Tab. 4.1) } \beta_w = 0,80$$

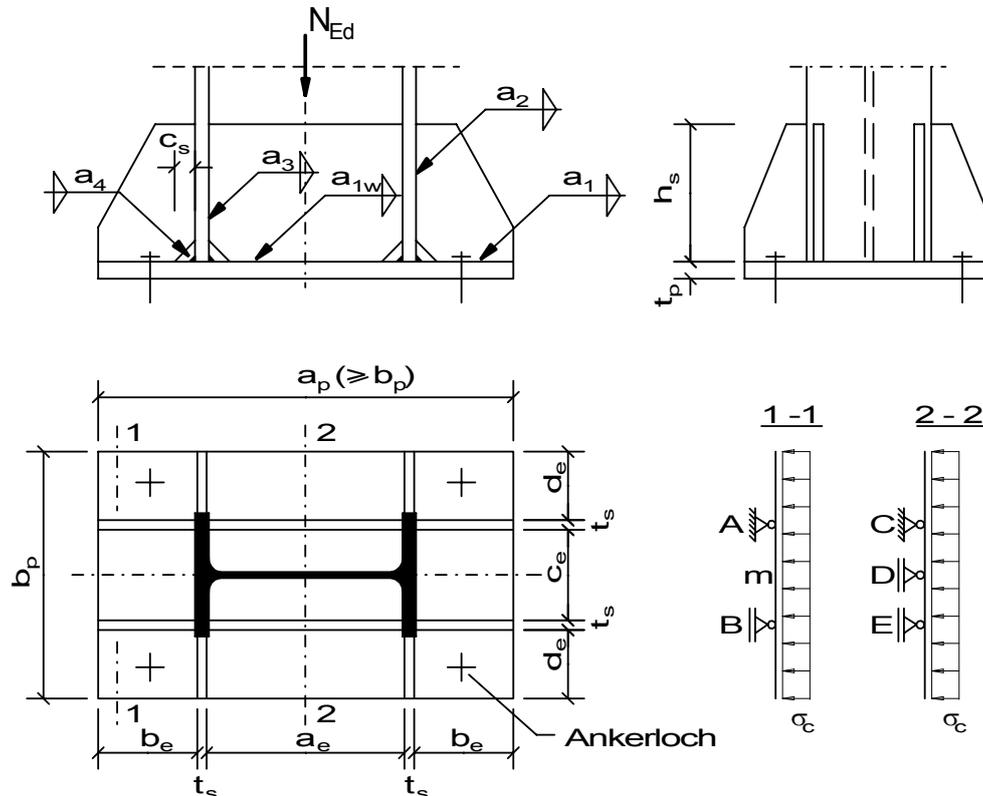
$$f_u = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{uk}; \text{ID=Stahl})/10 = 36,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{vw,d} = (f_u / \sqrt{3}) / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} * a * 10^{-1} = 10,39 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} / F_{w,Rd} = \underline{0,71 \leq 1}$$

### Versteifte Fußplatte



### Querschnitte / Geometrie:

Stützenprofil:			
Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	HEB
Stütze ID1 =	GEW("EC3_de/Typ1; ID; )	=	HEB 500
Höhe $h_b$ =	TAB("EC3_de/Typ1; h; ID=ID1)	=	500,00 mm
Breite $b_b$ =	TAB("EC3_de/Typ1; b; ID=ID1)	=	300,00 mm
Stegdicke $t_w$ =	TAB("EC3_de/Typ1; tw; ID=ID1)	=	14,50 mm
Flanschdicke $t_f$ =	TAB("EC3_de/Typ1; tf; ID=ID1)	=	28,00 mm
Radius $r_b$ =	TAB("EC3_de/Typ1; r; ID=ID1)	=	27,00 mm
Fläche $A_b$ =	TAB("EC3_de/Typ1; A; ID=ID1)	=	239,00 cm <sup>2</sup>
Umfang $U_b$ =	$2*(2*b_b - 4*r_b - t_w + \pi*r_b + h_b)$	=	2124,65 mm

Fußplatte:	
Fußplattenlänge $a_p$ =	900,00 mm
Breite $b_p$ =	500,00 mm
Dicke $t_p$ =	35,00 mm
Ankerlochdurchmesser $d_0$ =	35,00 mm

Steifen:	
Steifenhöhe $h_s$ =	300,00 mm
Dicke $t_s$ =	20,00 mm
Eckverschnitt $c_s$ =	50,00 mm

Schweißnähte:	
Doppelkehlnaht $a_{1w}$ =	6,00 mm
DHY Doppelkehlnaht $a_2$ =	10,00 mm
HY Kehlnaht $a_3$ =	18,00 mm
Ringsumlaufende Kehlnaht $a_4$ =	6,00 mm



Fundament:  
Fundamenthöhe  $h =$  500,00 mm

$$d_e = \frac{b_p - b_b}{2} + 10 = 110,00 \text{ mm}$$

$$c_e = b_p - 2 \cdot (d_e + t_s) = 240,00 \text{ mm}$$

$$b_e = \frac{a_p - h_b}{2} = 200,00 \text{ mm}$$

$$a_e = a_p - 2 \cdot (b_e + t_s) = 460,00 \text{ mm}$$

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$\gamma_{M1} = 1,1$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Normalbeton

$$\gamma_c = 1,50$$

$$\alpha_{cc} = 0,85$$

#### Auswirkungen der Einwirkungen:

Normalkraft  $N_{Ed} =$  2700,00 kN

#### Material:

Beton:

Beton = GEW("EC2\_de/beton\_ec2"; Bez; ) = C16/20

$f_{c,k} =$  TAB("EC2\_de/beton\_ec2";  $f_{c,k}$ ; Bez=Beton)/10 = 1,60 kN/cm<sup>2</sup>

$$f_{c,d} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_c} = 0,91 \text{ kN/cm}^2$$

Stahl:

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID; ) = S 235

$f_{y,k} =$  TAB("EC3\_de/mat";  $f_{y,k}$ ; ID=Stahl)/10 = 23,50 kN/cm<sup>2</sup>

$f_{u,k} =$  TAB("EC3\_de/mat";  $f_{u,k}$ ; ID=Stahl)/10 = 36,00 kN/cm<sup>2</sup>

$\beta_w =$  TAB("EC3\_de/mat";  $\beta_w$ ; ID=Stahl) = 0,80

$$f_{w,Rd} = \frac{f_{u,k}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 36,00 \text{ kN/cm}^2$$

#### Betonpressung:

Abmessungen der wirksamen Fläche des Fundamentes

Lagerbreite (T-Stummel)  $c =$  80,00 mm

T-Stummel 1:

$$b_{eff} = t_f + 2 \cdot c = 188,00 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = b_b + 2 \cdot c = 460,00 \text{ mm}$$

$$A_{c0} = b_{eff} \cdot l_{eff} / 100 = 864,80 \text{ cm}^2$$

$$a_1 = \text{MIN}(3 \cdot l_{eff}; h + l_{eff}) = 960,00 \text{ mm}$$

$$b_1 = \text{MIN}(3 \cdot b_{eff}; h + b_{eff}) = 564,00 \text{ mm}$$

$$A_{c1} = a_1 \cdot b_1 / 100 = 5414,40 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rdu} = \text{MIN}(A_{c0} \cdot f_{c,d} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}}; 3,0 \cdot f_{c,d} \cdot A_{c0}) = 1969,13 \text{ kN}$$

$$\beta_j = \frac{2}{3} = 0,67$$

$$f_{j,d} = \frac{F_{Rdu} \cdot 100}{b_{eff} \cdot l_{eff}} \cdot \beta_j = 1,53 \text{ kN/cm}^2$$



wirksame Lagerbreite

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{y,k}}{3 \cdot f_{j,d} \cdot \gamma_{M0}}} = 79,19 \text{ mm}$$

⇒ Annahme für c war zu hoch

Gurt-T-Stummel:

$$b_{\text{eff}} = t_f + 2 \cdot c = 186,38 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff}} = b_b + 2 \cdot c = 458,38 \text{ mm}$$

$$f_{j,d} = \frac{F_{Rdu} \cdot 100}{b_{\text{eff}} \cdot l_{\text{eff}}} \cdot \beta_j = 1,54 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{C,Rd} = f_{j,d} \cdot b_{\text{eff}} \cdot l_{\text{eff}} / 100 = 1315,67 \text{ kN}$$

anteilige Druckkräfte der T-Stummel:



**Nachweis der Betonpressung**

$$\frac{N_1}{F_{C,Rd}} = \underline{\underline{0,85 < 1}}$$

$$\frac{N_2}{f_{j,d} \cdot (t_w + 2 \cdot c) \cdot (h_b - 2 \cdot t_f - 2 \cdot c)} = \underline{\underline{0,01 < 1}}$$

$$\frac{N_3}{F_{C,Rd}} = \underline{\underline{0,85 < 1}}$$

**Biegung der Fußplatte:**

$$m_{Rd} = \frac{(t_p / 10)^2 \cdot f_{y,k}}{6 \cdot \gamma_{M0}} = 47,98 \text{ kNcm}$$

$$m_{Ed,b} = \frac{(b_e / 10)^2}{2} \cdot f_{j,d} = 308,00 \text{ kNcm}$$

$$m_{Ed,d} = \frac{(d_e / 10)^2}{2} \cdot f_{j,d} = 93,17 \text{ kNcm}$$

**Nachweis Biegung der Fußplatte**

$$\frac{m_{Ed,b}}{m_{Rd}} = \underline{\underline{6,42 \text{ nicht} < 1}}$$

$$\frac{m_{Ed,d}}{m_{Rd}} = \underline{\underline{1,94 \text{ nicht} < 1}}$$

⇒ Fußplatte dicker wählen oder Steifen verwenden



#### Verwendung von Steifen:

gleichmäßige Betonpressung unter der Fußplatte

$$A_N = \left( a_p * b_p - 4 * \pi * \frac{d_0^2}{4} \right) / 100 = 4461,52 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{A_N} = 0,605 \text{ kN/cm}^2$$

Balkenmethode Schnitt 1-1:

$$M_r = \sigma_c * \left( d_e + \frac{t_s}{2} \right)^2 / (2 * 100) = 43,56 \text{ kNcm/cm}$$

$$M_m = \sigma_c * \frac{(c_e + t_s)^2}{8 * 100} - M_r = 7,56 \text{ kNcm/cm}$$

$$M_{\max} = \text{MAX}(M_r; \text{ABS}(M_m)) = 43,56 \text{ kNcm/cm}$$

$$t_{p,\text{erf}} = \sqrt{6 * \frac{M_{\max}}{f_{y,k} / \gamma_{M0}}} * 10 = 33,35 \text{ mm}$$

Nachweis der Fußplatte

$$\frac{t_{p,\text{erf}}}{t_p} = \underline{\underline{0,95 < 1,0}}$$

#### Nachweis der Kehlnaht a<sub>4</sub>:

Der Anschluss Stütze - Fußplatte erfolgt auf Kontakt (Sägeschnitt). Die Querkraft V, jedoch mindestens N/4, ist mittels Kehlnaht ringsum anzuschließen.

$$V = \frac{N_{Ed}}{4} = 675,00 \text{ kN}$$

$$\text{Mindestnahtdicke } a_{\min} = 3,00 \text{ mm}$$

$$\frac{a_{\min}}{a_4} = \underline{\underline{0,50 < 1}}$$

$$A_{w4} = a_4 * U_b / 100 = 127,48 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{II,Ed} = \frac{V}{A_{w4}} = 5,29 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{3 * (\tau_{II,Ed}^2)} = 9,16 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,25 < 1}}$$



#### Nachweis der Kehlnaht a<sub>1w</sub>:

Kraft, die auf die Steife übertragen wird

$$R_1 = \sigma_c \cdot \frac{b_e \cdot b_p}{2 \cdot 100} = 302,50 \text{ kN}$$

$$\frac{a_{\min}}{a_{1w}} = \underline{\underline{0,50 < 1}}$$

$$A_{w1} = \frac{2 \cdot a_{1w} \cdot (b_e - c_s) / 100}{R_1 / \sqrt{2}} = 18,00 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{\text{orth,Ed}} = \frac{R_1 / \sqrt{2}}{A_{w1}} = 11,88 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{orth,Ed}} = \tau_{\text{orth,Ed}} = 11,88 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\sigma_{\text{orth,Ed}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{orth,Ed}}^2)} = 23,76 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,66 < 1}}$$

$$\frac{\sigma_{\text{orth,Ed}}}{0,9 \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2}} = \underline{\underline{0,46 < 1}}$$

#### Nachweis der Kehlnaht a<sub>2</sub>:

Moment, das auf die Steife übertragen wird

$$M = \frac{R_1 \cdot (b_e + c_s)}{2 \cdot 10} = 3781,25 \text{ kNcm}$$

$$W_{w2} = 2 \cdot a_2 \cdot \frac{(h_s - c_s)^2}{6} \cdot 10^{-3} = 208,33 \text{ cm}^3$$

$$\frac{a_{\min}}{a_2} = \underline{\underline{0,30 < 1}}$$

$$A_{w2} = \frac{2 \cdot a_2 \cdot (h_s - c_s) / 100}{R_1 / \sqrt{2} + \frac{M / \sqrt{2}}{W_{w2}}} = 50,00 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{\text{orth,Ed}} = \frac{R_1 / \sqrt{2} + \frac{M / \sqrt{2}}{W_{w2}}}{A_{w2}} = 17,11 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{orth,Ed}} = \tau_{\text{orth,Ed}} = 17,11 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\sigma_{\text{orth,Ed}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{orth,Ed}}^2)} = 34,22 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,95 < 1}}$$

$$\frac{\sigma_{\text{orth,Ed}}}{0,9 \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2}} = \underline{\underline{0,66 < 1}}$$

**Nachweis der Steifen:**

$$A_s = (b_e - c_s) \cdot t_s / 100 = 30,00 \text{ cm}^2$$

$$N_{c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \cdot A_s = 705,00 \text{ kN}$$

**Nachweis Druckbeanspruchung**

$$\frac{|R_1|}{N_{c,Rd}} = \underline{0,43 < 1}$$

$$A_s = (h_s - c_s) \cdot t_s / 100 = 50,00 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = A_s \cdot \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 678,39 \text{ kN}$$

**Nachweis Querkraftbeanspruchung:**

$$\frac{R_1}{V_{c,Rd}} = \underline{0,45 < 1}$$

$$W_s = t_s \cdot \frac{(h_s - c_s)^2}{6} \cdot 10^{-3} = 208,33 \text{ cm}^3$$

$$M_{y,c,Rd} = \frac{W_s \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = 4895,76 \text{ kNcm}$$

**Nachweis Biegebeanspruchung:**

$$\frac{M}{M_{y,c,Rd}} = \underline{0,77 < 1}$$

**Nachweis der Steifen zwischen den Flanschen:**



Software zur Dokumentation und Berechnung

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

Balkenmodell Schnitt 2-2:

Querkraft und Biegemoment in der Steife:

$$Q = C \cdot \frac{(h_b - 2 \cdot t_f)}{2 \cdot 10} = 338,33 \text{ kN}$$

$$M_E = C \cdot \frac{(h_b - 2 \cdot t_f)^2}{12 \cdot 100} = 2503,63 \text{ kNcm}$$

$$V_{c,Rd} = A_s \cdot \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 678,39 \text{ kN}$$

**Nachweis Querkraftbeanspruchung:**

$$\frac{R_1}{V_{c,Rd}} = \underline{0,45 < 1}$$

$$M_{y,c,Rd} = \frac{W_s \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = 4895,76 \text{ kNcm}$$

**Nachweis Biegebeanspruchung:**

$$\frac{M}{M_{y,c,Rd}} = \underline{0,77 < 1}$$

**Nachweis der Schweißnaht a<sub>3</sub>:**

$$W_{w3} = a_3 \cdot \frac{(h_s - c_s)^2}{6} \cdot 10^{-3} = 187,50 \text{ cm}^3$$

$$A_{w3} = a_3 \cdot (h_s - c_s) / 100 = 45,00 \text{ cm}^2$$

$$\frac{a_{\min}}{a_3} = \underline{0,17 < 1}$$

$$\tau_{\text{orth,Ed}} = \frac{Q/\sqrt{2}}{A_{w3}} + \frac{M_E/\sqrt{2}}{W_{w3}} = 14,76 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{orth,Ed}} = \frac{\tau_{\text{orth,Ed}}}{\dots} = 14,76 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\sigma_{\text{orth,Ed}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{orth,Ed}}^2)} = 29,52 \text{ kN/cm}^2$$

**Nachweis der Schweißnaht:**

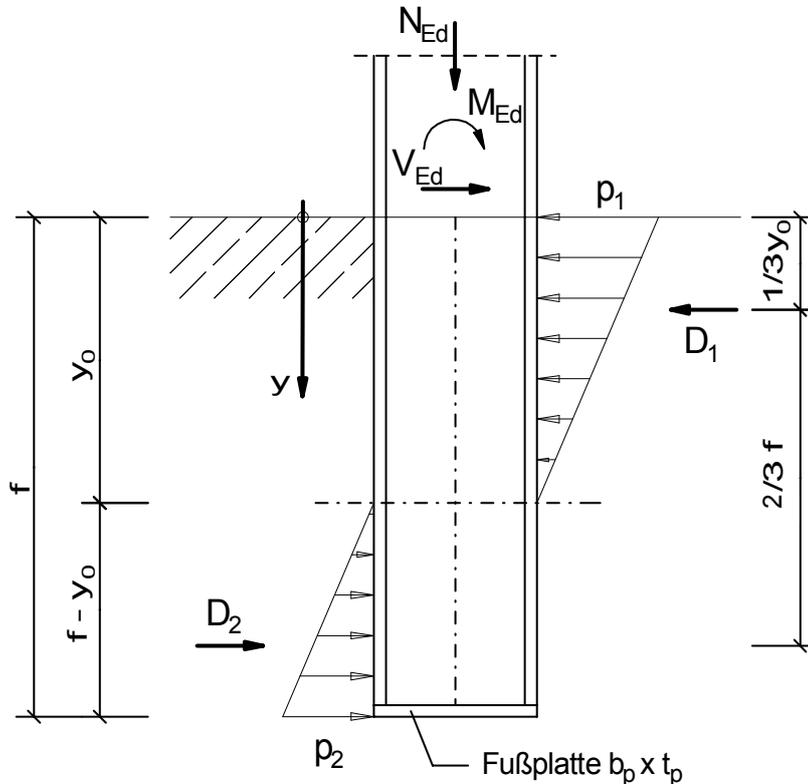
$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{0,82 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{\text{orth,Ed}}}{0,9 \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2}} = \underline{0,57 < 1}$$

### Stützeinspannung in ein Köcherfundament

Die Einbindetiefe ist durch das Berechnungsmodell vorgegeben.

Die Normalkraft wird komplett über die Fußplatte eingeleitet (ohne Berücksichtigung von Reibkräften).



#### Querschnitte / Geometrie:

Stahlprofil:		
Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	= HEA
Träger ID1 =	GEW("EC3_de/Typ1; ID; )	= HEA 260
Höhe h =	TAB("EC3_de/Typ1; h; ID=ID1;)	= 250,00 mm
Breite b =	TAB("EC3_de/Typ1; b; ID=ID1;)	= 260,00 mm
Steg $t_w$ =	TAB("EC3_de/Typ1; tw; ID=ID1;)	= 7,50 mm
Flansch $t_f$ =	TAB("EC3_de/Typ1; tf; ID=ID1;)	= 12,50 mm
Radius r =	TAB("EC3_de/Typ1; r; ID=ID1;)	= 24,00 mm
Trägheitsmoment $I_y$ =	TAB("EC3_de/Typ1; ly; ID=ID1;)	= 10450,00 cm <sup>4</sup>
Widerstandsmoment $W_y$ =	TAB("EC3_de/Typ1; W_y; ID=ID1)	= 836,00 cm <sup>2</sup>
Fläche A =	TAB("EC3_de/Typ1; A; ID=ID1)	= 86,80 cm <sup>2</sup>
$h_w$ =	$h - 2 * t_f$	= 225,00 mm
Einbindetiefe f =	3*h	= 750,00 mm

Fußplatte:	
Dicke $t_p$ =	10,00 mm
Breite $b_p$ =	100,00 mm
Länge $a_p$ =	h = 250,00 mm

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0}$ =	1,0
$\gamma_{M2}$ =	1,25
Normalbeton	
$\gamma_c$ =	1,50
$\alpha_{cc}$ =	0,85



#### Einwirkungen:

Normalkraft $N_{Ed}$ =	20,0 kN
Querkraft $V_{Ed}$ =	40,0 kN
Moment $M_{Ed}$ =	9000,0 kNcm

#### Material:

Beton:			
Beton =	GEW("EC2_de/beton_ec2"; Bez; )	=	C20/25
$f_{c,k}$ =	TAB("EC2_de/beton_ec2"; $f_{ck}$ ; Bez=Beton)/10	=	2,00 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{c,d}$ =	$\frac{f_{c,k}}{\gamma_c} * \alpha_{cc}$	=	1,13 kN/cm <sup>2</sup>
Stahl:			
Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>

#### Kräfte und Spannungen:

$$y_0 = 0,5 * f * \frac{M_{Ed} * 10 + 2 * V_{Ed} * \frac{f}{3}}{M_{Ed} * 10 + V_{Ed} * \frac{f}{2}} = 392,86 \text{ mm}$$
$$D_2 = 1,5 * \frac{M_{Ed} * 10 + V_{Ed} * \frac{y_0}{3}}{f} = 190,48 \text{ kN}$$
$$D_1 = D_2 + V_{Ed} = 230,48 \text{ kN}$$
$$p_1 = \frac{2 * D_1}{b * y_0} * 100 = 0,451 \text{ kN/cm}^2$$
$$p_2 = \frac{2 * D_2}{b * (f - y_0)} * 100 = 0,410 \text{ kN/cm}^2$$

#### Betonpressungen infolge Querkraft und Moment:

$$\sigma_c = \text{MAX}(p_1; p_2) = 0,45 \text{ kN/cm}^2$$

#### Nachweis der Betonpressung

$$\frac{\sigma_c}{f_{c,d}} = \underline{0,40} < 1$$

#### Betonpressungen infolge Drucknormalkraft (Fußplatte):

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{a_p * b_p} * 100 = 0,08 \text{ kN/cm}^2$$

#### Nachweis der Betonpressung

$$\frac{\sigma_c}{f_{c,d}} = \underline{0,07} < 1$$



#### Fußplatte mit Biegebeanspruchung:

Die erforderliche Fußplattendicke wird vereinfacht mittels des Balkenmodells ermittelt!

$$\alpha = \frac{a_p}{b_p} = 2,500$$
$$m = \text{WENN}(\alpha > 1,25; 0,866; 0,707 * \alpha) = 0,866$$
$$t_{p,erf} = m * b_p * \sqrt{\frac{\sigma_c}{f_{y,k} / \gamma_{M0}}} = 5,05 \text{ mm}$$

#### Nachweis der Fußplatte

$$\frac{t_{p,erf}}{t_p} = \underline{\underline{0,51 < 1,0}}$$

#### Stützentragsfähigkeit im Köcherbereich

Querkraftfunktion:



#### Nachweis Querkraftbeanspruchung:

$$\frac{|V_{\max}|}{V_{pl,Rd}} = \underline{\underline{0,79 < 1}}$$

#### Abminderung der Momententragsfähigkeit durch Querkrafteinfluss:

$$\rho_v = \left( \frac{2 * V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = 0,45$$
$$N_{pl,Rd} = \frac{f_{y,k} * A}{\gamma_{M0}} = 2039,80 \text{ kN}$$

Für Querschnitte der Klassen 1 und 2:

Einfluss der Normalkraft auf Momentenbeanspruchbarkeit gegeben, wenn:

$$\frac{0,25 * N_{pl,Rd}}{N_{Ed}} > 1 \quad \text{und} \quad \frac{N_{Ed}}{0,5 * h_w * t_w * f_{y,k} / \gamma_{M0}} < 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{0,25 * N_{pl,Rd}} = \underline{\underline{0,04 \leq 1}}$$

$$\frac{N_{Ed}}{0,5 * h_w * t_w * 10^{-2} * f_{y,k} / \gamma_{M0}} = \underline{\underline{0,10 < 1}}$$

⇒ keine Abminderung der Momententragsfähigkeit durch Normalkraft erforderlich



Momentenfunktion:

$$M(y) = M + V \cdot y - (p_1 + 0,5 \cdot p(y)) \cdot b \cdot y^2 / 3; \quad p(y) = p_1 - p_1 \cdot y / y_0$$

$$M(y) = M + V \cdot y - 0,5 \cdot p_1 \cdot b \cdot (3 - y / y_0) \cdot y^2 / 3$$

$$M_{\max} = M_{\text{Ed}} + V_{\text{Ed}} \cdot \frac{y_N}{10} - \frac{1}{2} \cdot p_1 \cdot \frac{b}{10} \cdot \left(3 - \frac{y_N}{y_0}\right) \cdot \frac{y_N^2}{3 \cdot 100} = 9070,34 \text{ kNcm}$$

$$M_1 = M_{\text{Ed}} + V_{\text{Ed}} \cdot \frac{y_0}{10} - \frac{1}{2} \cdot p_1 \cdot \frac{b}{10} \cdot \left(3 - \frac{y_0}{y_0}\right) \cdot \frac{y_0^2}{3 \cdot 100} = 4538,84 \text{ kNcm}$$

$$M_{y,\text{Rd}} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \cdot W_y = 19646,00 \text{ kNcm}$$

$$M_{y,n,\text{Rd}} = M_{y,\text{Rd}} \cdot \left(1 - \frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{pl,Rd}}}\right) = 19453,37 \text{ kNcm}$$

$$M_{y,v,\text{Rd}} = W_y \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \cdot (1 - \rho_v) = 10805,30 \text{ kNcm}$$

$$M_{y,vn,\text{Rd}} = M_{y,v,\text{Rd}} \cdot \left(1 - \frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{pl,Rd}}}\right) = 10699,36 \text{ kNcm}$$

**Nachweis Biegebeanspruchung:**

$$\frac{M_{\max}}{M_{y,n,\text{Rd}}} = \underline{\underline{0,85 < 1}}$$

$$\frac{M_1}{M_{y,vn,\text{Rd}}} = \underline{\underline{0,42 < 1}}$$

### Querschnittstragfähigkeit an der Einspannstelle

**Nachweis Querkraftbeanspruchung:**

$$\frac{|V_{\text{Ed}}|}{V_{\text{pl,Rd}}} = \underline{\underline{0,17 < 1}}$$

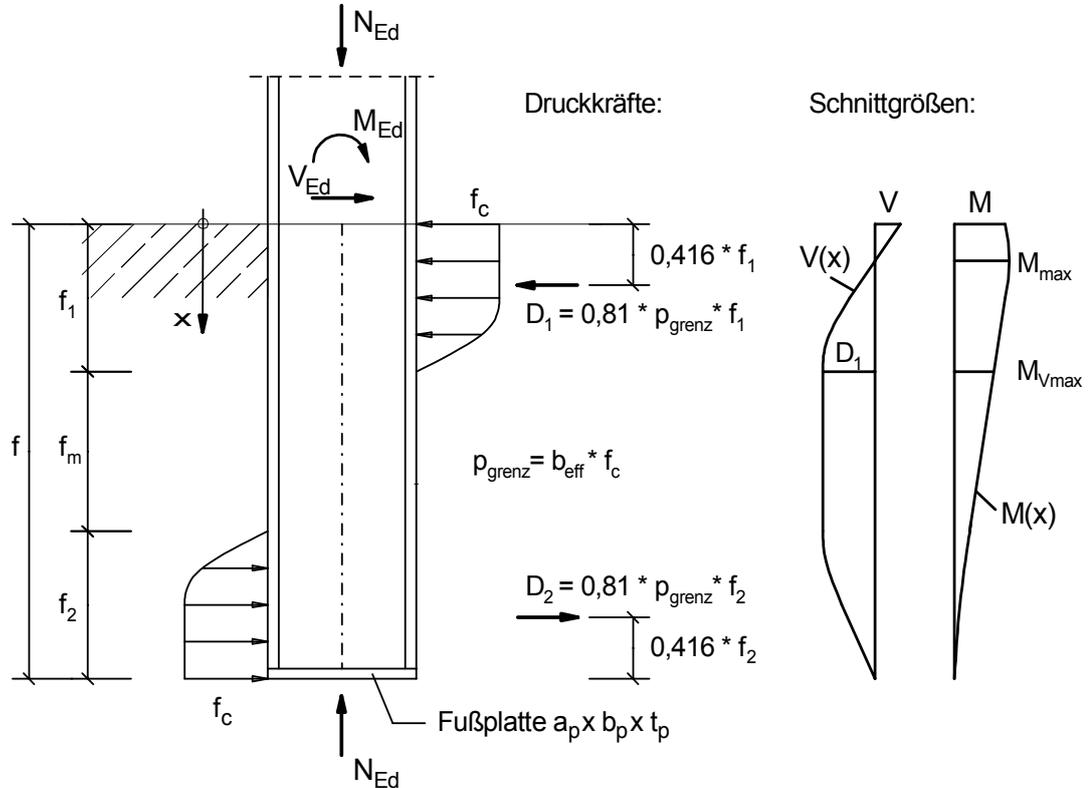
**Nachweis Biegebeanspruchung:**

$$\frac{M_{\text{Ed}}}{M_{y,vn,\text{Rd}}} = \underline{\underline{0,84 < 1}}$$

### Stützeinspannung in Köcherfundament (Parabel-Rechteck-Diagramm)

Zur Übertragung der Anschlussschnittgrößen  $M$  und  $V$  werden Spannungsverteilungen angenommen, die dem Parabel-Rechteck-Diagramm in der Biegedruckzone des Betons im Bruchzustand entsprechen.

Die Normalkraft wird ohne Berücksichtigung von Reibkräften komplett über die Fußplatte eingeleitet.



#### Querschnitte / Geometrie:

Einbindetiefe $f$ =		45,0 cm
Stahlprofil:		
Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	= HEB
Träger ID1 =	GEW("EC3_de/Typ1; ID; )	= HEB 280
Höhe $h$ =	TAB("EC3_de/Typ1; h; ID=ID1;)	= 280,0 mm
Breite $b$ =	TAB("EC3_de/Typ1; b; ID=ID1;)	= 280,0 mm
Steg $t_w$ =	TAB("EC3_de/Typ1; tw; ID=ID1;)	= 10,5 mm
Flansch $t_f$ =	TAB("EC3_de/Typ1; tf; ID=ID1;)	= 18,0 mm
Radius $r$ =	TAB("EC3_de/Typ1; r; ID=ID1;)	= 24,0 mm
Fläche $A$ =	TAB("EC3_de/Typ1; A; ID=ID1)	= 131,0 cm <sup>2</sup>
$h_w$ =	$h - 2 * t_f$	= 244,0 mm
Fußplatte:		
Dicke $t_p$ =	20,0 mm	
Breite $b_p$ =	$b$ = 280,0 mm	
Länge $a_p$ =	$h$ = 280,0 mm	

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0}$ =	1,0
Normalbeton	
$\gamma_c$ =	1,50
$\alpha_{cc}$ =	0,85



#### Einwirkungen:

Normalkraft $N_{Ed}$ =	230,0 kN
Querkraft $V_{Ed}$ =	22,0 kN
Moment $M_{Ed}$ =	110,0 kNm

#### Material:

Beton:			
Beton =	GEW("EC2_de/beton_ec2"; Bez; )	=	C25/30
$f_{c,k}$ =	TAB("EC2_de/beton_ec2"; $f_{ck}$ ; Bez=Beton)/10	=	2,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{c,d}$ =	$\alpha_{cc} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_c}$	=	1,417 kN/cm <sup>2</sup>
Stahl:			
Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon$ =	$\sqrt{23,5 / f_{y,k}}$	=	1,00

#### Einstufung des Querschnitts in Querschnittsklasse:

Beanspruchung: Biegung und Druck			
$c$ =	$h_w - 2 \cdot r$	=	196,0 mm
$N_{pl,Rd}$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; NplRd; ID=ID1)	=	3086,66 kN
$n$ =	$\frac{ N_{Ed} }{N_{pl,Rd}}$	=	0,07
$d$ =	$h_w - 2 \cdot r$	=	196,0 mm
$\alpha$ =	$\left( \frac{n \cdot A}{d \cdot t_w / 100} + 1 \right) \cdot \frac{1}{2}$	=	0,72

Kriterium für Querschnittsklasse 1:

$$\text{WENN}(\alpha > 0,5; \frac{c/t_w}{396 \cdot \varepsilon / (13 \cdot \alpha - 1)}; \frac{c/t_w}{36 \cdot \varepsilon / \alpha}) = \underline{\underline{0,39 < 1}}$$

⇒ Querschnitt der Klasse 1

#### Querschnittstragfähigkeit an der Einspannstelle:

Grenzschnittgrößen ( $\gamma_{M0} = 1,0$ ):

$N_{pl,Rd}$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; NplRd; ID=ID1)	=	3086,66 kN
$M_{pl,y,Rd}$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; MyplRd; ID=ID1)	=	360,58 kNm
Vollpl. Querkraft nach EC 3 für $f_{y,d} = 21,36 \text{ N/mm}^2$			
$V_{pl,z,Rd}$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; VplzEC3; ID=ID1)	=	557,59 kN

#### Nachweis Normalkraft:

$$N_{Ed}/N_{pl,Rd} = \underline{\underline{0,07 < 0,25}}$$

#### Nachweis Querkraft:

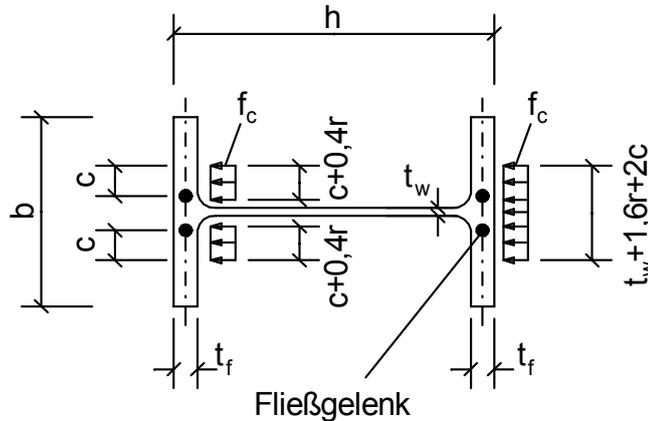
$$V_{Ed}/V_{pl,z,Rd} = \underline{\underline{0,04 < 0,5}}$$

#### Nachweis Biegung:

$$M_{Ed}/M_{pl,y,Rd} = \underline{\underline{0,31 < 1,0}}$$

### Einspanntiefe:

Druckkräfte werden teilweise sowohl am vorderen als auch am hinteren Gurt übertragen.



Betonpressung

$$\sigma_{c,grenz} = \frac{2}{3} * f_{c,d} = 0,94 \text{ kN/cm}^2$$

$$c = \text{MIN} \left( \frac{t_f}{10} * \sqrt{\frac{f_{y,k} / \gamma_{M0}}{2 * \sigma_{c,grenz}}}; (b - t_w - 1,6 * r) / 20 \right) = 6,36 \text{ cm}$$

effektive Breite

$$b_{eff} = \text{MIN}(t_w + 2,4 * r + 4 * c * 10; b) / 10 = 28,00 \text{ cm}$$

Grenzpressung

$$p_{grenz} = \text{MIN}(b_{eff} * \sigma_{c,grenz}; 2 * t_w / 10 * f_{y,k} / \gamma_{M0}) = 26,32 \text{ kN/cm}$$

Seitliche Druckkraft (Abstützkraft) im unteren Stützbereich

$$D_2 = -0,07 * V_{Ed} + 0,6 * \sqrt{1,93 * M_{Ed} * 10^2 * p_{grenz} + V_{Ed}^2} = 447,16 \text{ kN}$$

$$D_2 = \text{MIN}(D_2; V_{pl,z,Rd}) = 447,16 \text{ kN}$$

Minimale Einspanntiefe

$$f_{min} = \left( \frac{M_{Ed} * 10^2}{D_2} + \frac{1,03}{p_{grenz}} * (D_2 + V_{Ed} + 0,5 * V_{Ed}^2 / D_2) \right) = 42,98 \text{ cm}$$

**Nachweis Einspanntiefe**

$$f_{min} / f = \underline{0,96} < 1$$

### Betonpressungen infolge Drucknormalkraft (Fußplatte):



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

### Stützentragfähigkeit im Köcherbereich

a) Stelle des maximalen Biegemomentes ( $V = 0 \text{ kN}$ )

$$x = 10 * V_{Ed} / p_{grenz} = 8,36 \text{ mm}$$

$$M_{max} = M_{Ed} + 0,5 * V_{Ed} / p_{grenz} = 110,42 \text{ kNcm}$$

$$M_{max} / M_{Ed} = 1,0038$$

$M_{max}$  ist nur geringfügig größer als das Biegemoment an der Einspannstelle. Ein Nachweis ist nicht erforderlich.



b) Stelle der maximalen Querkraft

$$f_1 = \frac{D_2 + V_{Ed}}{0,81 \cdot p_{\text{grenz}}} \cdot 10 = 220,06 \text{ mm}$$

$$V_{\text{max}} = D_2 = 447,16 \text{ kN}$$

$$M_{V_{\text{max}}} = M_{Ed} \cdot 10^2 + V_{Ed} \cdot 0,416 \cdot f_1/10 - D_2 \cdot 0,584 \cdot f_1/10 = 5454,72 \text{ kNcm}$$

**Nachweis Querkraftbeanspruchung:**

$$V_{\text{max}}/V_{pl,z,Rd} = \underline{\underline{0,80 \leq 1,0}}$$

N und M werden den Stützengurten zugewiesen.

maximale Gurtkraft

$$N_{f,\text{max}} = \frac{N_{Ed}}{2} + \frac{M_{V_{\text{max}}}}{h - t_f} \cdot 10 = 323,20 \text{ kN}$$

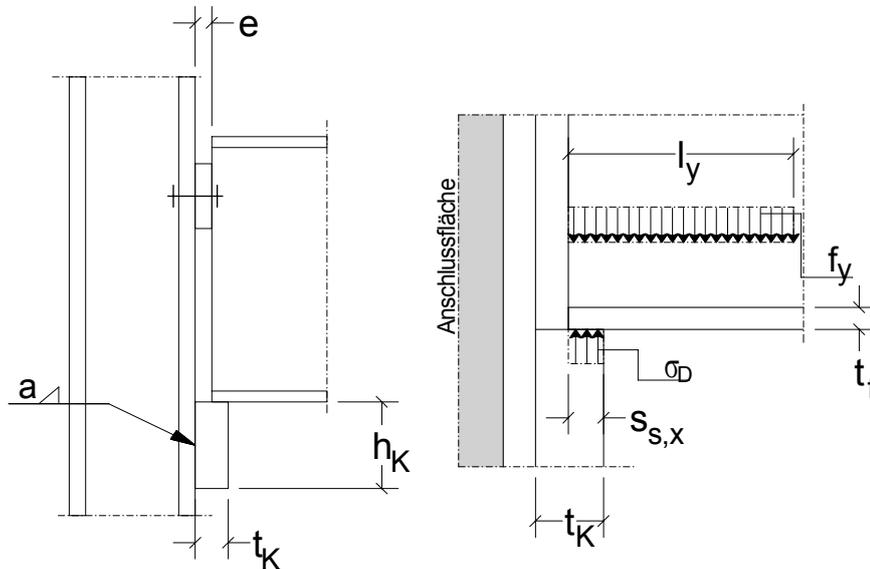
Beanspruchbarkeit eines Gurtes

$$N_{f,Rd} = b \cdot t_f \cdot 10^{-2} \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{MO}} = 1184,40 \text{ kN}$$

**Nachweis Normalkraftbeanspruchung:**

$$N_{f,\text{max}}/N_{f,Rd} = \underline{\underline{0,27 < 1,0}}$$

### Knaggenanschluss mit rippenloser Lasteinleitung



#### Vorgabewerte:

Belastung / Material / Geometrie		
$V_{Ed} =$		120,00 kN
Trägerprofil		
Profilreihe Typ =	GEW("EC3_de/Profile"; ID; )	= IPE
Gewähltes Profil ID=	GEW("EC3_de"/Typ; ID; )	= IPE 400
Abstand $e =$		8,00 mm
Knagge		
Dicke $t_K =$		30 mm
Höhe $h_K =$		100 mm
Kehlnaht $a =$		5 mm
Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	= S 235

#### zugehörige Material- u. Geometriewerte:

Stahl		
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{y,k}$ ; ID=Stahl)/10	= 23,5 kN/cm <sup>2</sup>
$E_s =$	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)	= 210000 N/mm <sup>2</sup>
$\varepsilon =$	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	= 1,00
Teilsicherheitsbeiwerte		
$\gamma_{M0} =$		1,00
$\gamma_{M1} =$		1,10
$\gamma_{M2} =$		1,25
Höhe $h =$	TAB("EC3_de"/Typ; h; ID=ID)	= 400,00 mm
Breite $b =$	TAB("EC3_de"/Typ; b; ID=ID)	= 180,00 mm
Radius $r =$	TAB("EC3_de"/Typ; r; ID=ID)	= 21,00 mm
Steg $t_w =$	TAB("EC3_de"/Typ; $t_w$ ; ID=ID)	= 8,60 mm
Flansch $t_f =$	TAB("EC3_de"/Typ; $t_f$ ; ID=ID)	= 13,50 mm

#### a) Kraftübertragung zwischen Träger und Knagge

Kontaktpressung:		
$s_{s,x} =$	$t_K - e$	= 22,00 mm
$s_{s,y} =$	$t_w + 1,17 \cdot r + 2 \cdot t_f$	= 60,17 mm
$\sigma_D =$	$V_{Ed} \cdot 10^3 / (s_{s,x} \cdot s_{s,y}) \cdot 10^{-1}$	= 9,07 kN/cm <sup>2</sup>
$\sigma_D / (f_{y,k} / \gamma_{M0})$		= <u>0,39</u> ≤ 1



Grenzkraft für rippenlose Kraffteinleitung (ohne Stegbeulen):

Streckgrenze des Stegbleches

$$f_{yw} = \frac{f_{y,k}}{f_{y,k} / \gamma_{M0} * b} = 23,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$m_1 = \frac{f_{y,k} / \gamma_{M0} * b}{f_{yw} * t_w} = 20,93$$

$$\text{Überstand } c = 0,00 \text{ mm}$$

$$\text{Beulwert } k_F = 2 + 6 * \left( \frac{s_{s,x} + c}{h} \right) = 2,33$$

$$l_e = \text{MIN}(k_F * E_s * t_w^2 / (2 * f_{yw} * 10 * h); s_{s,x} + c) = 22,00 \text{ mm}$$

$$l_{y,1} = l_e + t_f * \sqrt{\left( \frac{m_1}{2} + \left( \frac{l_e}{t_f} \right)^2 \right)} = 70,90 \text{ mm}$$

$$l_{y,2} = l_e + t_f * (\sqrt{m_1}) = 83,76 \text{ mm}$$

$$l_y = \text{MIN}(l_{y,1}; l_{y,2}) = 70,90 \text{ mm}$$

$$F_{R,d} = \frac{f_{yw} * 10 * l_y * t_w}{\gamma_{M1} * 10^{-3}} = 130,26 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / F_{R,d} = \underline{\underline{0,92 \leq 1}}$$

#### b) Verbindung der Knagge mit der Anschlussfläche



Nachweis Richtungsbezogenes Verfahren

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed} * 10^3 / (2 * a * l) * 10^{-1}}{f_{yw}} = 12,00 \text{ kN/cm}^2$$

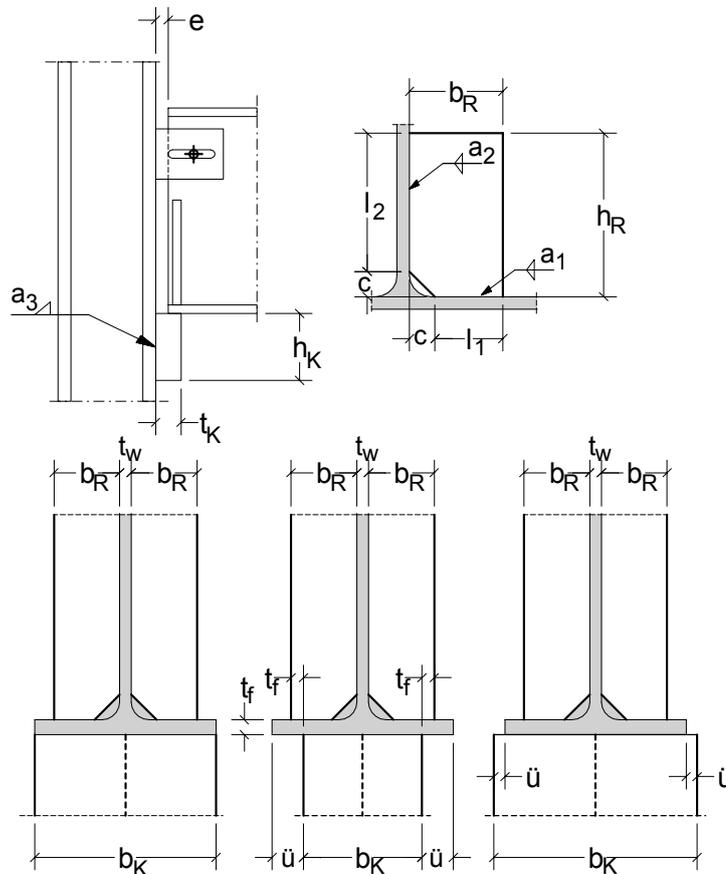
$$\beta_w = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"}; \beta_{a,w}; \text{ID=Stahl}) = 0,80$$

$$f_u = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"}; f_{uk}; \text{ID=Stahl}) / 10 = 36,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{vw,d} = (f_u / \sqrt{3}) / (\beta_w * \gamma_{M2}) = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{II} / f_{vw,d} = \underline{\underline{0,58 \leq 1}}$$

### Knaggenanschluss mit Lasteinleitung über Rippen



#### Vorgabewerte:

Belastung / Material / Geometrie

 $V_{Ed} = 250,00 \text{ kN}$ 

Trägerprofil

Profilreihe Typ = GEW("EC3\_de/Profile"; ID; ) = IPE

Gewähltes Profil ID= GEW("EC3\_de/Typ; ID; ) = IPE 400

Abstand e = 5,00 mm

Knagge

 Dicke  $t_K = 30 \text{ mm}$ 

 Höhe  $h_K = 120 \text{ mm}$ 

 Breite  $b_K = 200 \text{ mm}$ 

 Knaggennaht  $a_3 = 6 \text{ mm}$ 

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID; ) = S 235

Rippe

 Rippenbreite  $b_R = 80,00 \text{ mm}$ 

 Rippenhöhe  $h_R = 150,00 \text{ mm}$ 

 Rippennaht  $a_1 = 4,00 \text{ mm}$ 

 Rippennaht  $a_2 = 3,00 \text{ mm}$ 

#### zugehörige Material- u. Geometriewerte:

Stahl

 $f_{y,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{y,k}; \text{ID=Stahl})/10 = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ 
 $E_s = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } E; \text{ID=Stahl}) = 210000 \text{ N/mm}^2$ 
 $\varepsilon = \sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}} = 1,00$



Teilsicherheitsbeiwerte

$\gamma_{M0} =$	1,00
$\gamma_{M1} =$	1,10
$\gamma_{M2} =$	1,25

Stützenprofil

Höhe h =	TAB("EC3_de/"Typ; h; ID=ID)	=	400,00 mm
Breite b =	TAB("EC3_de/"Typ; b; ID=ID)	=	180,00 mm
Radius r =	TAB("EC3_de/"Typ; r; ID=ID)	=	21,00 mm
Steg $t_w$ =	TAB("EC3_de/"Typ; $t_w$ ; ID=ID)	=	8,60 mm
Flansch $t_f$ =	TAB("EC3_de/"Typ; $t_f$ ; ID=ID)	=	13,50 mm

$$\text{Überstand } \ddot{u} = \text{ABS}((b - b_K)/2) = 10,00 \text{ mm}$$

Größtmaß der Rippenbreite

$$b_{R,max} = \text{WENN}(b_K < b; 0,5 * (b_K + 2 * t_f * t_w); \text{WENN}(b_K = b; 0,5 * (b - t_w); 0,5 * (b_K - 2 * \ddot{u} - t_w))) = 85,70 \text{ mm}$$

$$b_R / b_{R,max} = \underline{\underline{0,93 \leq 1}}$$

damit die Rippen nicht überstehen, gilt

$$(2 * b_R + t_w) / b = \underline{\underline{0,94 \leq 1}}$$

Grenzkraft für rippenlose Kraffteinleitung (ohne Stegbeulen):



$$l_{y,1} = l_e + t_f * \sqrt{\left(\frac{m_1}{2} + \left(\frac{l_e}{t_f}\right)^2\right)} = 75,32 \text{ mm}$$

$$l_{y,2} = l_e + t_f * (\sqrt{m_1}) = 86,76 \text{ mm}$$

$$l_y = \text{MIN}(l_{y,1}; l_{y,2}) = 75,32 \text{ mm}$$

$$F_{R,d} = f_{yw} * 10 * l_y * t_w / \gamma_{M1} * 10^{-3} = 138,38 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / F_{R,d} = \underline{\underline{1,81 \leq 1}}$$



#### a) Kraftübertragung zwischen Träger und Knagge

Kontaktpressung:

$$s_{s,y} = \text{MIN}(\text{WENN}(b_K < b; b - 2 \cdot \ddot{u}; \text{WENN}(b_K > b; b_K - 2 \cdot \ddot{u}; b))) = 180,00 \text{ mm}$$

$$\sigma_D = V_{Ed} \cdot 10^3 / (s_{s,x} \cdot s_{s,y}) \cdot 10^{-1} = 5,56 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_D / (f_{y,k} / \gamma_{M0}) = \underline{\underline{0,24 \leq 1}}$$

Rippenanschluss:

$$c = r = 21,00 \text{ mm}$$

$$F_1 = V_{Ed} \cdot (b_R - c) / (2 \cdot b_R + t_w) = 87,49 \text{ kN}$$

$$e_1 = (b_R + c) / 2 = 50,50 \text{ mm}$$

$$e_2 = (2 \cdot h_R + c) / 3 = 107,00 \text{ mm}$$

$$F_2 = F_1 \cdot e_1 / e_2 = 41,29 \text{ kN}$$

Naht 1 (Flanschnaht):

$$l_1 = b_R - c = 59,00 \text{ mm}$$

$$\beta_w = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"}; \beta_{w}; \text{ID=Stahl}) = 0,80$$

$$f_u = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"}; f_{u,k}; \text{ID=Stahl}) = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{erf}_{a_1} = \sqrt{(2 \cdot F_1^2 + 3 \cdot F_2^2) \cdot 10^3 \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} / (2 \cdot l_1 \cdot f_u) = 3,4 \text{ mm}$$

$$\text{erf}_{a_1} / a_1 = \underline{\underline{0,85 \leq 1}}$$

$$A_{w,1} = 2 \cdot a_1 \cdot l_1 = 472 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_w = \sqrt{(2 \cdot F_1^2 + 3 \cdot F_2^2) \cdot 10^2} / A_{w,1} = 30,28 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_w / (f_u \cdot 10^{-1}) = \underline{\underline{0,84 \leq 1}}$$

Naht 2 (Stegnaht):

$$l_2 = h_R - c = 129,00 \text{ mm}$$

$$\text{erf}_{a_2} = \sqrt{(3 \cdot F_1^2 + 8 \cdot F_2^2) \cdot 10^3 \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} / (2 \cdot l_2 \cdot f_u) = 2,1 \text{ mm}$$

$$\text{erf}_{a_2} / a_2 = \underline{\underline{0,70 \leq 1}}$$

$$A_{w,2} = 2 \cdot a_2 \cdot l_2 = 774 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_w = \sqrt{(3 \cdot F_1^2 + 8 \cdot F_2^2) \cdot 10^2} / A_{w,2} = 24,72 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_w / (f_u \cdot 10^{-1}) = \underline{\underline{0,69 \leq 1}}$$

#### b) Verbindung der Knagge mit der Anschlussfläche

Exzentrizitätsmoment wird vernachlässigt

$$M_E = V_{Ed} \cdot (s_{s,x} / 2 + e) \cdot 10^{-3} = 4,38 \text{ kNm}$$

Mindestanforderungen an Kehlnaht

$$a_{\text{min}} = \sqrt{t_K} - 0,5 = 4,98 \text{ mm}$$

$$a_{\text{min}} / a_3 = \underline{\underline{0,83 \leq 1}}$$

$$3 / a_3 = \underline{\underline{0,50 \leq 1}}$$

$$a_3 / t_K = \underline{\underline{0,20 \leq 1}}$$

$$l = h_K = 120,00 \text{ mm}$$

$$(6 \cdot a_3) / l = \underline{\underline{0,30 \leq 1}}$$

$$30 / l = \underline{\underline{0,25 \leq 1}}$$

Nachweis Richtungsbezogenes Verfahren

$$\tau_{II} = V_{Ed} \cdot 10^3 / (2 \cdot a_3 \cdot l) \cdot 10^{-1} = 17,36 \text{ kN/cm}^2$$

$$\beta_w = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"}; \beta_{w}; \text{ID=Stahl}) = 0,80$$

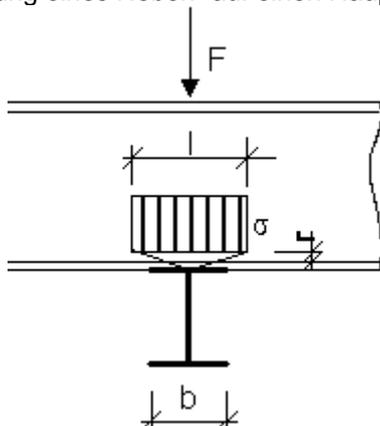
$$f_u = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"}; f_{u,k}; \text{ID=Stahl}) / 10 = 36,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{vw,d} = (f_u / \sqrt{3}) / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{II} / f_{vw,d} = \underline{\underline{0,84 \leq 1}}$$

### Krafteinleitung Träger auf Träger

Auflagerung eines Neben- auf einen Hauptträger - Tragsicherheitsnachweis im Auflagerbereich



#### Belastung / Geometrie:

Auflagerkraft $P_{Ed}$ =	68,00 kN
Träger oben $M_{Ed1}$ =	-22,00 kNm
Träger unten $M_{Ed2}$ =	70,00 kNm

Träger oben (IPE180)			
Profilreihe oben Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID; )	=	IPE
Gewähltes Profil1 =	GEW("EC3_de"/"Typ1; ID; )	=	IPE 180

Träger unten (HEA200)			
Profilreihe unten Typ2 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID; )	=	HEA
Gewähltes Profil2 =	GEW("EC3_de"/"Typ2; ID; )	=	HEA 200

#### Material / Beiwerte:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$E_s$ =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)	=	210000,00 N/mm <sup>2</sup>
G =	TAB("EC3_de/mat"; G; ID=Stahl)	=	81000,00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)	=	235,00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{u,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)	=	360,00 N/mm <sup>2</sup>
$\epsilon$ =	$\sqrt{\frac{235}{f_{y,k}}}$	=	1,00
$\lambda_1$ =	$\pi \cdot \sqrt{E_s / 235 \cdot \epsilon}$	=	93,91
$\gamma_{M0}$ =			1,0
$\gamma_{M1}$ =			1,1
$f_{yd}$ =	$\frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}}$	=	235,00 kN/cm <sup>2</sup>

#### Querschnittswerte:

Träger oben			
Stegdicke Träger $t_{w1}$ =	TAB("EC3_de"/"Typ1; $t_w$ ; ID=Profil1)	=	5,30 mm
Flanschdicke $t_{f1}$ =	TAB("EC3_de"/"Typ1; $t_f$ ; ID=Profil1)	=	8,00 mm
Radius $r_1$ =	TAB("EC3_de"/"Typ1; r; ID=Profil1)	=	9,00 mm
Flanschbreite $b_1$ =	TAB("EC3_de"/"Typ1; b; ID=Profil1)	=	91,00 mm
Höhe $h_1$ =	TAB("EC3_de"/"Typ1; h; ID=Profil1)	=	180,00 mm
gerader Stegteil $d_1$ =	$h_1 - 2 \cdot t_{f1} - 2 \cdot r_1$	=	146,00 mm
$h_{w1}$ =	$h_1 - 2 \cdot t_{f1}$	=	164,00 mm



Fläche $A_1 =$	TAB("EC3_de/"Typ1; A; ID=Profil1)	=	23,90 cm <sup>2</sup>
$W_{el1} =$	TAB("EC3_de/"Typ1; $W_y$ ; ID=Profil1)	=	146,00 cm <sup>3</sup>
$W_{pl1} =$	1,14 * $W_{el1}$	=	166,44 cm <sup>3</sup>
$I_{y1} =$	TAB("EC3_de/"Typ1; $I_y$ ; ID=Profil1)	=	1320,00 cm <sup>4</sup>
$\eta =$		=	1,0
$A_{v1} =$	$MAX(A_1 * 100 - 2 * b_1 * t_{f1} + (t_{w1} + 2 * r_1) * t_{f1}; \eta * h_{w1} * t_{w1}) / 100$	=	11,20 cm <sup>2</sup>
<b>Träger unten</b>			
Stegdicke Träger $t_{w2} =$	TAB("EC3_de/"Typ2; $t_w$ ; ID=Profil2)	=	6,50 mm
Flanschdicke $t_{f2} =$	TAB("EC3_de/"Typ2; $t_f$ ; ID=Profil2)	=	10,00 mm
Radius $r_2 =$	TAB("EC3_de/"Typ2; $r$ ; ID=Profil2)	=	18,00 mm
Flanschbreite $b_2 =$	TAB("EC3_de/"Typ2; $b$ ; ID=Profil2)	=	200,00 mm
Höhe $h_2 =$	TAB("EC3_de/"Typ2; $h$ ; ID=Profil2)	=	190,00 mm
gerader Stegteil $d_2 =$	$h_2 - 2 * t_{f2} - 2 * r_2$	=	134,00 mm
$h_{w2} =$	$h_2 - 2 * t_{f2}$	=	170,00 mm
Fläche $A_2 =$	TAB("EC3_de/"Typ2; A; ID=Profil2)	=	53,80 cm <sup>2</sup>
$W_{el2} =$	TAB("EC3_de/"Typ2; $W_y$ ; ID=Profil2)	=	389,00 cm <sup>3</sup>
$W_{pl2} =$	1,14 * $W_{el2}$	=	443,46 cm <sup>3</sup>
$I_{y2} =$	TAB("EC3_de/"Typ2; $I_y$ ; ID=Profil2)	=	3690,00 cm <sup>4</sup>
$A_{v2} =$	$MAX(A_2 * 100 - 2 * b_2 * t_{f2} + (t_{w2} + 2 * r_2) * t_{f2}; \eta * h_{w2} * t_{w2}) / 100$	=	18,05 cm <sup>2</sup>

### Krafteinleitung:

#### **Lastverteilungsbreite des oberen Querschnitts:**

Last wird über Flansch eingeleitet und steht mit den Querkräften im Steg im Gleichgewicht  
Beulwert  $k_F =$  6,00

Streckgrenze des Stegbleches

$$f_{yw} = f_{y,k} = 235,00 \text{ N/mm}^2$$

Länge der starren Lasteinleitung (Walzprofil)

$$s_{s,1} = t_{w1} + 2 * t_{f1} + 4 * r_1 * \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right) = 31,84 \text{ mm}$$

$$F_{cr2} = \frac{0,9 * k_F * E_s * t_{w2}^3}{M_{Ed2} * 100} / h_{w2} = 1831,91 * 10^3 \text{ N}$$

$$\sigma_{yf2} = \frac{W_{el2}}{W_{pl2}} = 17,99 \text{ kN/cm}^2$$

$$m_{1,1} = \frac{\sigma_{yf2} * \gamma_{M0} * b_2}{f_{yw} * t_{w2}} = 2,36$$

$$l_{y,1} = \frac{s_{s,1} + 2 * t_{f2} * (1 + \sqrt{m_{1,1}})}{1} = 82,56 \text{ mm} \leq a$$

$$\lambda_{quer,F2} = \sqrt{\frac{l_{y,1} * t_{w2} * f_{yw}}{F_{cr2}}} = 0,262$$

$$m_{2,1} = \text{WENN}(\lambda_{quer,F2} \leq 0,5; 0; 0,02 * \left(\frac{h_{w2}}{t_{f2}}\right)^2) = 0,00$$

$$l_{y,1} = \frac{s_{s,1} + 2 * t_{f2} * (1 + \sqrt{m_{1,1} + m_{2,1}})}{1} = 82,56 \text{ mm} \leq a$$

$$\lambda_{quer,F2} = \sqrt{\frac{l_{y,1} * t_{w2} * f_{yw}}{F_{cr2}}} = 0,262$$

$$\chi_{F,1} = \text{MIN}\left(\frac{0,5}{\lambda_{quer,F2}}; 1,0\right) = 1,000$$

$$L_{eff,1} = \chi_{F,1} * l_{y,1} = 82,56 \text{ mm}$$



Beanspruchbarkeit des Stegblechs unter Berücksichtigung des Plattenbeulens

$$F_{Rd,1} = L_{eff,1} * t_{w2} * \frac{f_{yw}}{\gamma_{M1}} * 10^{-3} = 114,65 \text{ kN}$$

$$\frac{P_{Ed}}{F_{Rd,1}} = \underline{0,59 < 1}$$

**Lastverteilungsbreite des unteren Querschnitts:**

$$s_{s,2} = t_{w2} + 2 * t_{f2} + 4 * r_2 * \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right) = 47,59 \text{ mm}$$

$$F_{cr1} = \frac{0,9 * k_F * E_s * t_{w1}^3 / h_{w1}}{M_{Ed1} * 100} = 1029,43 * 10^3 \text{ N}$$

$$\sigma_{yf1} = \frac{M_{Ed1}}{W_{el1}} = -15,07 \text{ kN/cm}^2$$

$$m_{1,2} = \frac{|\sigma_{yf1}| * \gamma_{M0} * b_1}{f_{yw} * t_{w1}} = 1,10$$

$$l_{y,2} = s_{s,2} + 2 * t_{f1} * \left(1 + \sqrt{m_{1,2}}\right) = 80,37 \text{ mm} \leq a$$

$$\lambda_{quer,F1} = \sqrt{\frac{l_{y,1} * t_{w1} * f_{yw}}{F_{cr1}}} = 0,316$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# master

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

Beanspruchbarkeit des Stegblechs unter Berücksichtigung des Plattenbeulens

$$F_{Rd,2} = L_{eff,2} * t_{w1} * \frac{f_{yw}}{\gamma_{M1}} * 10^{-3} = 91,00 \text{ kN}$$

$$\frac{P_{Ed}}{F_{Rd,2}} = \underline{0,75 < 1}$$

**Nachweis des Stegbleches gegen Fließen an den Kräfteinleitungsstellen:**

**Unterer Träger:**

$$\sigma_{x,Ed2} = \frac{M_{Ed2} * 100}{I_{y2}} * \left(\frac{h_2}{2} - t_{f2}\right) = 161,25 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{z,Ed2} = \frac{10^3 * P_{Ed}}{(s_{s,1} + 2 * t_{f2}) * t_{w2}} = 201,80 \text{ kN/cm}^2$$

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed2}}{f_{yd}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed2}}{f_{yd}}\right)^2 - \frac{\sigma_{x,Ed2}}{f_{yd}} * \frac{\sigma_{z,Ed2}}{f_{yd}} = \underline{0,62 < 1}$$

**Oberer Träger:**

$$\sigma_{x,Ed1} = \frac{-M_{Ed1} * 100}{I_{y1}} * \left( \frac{h_1}{2} - t_{f1} \right) = 136,67 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{z,Ed1} = \frac{10^3 * P_{Ed}}{(s_{s,2} + 2 * t_{f1}) * t_{w1}} = 201,76 \text{ kN/cm}^2$$

$$\left( \frac{\sigma_{x,Ed1}}{f_{yd}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{z,Ed1}}{f_{yd}} \right)^2 - \frac{\sigma_{x,Ed1}}{f_{yd}} * \frac{\sigma_{z,Ed1}}{f_{yd}} = \underline{\underline{0,58 < 1}}$$

**Träger oben (1):****Gurt:**

$$b_{eff,b,fc} = t_{w1} + 2 * r_1 + 7 * t_{f1} = 79,30 \text{ mm}$$

$$b_p = b_2 = 200,00 \text{ mm}$$

$$b_{eff,b,fc} = \text{MAX} \left( b_{eff,b,fc}, \frac{f_{y,k}}{f_{u,k}} * b_p \right) = 130,56 \text{ mm}$$

$$F_{fc,Rd} = \text{MIN} \left( b_{eff,b,fc} * t_{f2} * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}}; 0,7 * b_2 * t_{f2} * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \right) / 1000 = 306,82 \text{ kN}$$

**Nachweis des Gurtes:**

$$\frac{|P_{Ed}|}{F_{fc,Rd}} = \underline{\underline{0,22 < 1}}$$

**Steg mit Druckbeanspruchung:**

$$f_{y,wc} = f_{y,k} = 235,00 \text{ kN/cm}^2$$

Reduktionsfaktor  $\omega$  für Schub:

$$b_{eff,c,wc} = t_{f2} + r_2 + 5 * (t_{f1} + r_1) = 113,00 \text{ mm}$$

Übertragungsparameter  $\beta$  =

$$\Rightarrow \omega = \omega_1 = 1,00$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 * (b_{eff,c,wc} * t_{w1} / (A_{v1} * 100))^2}} = 0,85$$

Reduktionsfaktor  $k_{wc}$  für gleichzeitig wirkende Druckspannungen im Steg infolge Biegemoment im Träger:

maximale Längsdruckspannung im Steg (am Ende des Ausrundungsradius)

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{Ed1}}{I_{y1}} * \left( \frac{h_{w1}}{2} - r_1 \right) * 100 = -121,67 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{wc} = \text{WENN} \left( \frac{|\sigma_{com,Ed}|}{0,7 * f_{y,wc}} > 1; 1,7 - \frac{\sigma_{com,Ed}}{f_{y,wc}}; 1,0 \right) = 1,00$$



Reduktionsfaktor  $\rho$  für Stegbeulen:

- bei einer Stütze mit gewalztem I- oder H-Querschnitt

$$d_{w1} = h_1 - 2 \cdot (t_{f1} + r_1) = 146,00 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\text{quer},\rho} = 0,932 \cdot \sqrt{\frac{b_{\text{eff},c,w c} \cdot d_{w1} \cdot f_{y,w c}}{E_s \cdot t_{w1}^2}} = 0,76$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

### Träger unten (2):

**Gurt:**

$$b_{\text{eff},b,fc} = t_{w2} + 2 \cdot r_2 + 7 \cdot t_{f2} = 112,50 \text{ mm}$$

$$b_p = b_1 = 91,00 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff},b,fc} = \text{MAX}(b_{\text{eff},b,fc}; \frac{f_{y,k}}{f_{u,k}} \cdot b_p) = 112,50 \text{ mm}$$

$$F_{fc,Rd} = \text{MIN}(b_{\text{eff},b,fc} \cdot t_{f1} \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}}; 0,7 \cdot b_1 \cdot t_{f1} \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}}) / 1000 = 119,76 \text{ kN}$$

**Nachweis des Gurtes:**

$$\frac{|P_{Ed}|}{F_{fc,Rd}} = \underline{\underline{0,57 < 1}}$$

### **Steg mit Druckbeanspruchung:**

$$f_{y,w c} = f_{y,k} = 235,00 \text{ kN/cm}^2$$

Reduktionsfaktor  $\omega$  für Schub:

$$b_{\text{eff},c,w c} = t_{f1} + r_1 + 5 \cdot (t_{f2} + r_2) = 157,00 \text{ mm}$$

$$\text{Übertragungsparameter } \beta = 1,00$$

$$\Rightarrow \omega = \omega_1$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot (b_{\text{eff},c,w c} \cdot t_{w2} / (A_{v2} \cdot 100))^2}} = 0,84$$

Reduktionsfaktor  $k_{w c}$  für gleichzeitig wirkende Druckspannungen im Steg infolge Biegemoment im Träger:

maximale Längsdruckspannung im Steg (am Ende des Ausrundungsradius)

$$\sigma_{\text{com},Ed} = \frac{M_{Ed2}}{I_{y2}} \cdot \left( \frac{h_{w2}}{2} - r_2 \right) \cdot 100 = 127,10 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{w c} = \text{WENN} \left( \frac{|\sigma_{\text{com},Ed}|}{0,7 \cdot f_{y,w c}} > 1; 1,7 - \frac{\sigma_{\text{com},Ed}}{f_{y,w c}} ; 1,0 \right) = 1,00$$



Reduktionsfaktor  $\rho$  für Stegbeulen:

- bei einer Stütze mit gewalztem I- oder H-Querschnitt

$$d_{w2} = h_2 - 2 \cdot (t_{f2} + r_2) = 134,00 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\text{quer},\rho} = 0,932 \cdot \sqrt{\frac{b_{\text{eff},c,w,c} \cdot d_{w2} \cdot f_{y,w,c}}{E_s \cdot t_{w2}^2}} = 0,70$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# master

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

### Grenzwert gegen Beulen des Gesamtfeldes des Stegbleches:

Unterer Träger:

$$s_{e2} = s_{s,1} + 2 \cdot t_{f2} = 51,84 \text{ mm}$$

$$n = 0,636 \cdot \sqrt{1 + \frac{0,878 \cdot 0}{t_{w2}}} = 0,636$$

$$z = h_{w2}/2 = 85,00 \text{ mm}$$

$$\text{Wirksame Breite Stegblech } b_{\text{eff}2} = s_{e2} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{z}{s_{e2} \cdot n}\right)^2} = 143,35 \text{ mm}$$

$$\text{Wirksamer Querschnitt } A_{\text{eff}2} = b_{\text{eff}2} \cdot t_{w2} / 100 = 9,32 \text{ cm}^2$$

$$\text{Trägheitsmoment } I_2 = \frac{b_{\text{eff}2} \cdot (t_{w2})^3}{12} \cdot 10^{-4} = 0,328 \text{ cm}^4$$

$$\text{Trägheitsradius } i_2 = \sqrt{\frac{I_2}{A_{\text{eff}2}}} = 0,188 \text{ cm}$$

$$\text{bezogene Schlankheit } \lambda_{\text{quer}2} = \frac{h_2}{i_2 \cdot \lambda_1 \cdot 10} = 1,076$$

Knickspannungslinie c:

$$\alpha = 0,49$$

$$\varphi = \frac{0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_{\text{quer}2} - 0,2) + \lambda_{\text{quer}2}^2)}{1} = 1,294$$

$$\chi_2 = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \lambda_{\text{quer}2}^2}} = 0,497$$

$$R_{b,Rd2} = \chi_2 \cdot A_{\text{eff}2} \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M1} \cdot 10} = 98,96 \text{ kN}$$

$$\frac{P_{Ed}}{R_{b,Rd2}} = \underline{\underline{0,69 < 1}}$$

**Oberer Träger:**

$$s_{e1} = s_{s,2} + 2 * t_{f1} = 63,59 \text{ mm}$$

$$n = 0,636 * \sqrt{1 + \frac{0,878 * 0}{t_{w1}}} = 0,636$$

$$z = h_{w1}/2 = 82,00 \text{ mm}$$

$$\text{Wirksame Breite Stegblech } b_{\text{eff1}} = s_{e1} * \sqrt{1 + \left(\frac{z}{s_{e1} * n}\right)^2} = 143,76 \text{ mm}$$

$$\text{Wirksamer Querschnitt } A_{\text{eff1}} = b_{\text{eff1}} * t_{w1} / 100 = 7,62 \text{ cm}^2$$

$$\text{Trägheitsmoment } I_1 = \frac{b_{\text{eff1}} * (t_{w1})^3}{12} * 10^{-4} = 0,178 \text{ cm}^4$$

$$\text{Trägheitsradius } i_1 = \sqrt{\frac{I_1}{A_{\text{eff1}}}} = 0,153 \text{ cm}$$

$$\text{bezogene Schlankheit } \lambda_{\text{quer1}} = \frac{h_1}{i_1 * \lambda_1 * 10} = 1,253$$

Knickspannungslinie c:

$$\alpha = 0,49$$

$$\varphi = \frac{0,5 * (1 + \alpha * (\lambda_{\text{quer1}} - 0,2) + \lambda_{\text{quer1}}^2)}{1} = 1,543$$

$$\chi_1 = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \lambda_{\text{quer1}}^2}} = 0,409$$

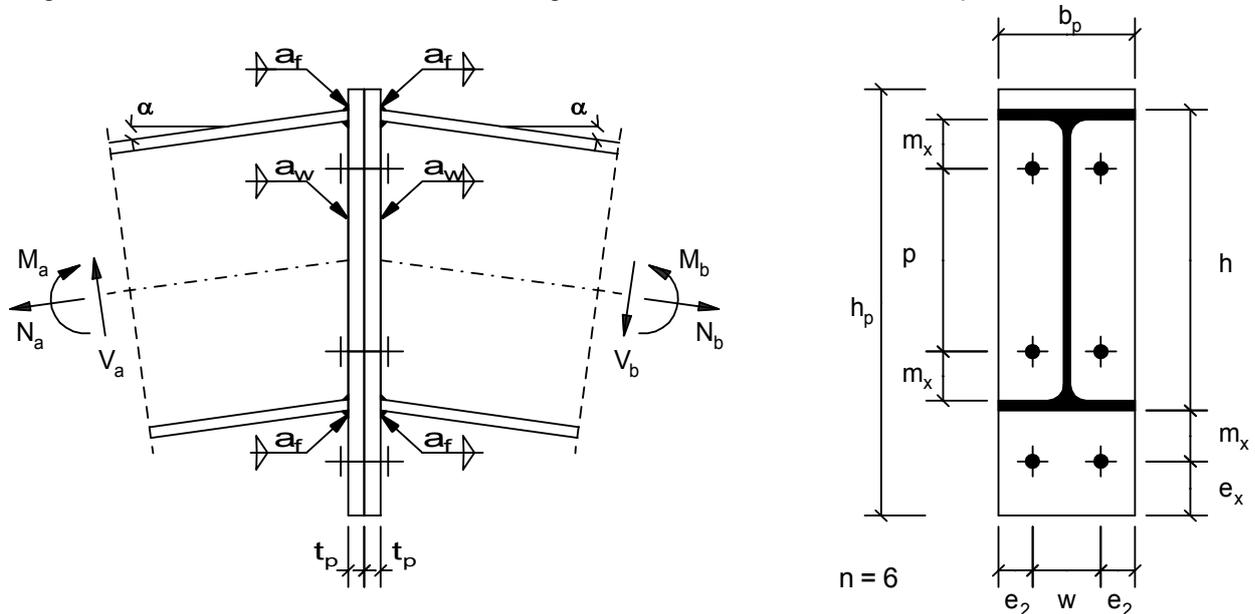
$$R_{b,Rd1} = \chi_1 * A_{\text{eff1}} * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M1} * 10} = 66,58 \text{ kN}$$

$$\frac{P_{\text{Ed}}}{R_{b,Rd1}} = \underline{\underline{1,02 < 1}}$$

## Kapitel Schraubverbindungen

### Firststoß

Biegesteifer Firststoß mit 6 Schrauben und angeschweißten überstehenden Stirnplatten.



### Querschnitte / Geometrie:

Träger:

Träger Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	IPE
Träger-Profil ID1 =	GEW("EC3_de/Typ1; ID; )	=	IPE 240
Höhe h =	TAB("EC3_de/Typ1; h; ID=ID1;)	=	240,00 mm
Breite b =	TAB("EC3_de/Typ1; b; ID=ID1;)	=	120,00 mm
Stegdicke $t_w$ =	TAB("EC3_de/Typ1; tw; ID=ID1;)	=	6,20 mm
Flanschdicke $t_f$ =	TAB("EC3_de/Typ1; tf; ID=ID1;)	=	9,80 mm
Radius r =	TAB("EC3_de/Typ1; r; ID=ID1;)	=	15,00 mm
Fläche $A_b$ =	TAB("EC3_de/Typ1; A; ID=ID1;)	=	39,10 cm <sup>2</sup>
$h_w$ =	$h - 2 * t_f$	=	220,40 mm

Trägerneigung  $\alpha$  =

Stoßwinkel $\beta$ =	$180 - 2 * \alpha$	=	$172,6^\circ$
----------------------	--------------------	---	---------------

Schweißnähte:

Flansch-Naht $a_f$ =	5,00 mm
Steg-Naht $a_w$ =	3,00 mm

Stirnplatte:

Breite $b_p$ =	120,00 mm
Höhe $h_p$ =	327,00 mm
Dicke $t_p$ =	20,00 mm

Schrauben:

Schraubengröße Schr =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 16
Festigkeitsklasse FK =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	8.8
Anzahl der Schrauben (gerade) n =		=	6
Kategorie A: Scher-Lochleibungs-Verbindung (SL)			
Lochspiel $\Delta d$ =		=	2,0 mm



# Stahlbau nach EN 1993

## Kapitel Schraubverbindungen

**DIN**  
EN 1993

Seite: 56

Schraubengewinde liegt nicht in der Scherebene (ref = 0), sonst (ref = 1)

Gewinde in Fuge ref =		=	0
Schaftdurchmesser d =	TAB("EC3_de/Schra";d;SG=Schr)	=	16,00 mm
Lochdurchmesser d <sub>0</sub> =	d + Δd	=	18,00 mm
Schaftquerschnitt A =	TAB("EC3_de/Schra";A;SG=Schr;)	=	2,01 cm <sup>2</sup>
Spannungsquer. A <sub>s</sub> =	TAB("EC3_de/Schra";As;SG=Schr;)	=	1,57 cm <sup>2</sup>

Schraubenabstände:

Gurt-Loch-Abstand m <sub>x</sub> =	40,00 mm		
Randabstand e <sub>x</sub> =	35,00 mm		
Lochabstand w =	68,00 mm		
Randabstand e <sub>2</sub> =	$\frac{b_p - w}{2}$	=	26,00 mm
Lochabstand p =	$h - 2 * (t_f + m_x)$	=	140,40 mm
$\frac{2 * m_x}{p}$		=	<u>0,57 &lt; 1</u>

### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0}$ =	1,0
$\gamma_{M2}$ =	1,25

### Einwirkungen:

Normalkraft N <sub>a</sub> =	-24,30 kN
Querkraft V <sub>a</sub> =	-3,20 kN
Moment M <sub>a</sub> =	55,00 kNm

### Aufteilung der Einwirkungen auf Gurte und Steg:

(1 = Obergurt; 2 = Untergurt, s = Steg)

N <sub>1</sub> =	$\frac{N_a}{2} - \frac{M_a}{h - t_f} * 1000$	=	-251,07 kN
N <sub>2</sub> =	$\frac{N_a}{2} + \frac{M_a}{h - t_f} * 1000$	=	226,77 kN
V <sub>s</sub> =	V <sub>a</sub>	=	-3,20 kN

### Auswirkungen der Einwirkungen im Stoß (Index j):

N <sub>j</sub> =	$-N_a * \cos(\beta) + V_a * \sin(\beta)$	=	-24,51 kN
V <sub>j</sub> =	$-V_a * \cos(\beta) - N_a * \sin(\beta)$	=	-0,04 kN
M <sub>j</sub> =	M <sub>a</sub>	=	55,00 kNm
Zugkraft in Mitte Untergurt			
N <sub>2,j</sub> =	$\frac{N_j}{2} + \frac{M_j * 1000}{(h - t_f) / \cos(\alpha)}$	=	226,17 kN

### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	=	S 235
f <sub>y,k</sub> =	TAB("EC3_de/mat"; f <sub>yk</sub> ; ID=Stahl)/10	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
f <sub>u,k</sub> =	TAB("EC3_de/mat"; f <sub>uk</sub> ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
Schrauben:			
f <sub>y,b,k</sub> =	TAB("EC3_de/FK"; f <sub>ybk</sub> ; FK=FK)/10	=	64,00 kN/cm <sup>2</sup>
f <sub>u,b,k</sub> =	TAB("EC3_de/FK"; f <sub>ubk</sub> ; FK=FK)/10	=	80,00 kN/cm <sup>2</sup>
β <sub>w</sub> =	TAB("EC3_de/mat"; beta <sub>w</sub> ; ID=Stahl)	=	0,80



#### Prüfung der Rand- und Lochabstände:

kleinste Abstände:

$$1,2 * d_0 / e_x = \underline{0,62 < 1}$$

$$1,2 * d_0 / e_2 = \underline{0,83 < 1}$$

$$2,2 * d_0 / p = \underline{0,28 < 1}$$

$$2,4 * d_0 / w = \underline{0,64 < 1}$$

größte Abstände:

$$t = t_p = 20,00 \text{ mm}$$

$$e_{\max} = 4 * t + 40 = 120,00 \text{ mm}$$

$$p_{\max} = \text{MIN}(14 * t; 200) = 200,00 \text{ mm}$$

$$e_x / e_{\max} = \underline{0,29 < 1}$$

$$e_2 / e_{\max} = \underline{0,22 < 1}$$

$$p / p_{\max} = \underline{0,70 < 1}$$

$$w / p_{\max} = \underline{0,34 < 1}$$

#### Nachweis der Querschnittsteile:

$$N_{pl,Rd} = \frac{b * t_f * f_{y,k}}{100 * \gamma_{M0}} = 276,4 \text{ kN}$$

$$N_{\max} = \text{MAX}(\text{ABS}(N_1); \text{ABS}(N_2)) = 251,1 \text{ kN}$$

#### Nachweis Normalkraftbeanspruchung

$$\frac{N_{\max}}{N_{pl,Rd}} = \underline{0,91 < 1}$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie  
Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

wirksame Schubfläche:

#### Tragfähigkeit der Schrauben und der Stirnplatten:

T-Stummel am Zuggurt

$$e_{\min} = e_x = 35,00 \text{ mm}$$

$$m = m_x - 0,8 * a_f * \sqrt{2} = 34,34 \text{ mm}$$

$M_{pl}$  der Stirnplatte

$$M_{pl,Rd} = \frac{b_p * t_p^2 * f_{y,k}}{4 * \gamma_{M0}} * 10^{-3} = 282,00 \text{ kNcm}$$

$$n_e = \text{MIN}(e_{\min}; 1,25 * m) = 35,00 \text{ mm}$$

Beiwert  $k_2 = 0,63$  für Senkschrauben, sonst  $k_2 = 0,9$

Beiwert (Senkschrauben)  $k_2 = 0,90$

$$F_{t,Rd} = \frac{f_{u,b,k}}{\gamma_{M2}} * k_2 * A_s = 90,43 \text{ kN}$$



Beanspruchbarkeit der Lagerplatte auf der Seite der Zugschrauben:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,Rd}}{m / 10} = 328,48 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,Rd} + (n_e / 10) * 4 * F_{t,Rd}}{(m + n_e) / 10} = 263,92 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = 4 * F_{t,Rd} = 361,72 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \text{MIN}(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = 263,92 \text{ kN}$$

**Nachweis Zug T-Stummel**

$$\frac{N_{2,j}}{F_{T,Rd}} = \underline{\underline{0,86 < 1}}$$

### Tragfähigkeit der Schrauben:

Querkraft wird über die beiden oberen Schrauben übertragen.

**Abscherbeanspruchbarkeit:**

$$\text{Schrauben-Scherebenen } n_s = 1$$

$$A = \text{WENN}(\text{ref}=0; A; A_s) = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$\alpha_v = \text{WENN}(\text{ref}=0; 0,6; \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"}; \alpha_v; \text{FK}=\text{FK};)) = 0,6$$

$$F_{v,Rd} = n_s * \alpha_v * f_{u,b,k} * \frac{A}{\gamma_{M2}} = 77,18 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{|V_j|}{2} = 0,02 \text{ kN}$$

**Lochleibungsbeanspruchbarkeit:**



**Nachweise für Abscheren und Lochleibung:**

$$\text{MAX}\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}; \frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}}\right) = \underline{\underline{0,00 < 1}}$$

### Tragfähigkeit der Stirnplatte:

$$A_n = \left(h_p - \frac{n}{2} * d_0\right) * t_p * 10^{-2} = 54,60 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} * A_n = 740,80 \text{ kN}$$

$$V = V_j / 2 = -0,02 \text{ kN}$$

**Nachweis Querkraftbeanspruchung:**

$$\frac{|V|}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,00 < 1}}$$



#### Beanspruchbarkeit der Schweißnaht:

$$f_{vw,Rd} = \frac{f_{u,k} / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

Grenzkraft der Doppelkehlnaht am Zuggurt pro Längeneinheit

$$F_{w,Rd} = f_{vw,Rd} \cdot 2 \cdot a_f / 10 = 20,78 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} = N_{2,j} / (b_p / 10) = 18,85 \text{ kN/cm}$$

#### **Nachweis Schweißnaht (Zuggurt)**

$$\frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,91 < 1}}$$

Grenzkraft der Doppelkehlnaht am Steg pro Längeneinheit

$$F_{w,Rd} = f_{vw,Rd} \cdot 2 \cdot a_w / 10 = 12,47 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} = \frac{|V_j|}{h_w / 10} = 0,00 \text{ kN/cm}$$

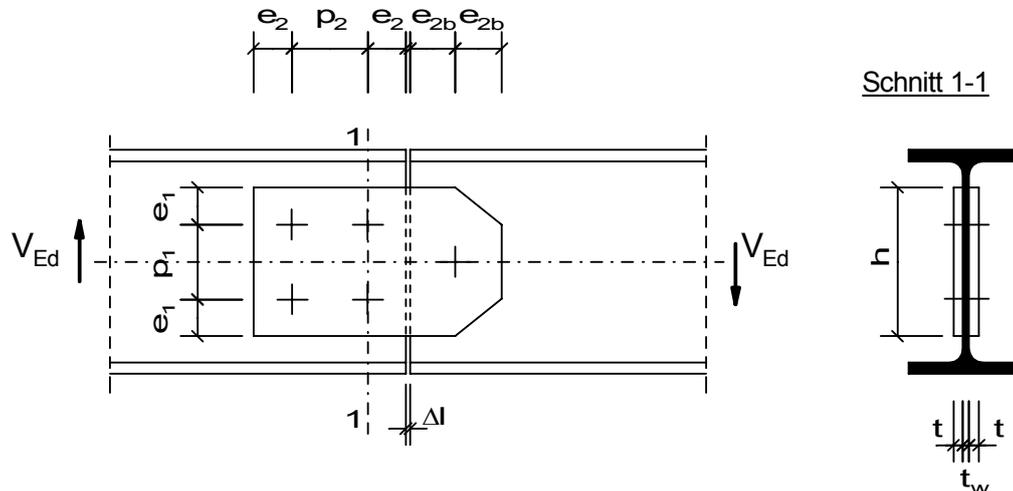
#### **Nachweis Schweißnaht (Steg)**

$$\frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,00 < 1}}$$

### Gelenkstoß

Trägerstoß mit Schrauben bzw. Gelenkbolzen nach DIN EN ISO 10025-2 zur Übertragung einer Querkraft mit Hilfe von Stegglaschen. Schraubverbindungen der Kategorie A: Scher-Lochleibungs-Verbindung (SL)

### System / Geometrie



### Querschnitte / Geometrie

Träger:

Träger Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	IPE
Träger ID1 =	GEW("EC3_de/Typ1; ID; )	=	IPE 200
Stegdicke $t_w$ =	TAB("EC3_de/Typ1; tw; ID=ID1;)	=	5,60 mm

Schrauben:

Kategorie A: Scher-Lochleibungs (SL-) Verbindung			
Schraubengröße $Schr_1$ =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 20
Festigkeitsklasse $FK_1$ =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	4.6
Lochspiel $\Delta d_1$ =		=	1,0 mm
Schaftdurchmesser $d_1$ =	TAB("EC3_de/Schra"; d; SG=Schr1)	=	20,00 mm
Lochdurchmesser $d_{0,1}$ =	$d_1 + \Delta d_1$	=	21,00 mm

Gelenkbolzen:

Kategorie A: Scher-Lochleibungs (SL-) Verbindung			
Bolzen $Schr_2$ =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 24
Festigkeitsklasse $FK_2$ =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	5.6
Lochspiel $\Delta d_2$ =		=	0,0 mm
Schaftdurchmesser $d_2$ =	TAB("EC3_de/Schra"; d; SG=Schr2)	=	24,00 mm
Lochdurchmesser $d_{0,2}$ =	$d_2 + \Delta d_2$	=	24,00 mm

Laschen:

Höhe $h$ =		=	150,00 mm
Dicke $t$ =		=	7,00 mm

Rand und Lochabstände:

Schrauben:			
Randabstand $e_2$ =		=	35,00 mm
Lochabstand $p_2$ =		=	90,00 mm
Lochabstand $p_1$ =		=	80,00 mm
Randabstand $e_1$ =	$(h - p_1) / 2$	=	35,00 mm

Gelenkbolzen:

Randabstand $e_{2b}$ =		=	45,00 mm
Verbindungsspielraum $\Delta l$ =		=	5,00 mm



#### Teilsicherheitsbeiwerte

$\gamma_{M0} =$	1,0
$\gamma_{M2} =$	1,25

#### Auswirkung der Einwirkungen

Gelenkkraft $V_{Ed} =$	40,00 kN
------------------------	----------

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	=	S 235
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon =$	$\sqrt{\frac{235}{f_{y,k} * 10}}$	=	1,00
$f_{u,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,0 kN/cm <sup>2</sup>
Schrauben:			
$f_{ub,k,1} =$	TAB("EC3_de/FK"; $f_{ubk}$ ; FK=FK1)/10	=	40,00 kN/cm <sup>2</sup>
Bolzen:			
$f_{ub,k,2} =$	TAB("EC3_de/FK"; $f_{ubk}$ ; FK=FK2)/10	=	50,00 kN/cm <sup>2</sup>

#### Prüfung der Rand- und Lochabstände:

kleinste Abstände:

$1,2 * d_{0,1} / e_1$	=	<u>0,72 &lt; 1</u>
$1,2 * d_{0,1} / e_2$	=	<u>0,72 &lt; 1</u>
$2,2 * d_{0,1} / p_1$	=	<u>0,58 &lt; 1</u>
$2,4 * d_{0,1} / p_2$	=	<u>0,56 &lt; 1</u>

größte Abstände:

$e_{max} =$	$4 * t + 40$	=	68,00 mm
$p_{max} =$	MIN (14 * t ; 200)	=	98,00 mm
$e_1 / e_{max}$		=	<u>0,51 &lt; 1</u>
$e_2 / e_{max}$		=	<u>0,51 &lt; 1</u>
$p_1 / p_{max}$		=	<u>0,82 &lt; 1</u>
$p_2 / p_{max}$		=	<u>0,92 &lt; 1</u>

#### Tragfähigkeit der Laschen im gefährdeten Querschnitt 1 - 1

In der Lochbruchlinie werden die Normal- und Schubbeanspruchungen infolge M und V am Nettoquerschnitt berechnet.

$$A_{n,1} = (h - 2 * d_{0,1}) * t * 2 / 100 = 15,12 \text{ cm}^2$$

$$I_{y,n,1} = 2 * \left( t * \frac{h^3}{12} - 0,5 * t * d_{0,1} * p_1^2 \right) * 10^{-4} = 299,67 \text{ cm}^4$$

$$W_{eff,min} = \frac{I_{y,n,1} * 2}{h / 10} = 39,96 \text{ cm}^3$$

$$V_{c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} * A_{n,1} = 205,14 \text{ kN}$$

$$M_{y,c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} * W_{eff,min} * 10^{-2} = 9,39 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = V_{Ed} * (e_{2b} + \Delta l + e_2) / 1000 = 3,40 \text{ kNm}$$



#### Nachweis Querkraftbeanspruchung

$$\frac{|V_{Ed}|}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,19 < 1}}$$

Außerdem ist

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,19 < 0,5}}$$

⇒ Momententragfähigkeit braucht nicht abgemindert werden

#### Nachweis Biegebeanspruchung

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}} = \underline{\underline{0,36 < 1}}$$

### Tragfähigkeit der 4 Stegschrauben

#### Ermittlung der maßgebenden Schraubenkraft



#### Abscherbeanspruchbarkeit:

Schrauben-Scherebenen $n_s$ =		2
Schraubengewinde liegt <u>nicht</u> in der Scherebene (ref = 0), sonst (ref = 1)		
Gewinde in Fuge ref =		0
A =	TAB("EC3_de/Schra";A;SG=Schr1;)	= 3,14 cm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub> =	TAB("EC3_de/Schra";As;SG=Schr1;)	= 2,45 cm <sup>2</sup>
A =	WENN(ref=0;A;As)	= 3,14 cm <sup>2</sup>
$\alpha_v$ =	WENN(ref=0;0,6;TAB("EC3_de/FK"; $\alpha_v$ ;FK=FK1;))	= 0,6
$F_{v,Rd}$ =	$n_s * \alpha_v * f_{ub,k,1} * A / \gamma_{M2}$	= <b>120,58 kN</b>

#### Lochleibungsbeanspruchbarkeit:

Wegen der schräggerichteten Schraubenkräfte, werden die Beiwerte  $\alpha_b$  und  $k_1$  auf der sicheren Seite liegend mit den Kleinstwerten von  $e_1$  und  $e_2$  bzw.  $p_1$  und  $p_2$  ermittelt.

$e_{min}$ =	MIN( $e_1$ ; $e_2$ )	= 35,00 mm
$p_{min}$ =	MIN( $p_1$ ; $p_2$ )	= 80,00 mm
$\alpha_b$ =	MIN( $\frac{e_{min}}{3 * d_{0,1}}$ ; $\frac{p_{min}}{3 * d_{0,1}}$ - $\frac{1}{4} * \frac{f_{ub,k,1}}{f_{u,k}}$ ; 1,0)	= 0,56
$k_1$ =	MIN( $2,8 * \frac{e_{min}}{d_{0,1}}$ - 1,7; $1,4 * \frac{p_{min}}{d_{0,1}}$ - 1,7; 2,5)	= 2,5
$F_{b,Rd}$ =	$k_1 * \alpha_b * d_1 * \text{MIN}(t; t_w) / 100 * \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}}$	=

#### Nachweise für Abscheren und Lochleibung:

$$\text{MAX}\left(\frac{R_{Ed}}{F_{v,Rd}}; \frac{R_{Ed}}{F_{b,Rd}}\right) = \underline{\underline{0,66 < 1}}$$



### Gelenkbolzen:

$$\frac{2 \cdot t + t_w}{3 \cdot d_2} = \underline{0,27 < 1}$$

⇒ Bemessung wie Einschraubenverbindung

### **Abscherbeanspruchbarkeit:**

Bolzen-Scherebenen  $n_s =$

2

$A =$  TAB("EC3\_de/Schra";A;SG=Schr2;)

=

4,52 cm<sup>2</sup>

$$F_{v,Rd} = n_s \cdot 0,6 \cdot f_{ub,k,2} \cdot \frac{A}{\gamma_{M2}}$$

=

**216,96 kN**

Lochleibungsbeanspruchbarkeit:

$$e_{1b} = h/2 = 75,00 \text{ mm}$$

$$\alpha_b = \text{MIN}\left(\frac{e_{1b}}{3 \cdot d_{0,2}}; \frac{f_{ub,k,2}}{f_{u,k}}; 1,0\right) = 1,00$$

$$k_1 = \text{MIN}\left(2,8 \cdot \frac{e_{2b}}{d_{0,2}} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

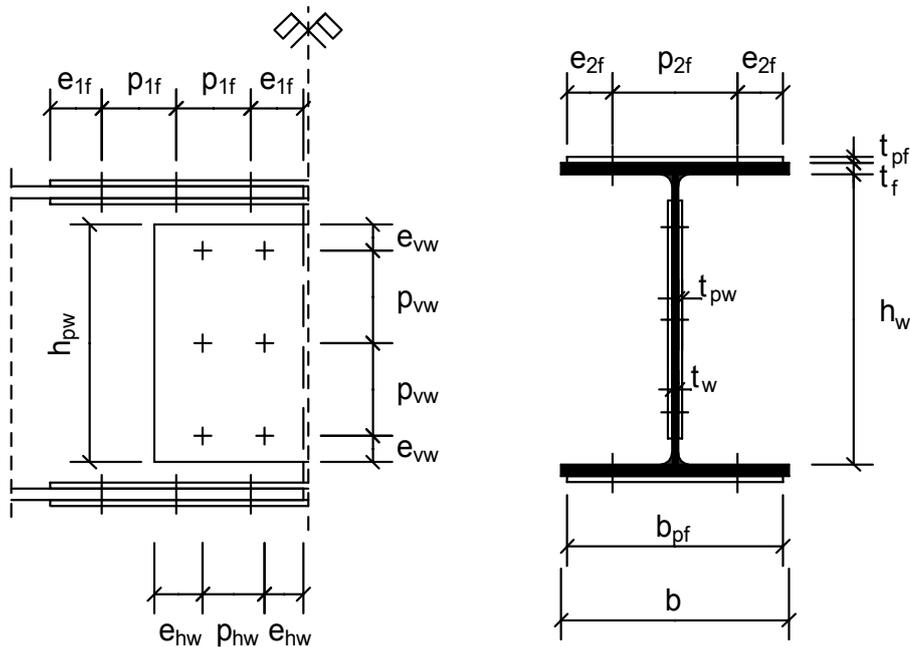
$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot d_2 \cdot \text{MIN}(2 \cdot t; t_w) / 100 \cdot \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}} = \underline{96,77 \text{ kN}}$$

**Nachweise für Abscheren und Lochleibung:**

$$\text{MAX}\left(\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd}}; \frac{V_{Ed}}{F_{b,Rd}}\right) = \underline{0,41 < 1}$$

### Geschraubter Biegeträger

Biegesteifer Trägerstoß mit angeschraubten Laschen an Gurten und Steg.



#### Einwirkungen:

Querkraft $V_{Ed}$ =	60,75 kN
Moment $M_{Ed}$ =	157,95 kNm

#### Querschnitte / Geometrie:

Trägerprofil:	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	IPE
Profilreihe Typ1 =	GEW("EC3_de/Typ1; ID; )	=	IPE 400
Träger-Profil ID1 =	TAB("EC3_de/Typ1; h; ID=ID1;)	=	400,00 mm
Trägerhöhe h =	TAB("EC3_de/Typ1; b; ID=ID1;)	=	180,00 mm
Breite b =	TAB("EC3_de/Typ1; tw; ID=ID1;)	=	8,60 mm
Stegdicke $t_w$ =	TAB("EC3_de/Typ1; tf; ID=ID1;)	=	13,50 mm
Flanschdicke $t_f$ =	TAB("EC3_de/Typ1; r; ID=ID1;)	=	21,00 mm
Radius r =	$h - 2 * t_f$	=	373,00 mm
$h_w$ =	$h - 2 * t_f - 2 * r$	=	331,00 mm
d =	TAB("EC3_de/Typ1; A; ID=ID1;)	=	84,50 cm <sup>2</sup>
Fläche A =	TAB("EC3_de/Typ1; W <sub>y</sub> ; ID=ID1)	=	1160,00 cm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment $W_y$ =	$1,14 * W_y$	=	1322,40 cm <sup>3</sup>
Widerstandsmoment $W_{pl}$ =			

#### Gurt-Laschen:

Gurtlaschenbreite $b_{pf}$ =	160,0 mm
Dicke $t_{pf}$ =	20,0 mm

#### Steg-Laschen:

Steglaschenhöhe $h_{pw}$ =	310,0 mm
Steglaschendicke $t_{pw}$ =	8,0 mm

#### Flansch-Schrauben:

Schraubengröße $Schr_f$ =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 20
Festigkeitsklasse $FK_f$ =	GEW("EC3_de/Schra"; FK; )	=	4.6

#### Kategorie A: SL-Verbindung

Lochspiel $\Delta d_f$ =	2,0 mm
Schraubenreihen $n_f$ =	3



# Stahlbau nach EN 1993

## Kapitel Schraubverbindungen

**DIN**  
EN 1993

Seite: 65

Schraubengewinde liegt nicht in der Scherebene  
Schaftdurchmesser  $d_f = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/Schra"}; d; \text{SG}=\text{Schr}_f)$  = 20,00 mm  
Lochdurchmesser  $d_{of} = d_f + \Delta d_f$  = 22,00 mm

Steg-Schrauben:

Schraubengröße  $\text{Schr}_w = \text{GEW}(\text{"EC3\_de/Schra"}; \text{SG}; )$  = M 16  
Festigkeitsklasse  $\text{FK}_w = \text{GEW}(\text{"EC3\_de/Schra"}; \text{FK}; )$  = 4.6

Kategorie A: SL-Verbindung

Lochspiel  $\Delta d_w =$  2,0 mm  
Schraubenreihen  $n_w =$  3  
Schraubenspalten  $m_w =$  2

Schraubengewinde liegt nicht in der Scherebene

Schaftdurchmesser  $d_w = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/Schra"}; d; \text{SG}=\text{Schr}_w)$  = 16,00 mm  
Lochdurchmesser  $d_{ow} = d_w + \Delta d_w$  = 18,00 mm

Rand- und Lochabstände:

- Steg-Schrauben:

Steg (vertikal)  $p_{vw} =$  90,0 mm  
Rand vertikal  $e_{vw} =$  50,0 mm  
Steg (horizontal)  $p_{hw} =$  80,0 mm  
Rand horizontal  $e_{hw} =$  45,0 mm

- Gurt-Schrauben:

Rand längs  $e_{1f} =$  45,0 mm  
Gurt (längs)  $p_{1f} =$  80,0 mm  
Rand quer  $e_{2f} =$  40,0 mm  
Gurt (quer)  $p_{2f} = b_{pf} - 2 \cdot e_{2f}$  = 80,0 mm

### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} =$  1,0  
 $\gamma_{M2} =$  1,25

### Material:

Träger:

Stahl =  $\text{GEW}(\text{"EC3\_de/mat"}; \text{ID}; )$  = S 235  
 $f_{y,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"}; f_{yk}; \text{ID}=\text{Stahl})/10$  = 23,50 kN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{u,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"}; f_{uk}; \text{ID}=\text{Stahl})/10$  = 36,00 kN/cm<sup>2</sup>

Laschen:

Stahl<sub>p</sub> =  $\text{GEW}(\text{"EC3\_de/mat"}; \text{ID}; )$  = S 235  
 $f_{y,k,p} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"}; f_{yk}; \text{ID}=\text{Stahl}_p)/10$  = 23,50 kN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{u,k,p} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"}; f_{uk}; \text{ID}=\text{Stahl}_p)/10$  = 36,00 kN/cm<sup>2</sup>

Schrauben:

$f_{u,b,kf} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"}; f_{ubk}; \text{FK}=\text{FK}_f)/10$  = 40,00 kN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{u,b,kw} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"}; f_{ubk}; \text{FK}=\text{FK}_w)/10$  = 40,00 kN/cm<sup>2</sup>



#### Prüfung der Rand- und Lochabstände:

##### **Gurte:**

kleinste Abstände:

$$1,2 * d_{0f} / e_{1f} = \underline{0,59 \leq 1}$$

$$1,2 * d_{0f} / e_{2f} = \underline{0,66 \leq 1}$$

$$2,2 * d_{0f} / p_{1f} = \underline{0,60 \leq 1}$$

$$2,4 * d_{0f} / p_{2f} = \underline{0,66 \leq 1}$$

größte Abstände:

$$t = \text{MIN}(t_{pf}; t_f) = 13,5 \text{ mm}$$

$$e_{\text{max}} = 4 * t + 40 = 94,0 \text{ mm}$$

$$p_{\text{max}} = \text{MIN}(14 * t; 200) = 189,0 \text{ mm}$$

$$e_{1f} / e_{\text{max}} = \underline{0,48 \leq 1}$$

$$e_{2f} / e_{\text{max}} = \underline{0,43 \leq 1}$$

$$p_{1f} / p_{\text{max}} = \underline{0,42 \leq 1}$$

$$p_{2f} / p_{\text{max}} = \underline{0,42 \leq 1}$$

##### **Steg:**

kleinste Abstände:

$$1,2 * d_{0w} / e_{vw} = \underline{0,43 \leq 1}$$

$$1,2 * d_{0w} / e_{hw} = \underline{0,48 \leq 1}$$

$$2,2 * d_{0w} / p_{vw} = \underline{0,44 \leq 1}$$

$$2,4 * d_{0w} / p_{hw} = \underline{0,54 \leq 1}$$

größte Abstände:

$$t = \text{MIN}(t_{pw}; t_w) = 8,0 \text{ mm}$$

$$e_{\text{max}} = 4 * t + 40 = 72,0 \text{ mm}$$

$$p_{\text{max}} = \text{MIN}(14 * t; 200) = 112,0 \text{ mm}$$

$$e_{vw} / e_{\text{max}} = \underline{0,69 \leq 1}$$

$$e_{hw} / e_{\text{max}} = \underline{0,63 \leq 1}$$

$$p_{vw} / p_{\text{max}} = \underline{0,80 \leq 1}$$

$$p_{hw} / p_{\text{max}} = \underline{0,71 \leq 1}$$

#### Berechnung des Profils ohne Schwächung:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_{y,k}}{\gamma_{M0} * 10^2} = 310,76 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \underline{0,51 < 1}$$

$$\eta = 1,0$$

- für gewalzte Profile mit I- und H-Querschnitt, Lastrichtung parallel zum Steg:

$$A_v = \text{MAX}(A * 100 - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_f; \eta * h_w * t_w) / 100 = 42,73 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 579,75 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \underline{0,10 < 1}$$



#### Berechnung des Profils mit Schwächung:

$$A_f = t_f \cdot b / 100 = 24,30 \text{ cm}^2$$

$$A_{f,net} = (A_f \cdot 100 - 2 \cdot d_{of} \cdot t_f) / 100 = 18,36 \text{ cm}^2$$

Kriterium für duktilen Verhalten

$$\frac{f_{y,k} / \gamma_{M0}}{f_{u,k} / \gamma_{M2}} \cdot \frac{A_f}{0,9 \cdot A_{f,net}} = \underline{\underline{1,20 \text{ nicht} \leq 1}}$$

⇒ Lochabminderung für Flansch erforderlich

$$A_z = 0,5 \cdot A = 42,25 \text{ cm}^2$$

$$A_{z,net} = A_z - \frac{2 \cdot d_{of} \cdot t_f + \frac{n_w - 1}{2} \cdot d_{ow} \cdot t_w}{100} = 34,76 \text{ cm}^2$$

$$\frac{f_{y,k} / \gamma_{M0}}{f_{u,k} / \gamma_{M2}} \cdot \frac{A_z}{0,9 \cdot A_{z,net}} = \underline{\underline{1,10 \text{ nicht} \leq 1}}$$

⇒ Lochabminderung für Steg erforderlich

Lochabminderung für Flansch:

$$W_{of} = 2 \cdot \frac{d_{of} \cdot t_f}{1000} \cdot \frac{h - t_f}{2} = 114,79 \text{ cm}^3$$

Lochabminderung für Steg:



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

Kriterium für duktilen Verhalten

$$\frac{f_{y,k} / \gamma_{M0}}{f_{u,k} / \gamma_{M2}} \cdot \frac{A_v}{A_{v,net}} = \underline{\underline{0,92 \leq 1}}$$

⇒ keine Lochabminderung.

#### Aufteilung der Einwirkungen:

$$I_{pw} = \frac{2 \cdot t_{pw} \cdot h_{pw}^3}{12 \cdot 10^4} = 3972,13 \text{ cm}^4$$

$$I_{pf} = 2 \cdot b_{pf} \cdot t_{pf} \cdot \left( \frac{h + t_{pf}}{2} \right)^2 \cdot 10^{-4} = 28224,00 \text{ cm}^4$$

$$M_w = \frac{I_{pw}}{I_{pw} + I_{pf}} \cdot M_{Ed} = 19,49 \text{ kNm}$$

$$M_f = \frac{I_{pf}}{I_{pw} + I_{pf}} \cdot M_{Ed} = 138,46 \text{ kNm}$$



Bemessungsnormalkraft des Flansches:

$$N_{tf} = \frac{M_f}{h + t_{pf}} \cdot 10^3 = 329,67 \text{ kN}$$

maximale Schraubenkraft des Steges:

$$n_{s1} = \frac{n_w - 1}{2} + 0,49 = 1$$

$$n_{s2} = n_{s1} \cdot 2 = 2$$

$$m_{s1} = \frac{m_w - 1}{2} + 0,49 = 1$$

$$m_{s2} = m_{s1} \cdot 2 = 2$$

$$I_p = n_w \cdot m_{s2} \cdot \left( \frac{m_w - 1}{2} \cdot \frac{p_{hw}}{10} \right)^2 + n_{s2} \cdot m_w \cdot \left( \frac{n_w - 1}{2} \cdot \frac{p_{vw}}{10} \right)^2 = 420,00 \text{ cm}^2$$

$$M_{Ew} = M_w + V_{Ed} \cdot p_{vw} \cdot 10^{-3} = 24,96 \text{ kNm}$$

$$R_w = \sqrt{\left( \frac{10 \cdot M_{Ew} \cdot p_{vw}}{I_p} \right)^2 + \left( \frac{V_{Ed}}{m_w \cdot n_w} + 10 \cdot M_{Ew} \cdot \frac{m_w - 1}{2} \cdot \frac{p_{hw}}{I_p} \right)^2} = 63,32 \text{ kN}$$

### Stoß des Gurtcs:

Abscheren:

$$F_{v,Rd} = n_f \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot \frac{f_{u,b,kf} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_f^2}{10^2 \cdot \gamma_{M2}} = 361,91 \text{ kN}$$

Lochleibung:

$$\alpha = \text{MIN} \left( \frac{e_{1f}}{3 \cdot d_{of}}; \frac{p_{1f}}{3 \cdot d_{of}} - 0,25; \frac{f_{u,b,kf}}{f_{u,k}}; 1 \right) = 0,682$$

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot n_f \cdot 2,5 \cdot \alpha \cdot d_f \cdot t_f \cdot \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2} \cdot 10^2} = 795,48 \text{ kN}$$

$$\text{MAX} \left( \frac{N_{tf}}{F_{v,Rd}}; \frac{N_{tf}}{F_{b,Rd}} \right) = \underline{\underline{0,91 < 1}}$$

### Stoß des Steges:

Abscheren:

$$F_{v,Rd} = m_w \cdot 0,6 \cdot \frac{f_{u,b,kw} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left( \frac{d_w}{10} \right)^2}{\gamma_{M2}} = 77,21 \text{ kN}$$

Wegen der schrägerichteten Schraubenkräfte, werden die Beiwerte  $\alpha_b$  und  $k_1$  auf der sicheren Seite liegend mit den Kleinstwerten  $e_{\min}$  bzw.  $p_{\min}$  ermittelt.

$$e_{\min} = \text{MIN}(e_{vw}; e_{hw}) = 45,00 \text{ mm}$$

$$p_{\min} = \text{MIN}(p_{vw}; p_{hw}) = 80,00 \text{ mm}$$

$$\alpha_b = \text{MIN} \left( \frac{e_{\min}}{3 \cdot d_{ow}}; \frac{p_{\min}}{3 \cdot d_{ow}} - \frac{1}{4}; \frac{f_{u,b,kw}}{f_{u,k}}; 1,0 \right) = 0,833$$

$$k_1 = \text{MIN} \left( 2,8 \cdot \frac{e_{\min}}{d_{ow}} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_{\min}}{d_{ow}} - 1,7; 2,5 \right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot d_w \cdot \text{MIN}(2 \cdot t_{pw}; t_w) / 100 \cdot \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}} = 82,53 \text{ kN}$$



$$\text{MAX}\left(\frac{R_w}{F_{v,Rd}}; \frac{R_w}{F_{b,Rd}}\right) = \underline{\underline{0,82 < 1}}$$



#### Gurt-Laschen:

$$A_{pf} = \frac{t_{pf} \cdot b_{pf}}{100} = 32,00 \text{ cm}^2$$

$$A_{net,pf} = A_{pf} - d_{of} \cdot 2 \cdot t_{pf} / 100 = 23,20 \text{ cm}^2$$

Zugbeanspruchbarkeit des Querschnitts mit Löchern

$$N_{t,pf,Rd} = \text{MIN}\left(A_{pf} \cdot \frac{f_{y,k,p}}{\gamma_{M0}}; 0,9 \cdot A_{net,pf} \cdot \frac{f_{u,k,p}}{\gamma_{M2}}\right) = 601,34 \text{ kN}$$

Nachweis Zugbeanspruchung

$$\frac{|N_{tf}|}{N_{t,pf,Rd}} = \underline{\underline{0,55 < 1}}$$

#### Steg-Laschen:

$$A_{pw} = \frac{2 \cdot t_{pw} \cdot h_{pw}}{100} = 49,60 \text{ cm}^2$$

$$A_w = \frac{t_w \cdot h_w}{100} = 32,08 \text{ cm}^2$$

$$I_w = \frac{t_w \cdot h_w^3}{12 \cdot 10^4} = 3719,15 \text{ cm}^4$$

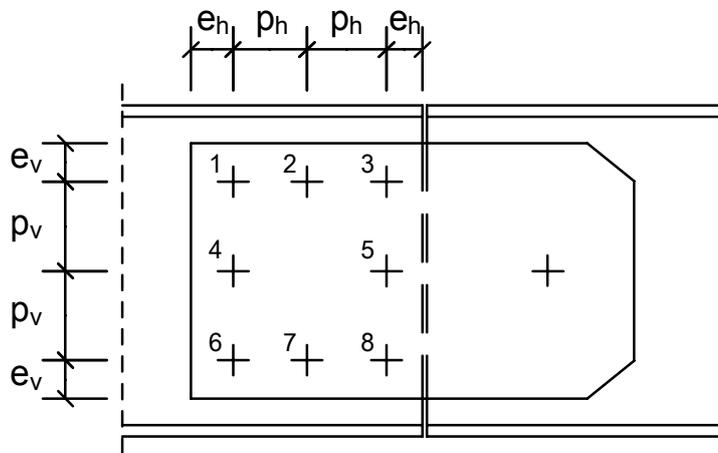
$$\frac{A_w}{A_{pw}} = \underline{\underline{0,65 < 1}}$$

$$\frac{I_w}{I_{pw}} = \underline{\underline{0,94 < 1}}$$

⇒ Tragsicherheitsnachweis für die Steglaschen ist nicht erforderlich.

### Momentenverbindung

Schraubenverbindung unter Moment in ihrer Ebene



#### Geometrie:

Schraubenabstand $p_h$ =	50,00 mm
Schraubenabstand $e_h$ =	35,00 mm
Schraubenabstand $p_v$ =	70,00 mm
Blechdicke $t$ =	6,00 mm
Schraubenanzahl $n$ =	8

Schrauben:

Schraubengröße $Schr_1$ =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 12
Festigkeitsklasse $FK_1$ =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	5.6

Kategorie A: SL-Verbindung

Nennlochspiel $\Delta d_1$ =	TAB("EC3_de/Schra"; $\Delta d$ ; SG=Schr <sub>1</sub> ;) )	=	1,0 mm
------------------------------	--	---	--------

Schraubengewinde liegt nicht in der Scherebene ( $ref_t = 0$ ), sonst ( $ref_t = 1$ )

Gewinde in Fuge $ref_1$ =		=	0
---------------------------	--	---	---

Schaftdurchmesser $d_1$ =	TAB("EC3_de/Schra"; d; SG=Schr <sub>1</sub> )	=	12,00 mm
---------------------------	---	---	----------

Lochdurchmesser $d_{01}$ =	$d_1 + \Delta d_1$	=	13,00 mm
----------------------------	--------------------	---	----------

Schaftquerschnitt $A_{d1}$ =	TAB("EC3_de/Schra"; A; SG=Schr <sub>1</sub> ;) )	=	1,13 cm <sup>2</sup>
------------------------------	--	---	----------------------

Spannungsquer. $A_{s1}$ =	TAB("EC3_de/Schra"; A <sub>s</sub> ; SG=Schr <sub>1</sub> ;) )	=	0,84 cm <sup>2</sup>
---------------------------	--	---	----------------------

#### Einwirkungen:

$V_{Ed}$ =	58,70 kN
$M_{Ed}$ =	910,00 kNcm

#### Material:

IPE330 aus

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;) )	=	S 235
---------	--------------------------	---	-------

$f_{u,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
-------------	---	---	--------------------------

Schrauben:

$f_{u,b,k1}$ =	TAB("EC3_de/FK"; $f_{ubk}$ ; FK=FK <sub>1</sub> )/10	=	50,00 kN/cm <sup>2</sup>
----------------	--	---	--------------------------

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M2}$ =	1,25
-----------------	------



### Nachweis der Schrauben:

$$I_p = (n-2) * (p_h^2 + p_v^2) * 10^{-2} = 444,00 \text{ cm}^2$$

Maximale horizontale Schraubenkraft infolge des Moments:

$$F_h = M_{Ed} * \frac{p_v}{I_p * 10} = 14,35 \text{ kN}$$

Maximale vertikale Kraft:

$$F_v = M_{Ed} * \frac{p_h}{I_p * 10} + \frac{V_{Ed}}{n} = 17,59 \text{ kN}$$

Resultierende

$$R_r = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} = 22,70 \text{ kN}$$

Abscheren

$$A = \text{WENN}(\text{ref}_1=0; A_{d1}; A_{s1}) = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$\alpha_v = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"}; \alpha_v; \text{FK}=\text{FK}_1;) = 0,6$$

$$\alpha_v = \text{WENN}(\text{ref}_1=0; 0,6; \alpha_v) = 0,6$$

$$F_{v,Rd} = \alpha_v * f_{u,b,k1} * A / \gamma_{M2} = 27,12 \text{ kN}$$

$$\frac{R_r}{F_{v,Rd}} = \underline{\underline{0,84 < 1}}$$

Lochleibung

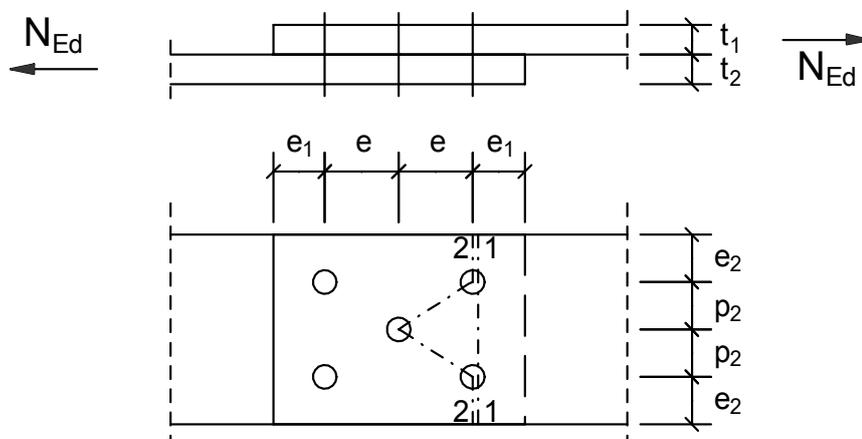
$$\alpha = \text{MIN}\left(\frac{e_h}{3 * d_{01}}; \frac{2 * p_h}{3 * d_{01}} - 0,25; \frac{f_{u,b,k1}}{f_{u,k}}; 1\right) = 0,90$$

$$F_{b,Rd} = 2,5 * \alpha * d_{01} * t * \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2} * 10^2} = 50,54 \text{ kN}$$

$$\frac{F_h}{F_{b,Rd}} = \underline{\underline{0,28 < 1}}$$

### Geschraubter Laschenanschluss, gleitfest

Geschraubter Laschenanschluss mit versetzter Lochanordnung, ausgeführt als gleitfeste Verbindung der Kategorie C (Grenzzustand der Tragfähigkeit)



#### Einwirkung:

Zugkraft  $N_{Ed} = 100,00 \text{ kN}$

#### Querschnitte / Geometrie:

Blechdicke 1  $t_1 = 10,0 \text{ mm}$

Blechdicke 2  $t_2 = 8,0 \text{ mm}$

Schraubenabstand  $e_1 = 55,0 \text{ mm}$

Versetzungsabstand  $e = 65,0 \text{ mm}$

Schraubenabstand  $p_1 = 2 \cdot e = 130,0 \text{ mm}$

Schraubenabstand  $e_2 = 50,0 \text{ mm}$

Schraubenabstand  $p_2 = 70,0 \text{ mm}$

Blechbreite  $b = 240,0 \text{ mm}$

Kontrolle

$$\frac{2 \cdot e_2 + 2 \cdot p_2}{b} = \underline{\underline{1,00 \leq 1}}$$

Schrauben:

Schraubengröße Schr = GEW("EC3\_de/Schra"; SG; ) = M 22

Festigkeitsklasse FK = GEW("EC3\_de/FK"; FK; ) = 10.9

Kategorie C: Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)

Nennlochspiel  $\Delta d = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/Schra"; } \Delta d; \text{SG=Schr;}) = 2,0 \text{ mm}$

Schraubenzahl  $n = 5$

Schaftdurchmesser  $d = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/Schra"; } d; \text{SG=Schr}) = 22,00 \text{ mm}$

Lochdurchmesser  $d_0 = d + \Delta d = 24,00 \text{ mm}$

Spannungsquer.  $A_s = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/Schra"; } A_s; \text{SG=Schr;}) = 3,03 \text{ cm}^2$

#### Material:

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID;) = S 235

$f_{y,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{y,k}; \text{ID=Stahl})/10 = 23,50 \text{ kN/cm}^2$

$f_{u,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{u,k}; \text{ID=Stahl})/10 = 36,00 \text{ kN/cm}^2$

Schrauben:

$f_{u,b,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"; } f_{u,b,k}; \text{FK=FK})/10 = 100,00 \text{ kN/cm}^2$

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} = 1,0$

$\gamma_{M2} = 1,25$

$\gamma_{M3} = 1,25$

$\gamma_{M3,ser} = 1,1$

**Beiwerte für die Grenzgleitkraft:**

Löcher mit normalem Lochspiel $k_s =$	1,0
Anzahl der Gleitfugen $\eta =$	1,0
Güteklasse C: Oberfläche mittels Drahtbürsten oder Flammstrahlen gereinigt, loser Rost entfernt	
Reibungszahl $\mu =$	0,3

**Nettoquerschnitt:**

Grenzzugkraft der Lasche

$$N_{\text{net,Rd}} = A_{\text{net}} \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = 360,96 \text{ kN}$$

**Gleiten:**

$$\text{Grenzvorspannung } F_{p,C,k} = 0,7 \cdot f_{u,b,k} \cdot A_s = 212,10 \text{ kN}$$

$$\text{Grenzgleitkraft } F_{s,Rd} = n \cdot k_s \cdot \eta \cdot \mu \cdot \frac{F_{p,C,k}}{\gamma_{M3}} = 254,52 \text{ kN}$$

**Lochleibung:**

Grenzlochleibungskraft:

$$\alpha_b = \text{MIN}\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; 2 \cdot \frac{e}{3 \cdot d_0} - 0,25; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; 1\right) = 0,76$$

$$k_1 = \text{MIN}(2,8 \cdot e_2/d_0 - 1,7; 1,4 \cdot p_2/d_0; 2,5) = 2,50$$

$$F_{b,Rd} = n \cdot k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t_{\text{min}} \cdot \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}} \cdot 10^{-2} = 481,54 \text{ kN}$$

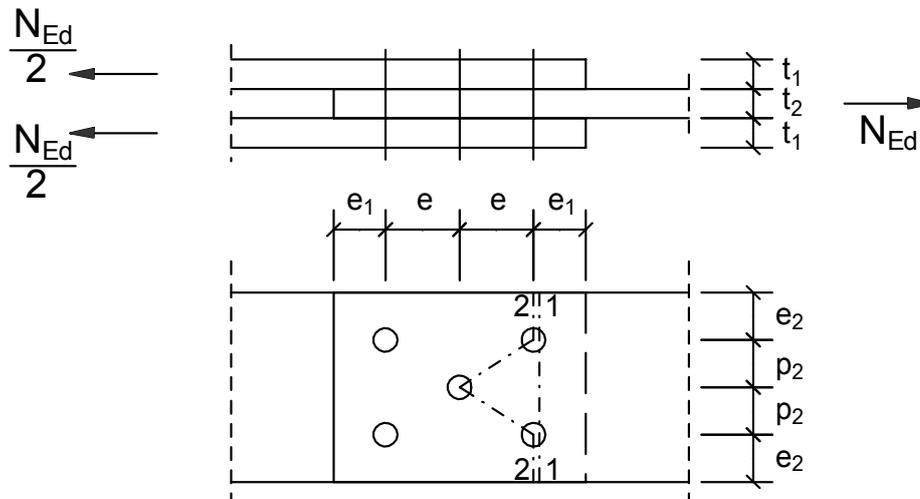
**Maximal aufnehmbare Kraft:**

$$N_{g,Rd} = \text{MIN}(N_{\text{net,Rd}}; F_{b,Rd}; F_{s,Rd}) = 254,52 \text{ kN}$$

**Nachweis:**

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{N_{g,Rd}} = \underline{\underline{0,39 < 1}}$$

### Geschraubter Laschenanschluss, mehrschnittig



#### Einwirkung:

Zugkraft  $N_{Ed} = 100,00 \text{ kN}$

#### Querschnitte / Geometrie:

Blechdicke  $t_1 = 6,0 \text{ mm}$   
 Blechanzahl  $n_1 = 2$   
 Blechdicke  $t_2 = 7,1 \text{ mm}$   
 Blechanzahl  $n_2 = 1$   
 Blechbreite  $b = 210,00 \text{ mm}$   
 Versetzungsabstand  $e = 40,00 \text{ mm}$   
 Schraubenabstand  $p_1 = 2 \cdot e = 80,0 \text{ mm}$   
 Schraubenabstand  $e_1 = 60,00 \text{ mm}$   
 Schraubenabstand  $e_2 = 40,00 \text{ mm}$   
 Schraubenabstand  $p_2 = 65,00 \text{ mm}$

Kontrolle

$$\frac{2 \cdot e_2 + 2 \cdot p_2}{b} = \underline{\underline{1,00 \leq 1}}$$

Schrauben:

Schraubengröße Schr = GEW("EC3\_de/Schra"; SG; ) = M 20  
 Festigkeitsklasse FK = GEW("EC3\_de/FK"; FK; ) = 10.9

Kategorie A: SL-Verbindung

Nennlochspiel  $\Delta d = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/Schra"; } \Delta d; \text{SG=Schr;}) = 2,0 \text{ mm}$   
 Schraubenzahl  $n = 5$

Schraubengewinde liegt in der Scherebene

Schaftdurchmesser  $d = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/Schra"; } d; \text{SG=Schr}) = 20,00 \text{ mm}$   
 Lochdurchmesser  $d_0 = d + \Delta d = 22,00 \text{ mm}$   
 Spannungsquer.  $A_s = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/Schra"; } A_s; \text{SG=Schr;}) = 2,45 \text{ cm}^2$

#### Material:

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID;) = S 235  
 $f_{y,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{y,k}; \text{ID=Stahl})/10 = 23,50 \text{ kN/cm}^2$   
 $f_{u,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{u,k}; \text{ID=Stahl})/10 = 36,00 \text{ kN/cm}^2$   
 Schrauben:  
 $f_{u,b,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"; } f_{u,b,k}; \text{FK=FK})/10 = 100,00 \text{ kN/cm}^2$



### Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\begin{aligned}\gamma_{M0} &= 1,0 \\ \gamma_{M2} &= 1,25\end{aligned}$$

### Nettoquerschnitt:



$$N_{t,Rd2} = \text{MIN}\left(A \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}}; 0,9 \cdot A_{\text{net}} \cdot \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}}\right) = 287,71 \text{ kN}$$

Grenztragfähigkeit

$$N_{t,Rd} = \text{MIN}(N_{t,Rd2}; N_{t,Rd1}) = \underline{\underline{287,71 \text{ kN}}}$$

### Abscheren:

$$A_s = \frac{\pi \cdot (d/10)^2}{4} = 3,14 \text{ cm}^2$$

Gewinde in Scherfuge:

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot n \cdot (n_1 + n_2 - 1) \cdot A_s \cdot f_{u,b,k} / \gamma_{M2} = 1507,20 \text{ kN}$$

### Lochleibung:

$$\alpha = \text{MIN}\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{2 \cdot e}{3 \cdot d_0} - 0,25; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; 1\right) = 0,91$$

$$F_{b,Rd1} = n_1 \cdot n \cdot 2,5 \cdot \alpha \cdot d \cdot t_1 \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2} \cdot 10^{-2} = 786,24 \text{ kN}$$

$$\alpha = \text{MIN}\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{2 \cdot e}{3 \cdot d_0} - 0,25; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; 1\right) = 0,91$$

$$F_{b,Rd2} = n_2 \cdot n \cdot 2,5 \cdot \alpha \cdot d \cdot t_2 \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2} \cdot 10^{-2} = 465,19 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \text{MIN}(F_{b,Rd1}; F_{b,Rd2}) = 465,19 \text{ kN}$$

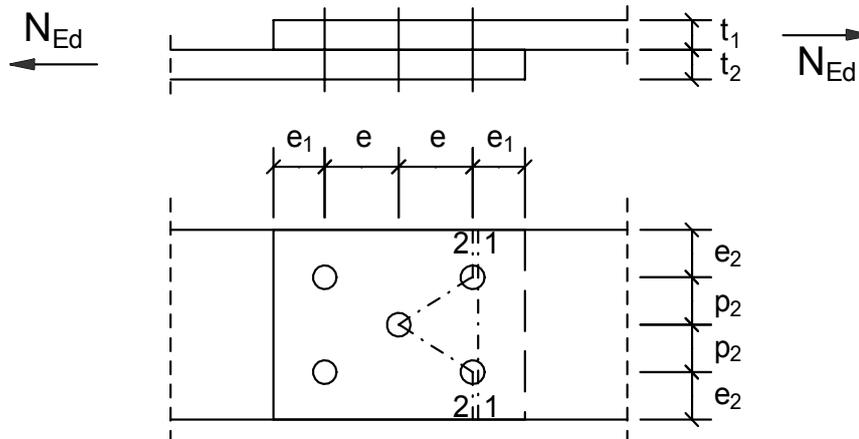
### Maximal aufnehmbare Kraft:

$$N_{l,Rd} = \text{MIN}(N_{t,Rd}; F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 287,71 \text{ kN}$$

**Nachweis:**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{l,Rd}} = \underline{\underline{0,35 < 1}}$$

### Scher- und Lochleibungsverbindung:



### Querschnitte / Geometrie:

Blechdicke 1 $t_1$ =		10,0 mm
Blechdicke 2 $t_2$ =		8,0 mm
Schraubenabstand $e_1$ =		55,0 mm
Versetzungsabstand $e$ =		65,0 mm
Schraubenabstand $p_1$ =	$2 * e$	= 130,0 mm
Schraubenabstand $e_2$ =		50,0 mm
Schraubenabstand $p_2$ =		70,0 mm
Blechbreite $b$ =		240,0 mm
Kontrolle		
$\frac{2 * e_2 + 2 * p_2}{b}$		= <u><b>1,00 ≤ 1</b></u>

### Schrauben:

Schraubengröße Schr =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 22
Festigkeitsklasse FK =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	4.6

### Kategorie A: SL-Verbindung

Nennlochspiel $\Delta d$ =	TAB("EC3_de/Schra"; $\Delta d$ ; SG=Schr;)	=	2,0 mm
Schraubenzahl $n$ =		=	5
Schraubengewinde liegt <u>nicht</u> in der Scherebene (ref = 0), sonst (ref = 1)		=	0
Gewinde in Fuge ref =		=	0
Schaftdurchmesser $d$ =	TAB("EC3_de/Schra"; $d$ ; SG=Schr)	=	22,00 mm
Lochdurchmesser $d_0$ =	$d + \Delta d$	=	24,00 mm
Schaftquer. $A_d$ =	TAB("EC3_de/Schra"; $A$ ; SG=Schr;)	=	3,80 cm <sup>2</sup>
Spannungsquer. $A_s$ =	TAB("EC3_de/Schra"; $A_s$ ; SG=Schr;)	=	3,03 cm <sup>2</sup>

### Rand- und Lochabstände

$1,2 * d_0 / e_1$		=	<u><b>0,52 ≤ 1</b></u>
$1,2 * d_0 / e_2$		=	<u><b>0,58 ≤ 1</b></u>
$2,2 * d_0 / e$		=	<u><b>0,81 ≤ 1</b></u>
$L$ =	$\sqrt{(p_2^2 + e^2)}$	=	95,5 mm
$p_{2,min}$ =	WENN( $2,4 * d_0 / L \leq 1$ ; $1,2 * d_0$ ; $2,4 * d_0$ )	=	28,8 mm
$p_{2,min} / p_2$		=	<u><b>0,41 ≤ 1</b></u>



# Stahlbau nach EN 1993

## Kapitel Schraubverbindungen

**DIN**  
EN 1993

Seite: 78

### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	=	S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{y,k}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{u,k}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
Schrauben:			
$f_{u,b,k}$ =	TAB("EC3_de/FK"; $f_{u,b,k}$ ; FK=FK)/10	=	40,00 kN/cm <sup>2</sup>

### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0}$ =	1,0
$\gamma_{M2}$ =	1,25

### Belastung:

$N_{Ed}$ =	100,00 kN
------------	-----------

### Nettoquerschnitt:



### Abscheren:

A =	WENN(ref=0;Ad;As)	=	3,80 cm <sup>2</sup>
$\alpha_v$ =	TAB("EC3_de/FK"; $\alpha_v$ ; FK=FK;)	=	0,6
$\alpha_v$ =	WENN(ref=0;0,6; $\alpha_v$ )	=	0,6
$F_{v,Rd}$ =	$n * \alpha_v * f_{u,b,k} * A / \gamma_{M2}$	=	364,80 kN

### Lochleibung:

$\alpha$ =	$\text{MIN}\left(\frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{2 * e}{3 * d_0} - 0,25; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; 1\right)$	=	0,76
$k_1$ =	$\text{MIN}(2,8 * e_2 / d_0 - 1,7; 1,4 * p_2 / d_0; 2,5)$	=	2,50
$F_{b,Rd}$ =	$n * k_1 * \alpha * d * t_{\min} * f_{u,k} / \gamma_{M2} * 10^{-2}$	=	481,54 kN

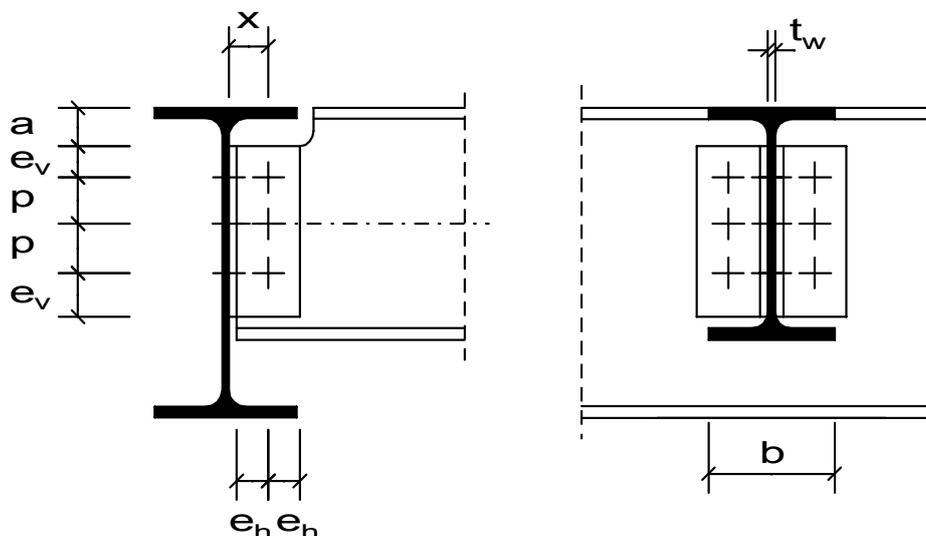
### Maximal aufnehmbare Kraft:

$N_{l,Rd}$ =	$\text{MIN}(N_{t,Rd}; F_{v,Rd}; F_{b,Rd})$	=	364,80 kN
--------------	--	---	-----------

### Nachweis:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{l,Rd}} = \underline{\underline{0,27 < 1}}$$

### Geschraubter Querkraftanschluss



#### Geometrie:

Schraubenabstand $x =$	45,00 mm
Schraubenabstand $e_h =$	35,00 mm
Schraubenabstand $e_v =$	30,00 mm
Schraubenabstand $p =$	50,00 mm
Ausschnitttiefe $a =$	30,00 mm
Schraubenzahl $n =$	3

#### Schrauben:

M16 4.6

Schr = GEW("EC3\_de/Schra"; SG; ) = M 16

FK = GEW("EC3\_de/FK"; FK; ) = 4.6

Schraubengewinde liegt nicht in der Scherebene (ref = 0), sonst (ref = 1)

Gewinde in Fuge ref = 0

Schaftdurchmesser  $d =$  TAB("EC3\_de/Schra";d;SG=Schr) = 16,00 mm

Nennlochspiel  $\Delta d =$  TAB("EC3\_de/Schra";  $\Delta d$ ;SG=Schr;) = 2,0 mm

Lochdurchmesser  $d_0 =$   $d + \Delta d$  = 18,00 mm

Schaftquerschnitt  $A =$  TAB("EC3\_de/Schra";A;SG=Schr;) = 2,01 cm<sup>2</sup>

Spannungsquer.  $A_s =$  TAB("EC3\_de/Schra";As;SG=Schr;) = 1,57 cm<sup>2</sup>

#### Zwei gleichschenklige Winkel

Verbindungswinkel  $P =$  GEW("EC3\_de/WG"; ID; ) = L 80x8

Winkeldicke  $t =$  TAB("EC3\_de/WG"; t; ID=P) = 8,00 mm

Profilreihe Typ = GEW("EC3\_de/Profile"; ID; ) = IPE

Gewähltes Profil = GEW("EC3\_de/"Typ; ID; ) = IPE 270

Trägerhöhe  $h =$  TAB("EC3\_de/"Typ; h; ID=Profil) = 270,00 mm

Stegdicke  $t_w =$  TAB("EC3\_de/"Typ;  $t_w$ ; ID=Profil) = 6,60 mm

an IPE360

#### Material:

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID; ) = S 235

$f_{y,k} =$  TAB("EC3\_de/mat";  $f_{y,k}$ ; ID=Stahl) = 235,00 N/mm<sup>2</sup>

$f_{u,k} =$  TAB("EC3\_de/mat";  $f_{u,k}$ ; ID=Stahl) = 360,00 N/mm<sup>2</sup>

Schrauben

$f_{u,b,k} =$  TAB("EC3\_de/FK";  $f_{u,b,k}$ ; FK=FK) = 400,00 N/mm<sup>2</sup>

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} =$  1,00

$\gamma_{M2} =$  1,25

**Belastung:**

$$V_{Ed} = 60,00 \text{ kN}$$

**Prüfung der Rand- und Lochabstände:**

kleinste Abstände:

$$1,2 * d_0 / e_v = \underline{0,72 \leq 1}$$

$$1,2 * d_0 / e_h = \underline{0,62 \leq 1}$$

$$2,2 * d_0 / p = \underline{0,79 \leq 1}$$

größte Abstände:

$$t_{min} = \text{MIN}(t; t_w) = 6,60 \text{ mm}$$

$$e_{max} = 4 * t_{min} + 40 = 66,40 \text{ mm}$$

$$p_{max} = \text{MIN}(14 * t_{min}; 200) = 92,40 \text{ mm}$$

$$e_v / e_{max} = \underline{0,45 \leq 1}$$

$$e_h / e_{max} = \underline{0,53 \leq 1}$$

$$p / p_{max} = \underline{0,54 \leq 1}$$

**Berechnung der Schraubenkräfte:**

$$\text{Schrauben am Steg des Hauptträgers } F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2 * n} = 10,00 \text{ kN}$$

$$\text{Schrauben am Steg des Nebenträgers } M_{Ed} = \frac{x}{10} * V_{Ed} = 270,00 \text{ kNcm}$$

$$\text{Horizontalkräfte infolge } M_{Ed} F_{h,Ed} = \frac{M_{Ed}}{(n-1) * \frac{p}{10}} = 27,00 \text{ kN}$$

$$\text{Querkraft auf die Schrauben verteilt } F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{n} = 20,00 \text{ kN}$$

$$\text{Maximale Schraubenkraft } F_{Ed} = \sqrt{F_{h,Ed}^2 + F_{v,Ed}^2} = 33,60 \text{ kN}$$

**Grenzkraft und Nachweis der Schrauben:****Schrauben am Steg des Hauptträgers:**

Abscheren

$$\text{Schrauben-Scherebenen } n_s = 1$$

$$A = \text{WENN}(\text{ref}=0; A; A_s) = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$\alpha_v = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"}; \alpha_v; \text{FK}=\text{FK};) = 0,6$$

$$\alpha_v = \text{WENN}(\text{ref}=0; 0,6; \alpha_v) = 0,6$$

$$F_{v,Rd} = n_s * \alpha_v * A * f_{u,b,k} / \gamma_{M2} / 10 = 38,59 \text{ kN}$$

Lochleibung

$$\alpha = \text{MIN}\left(\frac{e_v}{3 * d_0}; \frac{p}{3 * d_0} - 0,25; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; 1\right) = 0,556$$

$$F_{b,Rd} = 2,5 * \alpha * d * t * \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2} * 10^3} = 51,24 \text{ kN}$$

**Nachweis:**

$$\text{MAX}\left(\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd}}; \frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}}\right) = \underline{0,87 < 1}$$



#### Schrauben am Steg des Nebenträgers:

Abscheren

$$\begin{aligned} \text{Schrauben-Scherebenen } n_s &= 2 \\ A &= \text{WENN}(\text{ref}=0; A; A_s) = 2,01 \text{ cm}^2 \\ \alpha_v &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"}; \alpha_v; \text{FK}=\text{FK};) = 0,6 \\ \alpha_v &= \text{WENN}(\text{ref}=0; 0,6; \alpha_v) = 0,6 \\ F_{v,Rd} &= n_s * \alpha_v * A * f_{u,b,k} / \gamma_{M2} / 10 = 77,18 \text{ kN} \end{aligned}$$

Lochleibung

$$\begin{aligned} \alpha &= \text{MIN}\left(\frac{e_v}{3 * d_0}; \frac{p}{3 * d_0} - 0,25; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; 1\right) = 0,556 \\ F_{b,Rd} &= 2,5 * \alpha * d * t_w * \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2} * 10^3} = 42,27 \text{ kN} \end{aligned}$$

**Nachweis:**

$$\text{MAX}\left(\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd}}; \frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}}\right) = \underline{\underline{0,79 < 1}}$$

#### Nachweis des Winkels

Bemessungsschnittgrößen:



⇒ unteres Schraubenloch für Biegebeanspruchung abziehen.

$$\begin{aligned} A &= A * 2 = 12,80 \text{ cm}^2 \\ A_{\text{net}} &= A_{\text{net}} * 2 = 8,48 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{f_{y,k} * A}{f_{u,k} * A_{\text{net}}} = \underline{\underline{0,99 < 1}}$$

⇒ Schraubenloch muss für Grenzkraft nicht abgezogen werden

$$W_{pl} = \left( t * \frac{(2 * p + 2 * e_v)^2}{4} - d_0 * t * p \right) * 10^{-3} = 44,00 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0} * 10} = 1034,00 \text{ kNcm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \underline{\underline{0,26 < 1}}$$

$$V_{pl,Rd} = A * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0} * \sqrt{3} * 10} = 173,67 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \underline{\underline{0,35 < 1}}$$



### Blockversagen der Schraubengruppe:

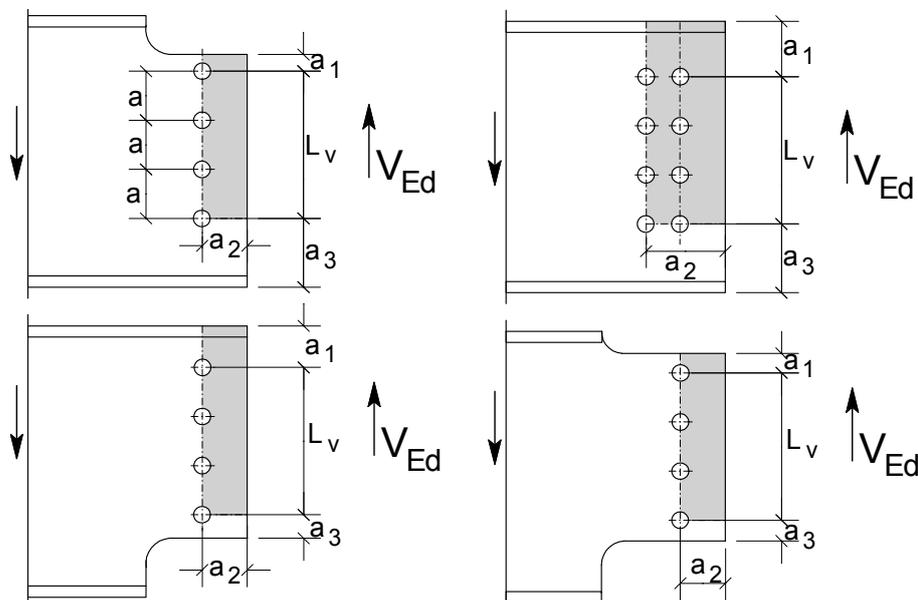
$$\begin{aligned}h_{SB} &= (n - 1) * p &= & 100,00 \text{ mm} \\A_{nv} &= (h_{SB} - (n-0,5) * d_0 + e_v) * \text{MIN}(t; t_w) &= & 561,00 \text{ mm}^2 \\A_{nt} &= (e_h - 0,5 * d_0) * \text{MIN}(t; t_w) &= & 171,60 \text{ mm}^2 \\V_{\text{eff},2,\text{Rd}} &= \left( \frac{1}{2} * A_{nt} * \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}} + A_{nv} * \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} \right) * 10^{-3} &= & 100,83 \text{ kN}\end{aligned}$$

### **Nachweis Beanspruchung Blockversagen:**

$$\frac{|V_{\text{Ed}}|/2}{V_{\text{eff},2,\text{Rd}}} = \underline{\underline{0,30 < 1}}$$

### Blockversagen von Schraubengruppen

Nachweis gegen Scherbruch



#### Querschnitt / Geometrie:

Schraubenabstand $a_1 =$	95,0 mm
Schraubenabstand $a_2 =$	53,0 mm
Schraubenabstand $a_3 =$	95,0 mm
Schraubenabstand $a =$	70,0 mm
Schraubenanzahl horiz. $n_h =$	1
Schraubenanzahl vertikal $n_v =$	4

Schrauben:

Schr =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 20
FK =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	5.6
Schraubengewinde liegt <u>nicht</u> in der Scherebene (ref = 0), sonst (ref = 1)			
Gewinde in Fuge ref =			0
Schaftdurchmesser $d =$	TAB("EC3_de/Schra";d;SG=Schr)	=	20,0 mm
Nennlochspiel $\Delta d =$	TAB("EC3_de/Schra"; $\Delta d$ ;SG=Schr;)	=	2,0 mm
Lochdurchmesser $d_0 =$	$d + \Delta d$	=	22,0 mm
Schaftquerschnitt $A =$	TAB("EC3_de/Schra";A;SG=Schr;)	=	3,14 cm <sup>2</sup>
Spannungsquer. $A_s =$	TAB("EC3_de/Schra";As;SG=Schr;)	=	2,45 cm <sup>2</sup>
Profilreihe Typ =	GEW("EC3_de/Profile"; ID; )	=	IPE
Gewähltes Profil =	GEW("EC3_de/"Typ; ID; )	=	IPE 400
Trägerhöhe $h =$	TAB("EC3_de/"Typ; h; ID=Profil)	=	400,0 mm
Trägerbreite $b =$	TAB("EC3_de/"Typ; b; ID=Profil)	=	180,0 mm
Flanschdicke $t_f =$	TAB("EC3_de/"Typ; $t_f$ ; ID=Profil)	=	13,5 mm
Stegdicke $t_w =$	TAB("EC3_de/"Typ; $t_w$ ; ID=Profil)	=	8,6 mm
Radius $r =$	TAB("EC3_de/"Typ; r; ID=Profil)	=	21,0 mm
$h_w =$	$h - 2 * t_f$	=	373,0 mm

#### Material / Teilsicherheitsbeiwerte:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{y,k}$ ; ID=Stahl)	=	235,0 N/mm <sup>2</sup>
$f_{u,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{u,k}$ ; ID=Stahl)	=	360,0 N/mm <sup>2</sup>



$$\begin{aligned} \text{Schrauben} \\ f_{u,b,k} &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"}; f_{ubk}; \text{FK=FK}) &= & 500,0 \text{ N/mm}^2 \\ \gamma_{M0} &= & & 1,00 \\ \gamma_{M2} &= & & 1,25 \end{aligned}$$

**Belastung:**

$$V_{Ed} = 200,0 \text{ kN}$$

**Querkraftbeanspruchbarkeit:**

wirksame Schubfläche:



$$\frac{f_{y,k} \cdot A_v}{f_{u,k} \cdot A_{v,net}} = \underline{\underline{0,85 < 1}}$$

 $\Rightarrow$  Lochabzug kann entfallen.

$$V_{pl,Rd} = A_{v,net} \cdot \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0} \cdot 10} = 332,55 \text{ kN}$$

$$\frac{|V_{Ed}|}{V_{pl,Rd}} = \underline{\underline{0,60 < 1}}$$

**Blockversagen der Schraubengruppe:**

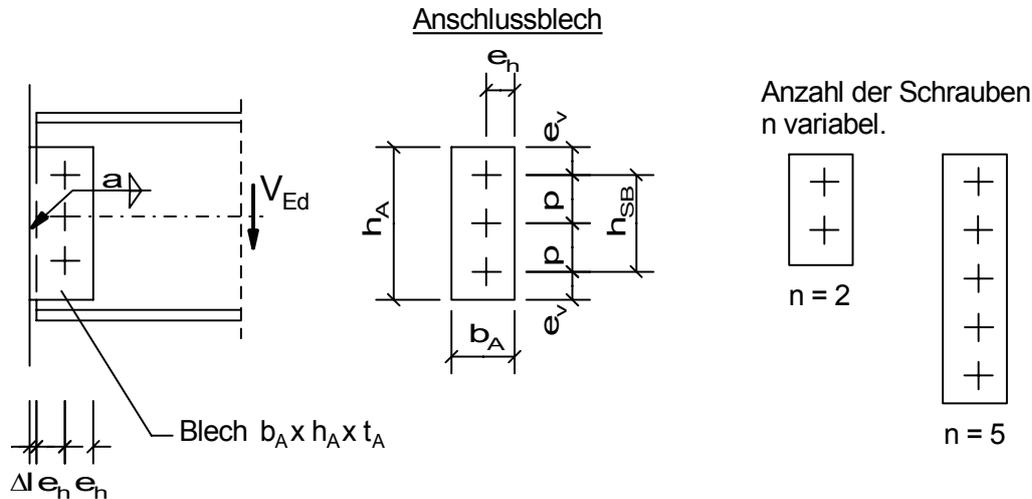
$$\begin{aligned} L_v &= (n_v - 1) \cdot a &= & 210,0 \text{ mm} \\ A_{nv} &= (a_1 + L_v - (n_v - 0,5) \cdot d_0) \cdot t_w &= & 1960,80 \text{ mm}^2 \\ A_{nt} &= (a_2 - (n_h - 0,5) \cdot d_0) \cdot t_w &= & 361,20 \text{ mm}^2 \\ V_{eff,2,Rd} &= \left( \frac{1}{2} \cdot A_{nt} \cdot \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}} + A_{nv} \cdot \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \right) \cdot 10^{-3} &= & 318,05 \text{ kN} \end{aligned}$$

**Nachweis Beanspruchung Blockversagen:**

$$\frac{|V_{Ed}|}{V_{eff,2,Rd}} = \underline{\underline{0,63 < 1}}$$

### Träger mit Anschlussblech

Geschraubter Querkraft-Anschluss eines Trägerendes mit einer Schrauben-Reihe an ein angeschweißtes Knotenblech (Fahnenblech).



### Querschnitte / Geometrie:

Schrauben:			
Schraubengröße Schr =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 20
Festigkeitsklasse FK =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	4.6
Anzahl der Schrauben n =			5
Kategorie A: Scher-Lochleibungs (SL-) Verbindung			
Lochspiel $\Delta d$ =			1,00 mm
Schaftdurchmesser d =	TAB("EC3_de/Schra";d;SG=Schr)	=	20,00 mm
Lochdurchmesser $d_0$ =	d + $\Delta d$	=	21,00 mm
Träger:			
Träger Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	IPE
Träger-Profil ID1 =	GEW("EC3_de/Typ1; ID; )	=	IPE 500
Stegdicke $t_w$ =	TAB("EC3_de/Typ1; tw; ID=ID1;)	=	10,20 mm
Querschnittsfläche A =	TAB("EC3_de/Typ1; A; ID=ID1;)	=	116,00 cm <sup>2</sup>
Anschlussblech:			
Breite $b_A$ =			110,00 mm
Höhe $h_A$ =			370,00 mm
Dicke $t_A$ =			12,00 mm
Spielraum $\Delta l$ =			10,00 mm
Schweißnähte:			
Kehlnaht a =			4,00 mm
<b>A: ENTWEDER</b>			
Schraubenbildhöhe $h_{SB}$ =			280,00 mm
Schraubenabstand p =	$\frac{h_{SB}}{n-1}$	=	70,00 mm
<b>A: ODER</b>			
Schraubenabstand p =			70,00 mm
Schraubenbildhöhe $h_{SB}$ =	(n - 1) * p	=	280,00 mm

### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0}$ =	1,0
$\gamma_{M2}$ =	1,25



# Stahlbau nach EN 1993

## Kapitel Schraubverbindungen

DIN  
EN 1993

Seite: 86

### Einwirkungen:

$$\text{Anschlussquerkraft } V_{Ed} = 215,50 \text{ kN}$$

### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	=	S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
Schrauben:			
$f_{y,b,k}$ =	TAB("EC3_de/FK"; $f_{ybk}$ ; FK=FK)/10	=	24,00 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,b,k}$ =	TAB("EC3_de/FK"; $f_{ubk}$ ; FK=FK)/10	=	40,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\beta_w$ =	TAB("EC3_de/mat"; $\beta_{w}$ ; ID=Stahl)	=	0,80

### Schraubenabstände:

zum Rand:

$e_h$ =	$(b_A - \Delta l)/2$	=	50,00 mm
$e_v$ =	$(h_A - h_{SB})/2$	=	45,00 mm
$e_{min}$ =	$1,2 * d_0$	=	25,20 mm
$e_{max}$ =	$4 * \text{MIN}(t_A; t_w) + 40$	=	80,80 mm

untereinander:

$p$ =	$\frac{h_{SB}}{n - 1}$	=	70,00 mm
$p_{min}$ =	$2,2 * d_0$	=	46,20 mm
$p_{max}$ =	$\text{MIN}(200; 14 * \text{MIN}(t_A; t_w))$	=	142,80 mm

### Ermittlung der maximalen Schraubenbeanspruchung ( $n_x = 1$ ):

Abstand des Schraubenbild-Schwerpunktes zum Anschnitt

$$e_{x,s} = e_h + \Delta l = 60,00 \text{ mm}$$

Schnittgrößen im Schraubenbild-Schwerpunkt

$$M_s = V_{Ed} * e_{x,s} / 10 = 1293,00 \text{ kNm}$$

$$V_s = V_{Ed} = 215,50 \text{ kN}$$

$$\alpha = \frac{6}{n} * \frac{n-1}{n+1} = 0,8000$$

$$I_{p-} = \left( \frac{n+1}{n-1} * \frac{h_{SB}^2}{2} \right) * \frac{n}{6} * 10^{-2} = 490,00 \text{ cm}^2$$

$$V_{x,i,max} = \frac{|M_s| * h_{SB} / 10}{I_{p-} * 2} = 36,94 \text{ kN}$$

$$V_{z,i,max} = \frac{|V_s|}{n} = 43,10 \text{ kN}$$

$$R_{i,max} = \sqrt{V_{x,i,max}^2 + V_{z,i,max}^2} = 56,76 \text{ kN}$$

### Abscherbeanspruchbarkeit:

$$\text{Schrauben-Scherebenen } n_s = 1$$

Schraubengewinde liegt nicht in der Scherebene (ref = 0), sonst (ref = 1)

$$\text{Gewinde in Fuge ref} = 0$$

$$F_{v,Rd} = \text{TAB}("EC3_de/Schra"; F_{vRd}; SG=Schr; ref=ref; FK=FK;) = 60,30 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n_s * F_{v,Rd} = 60,30 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = R_{i,max} = 56,76 \text{ kN}$$

### Nachweis Abscherbeanspruchbarkeit

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \underline{\underline{0,94 < 1}}$$



#### Lochleibungsbeanspruchbarkeit:

$$F_{v,Ed} = R_{i,max} = 56,76 \text{ kN}$$

Auf der sicheren Seite liegend wird für den Randabstand  $e_1$  der kleinere der beiden Randabstände  $e_h$  und  $e_v$  angesetzt.

$$e = \text{MIN}(e_h; e_v) = 45,00 \text{ mm}$$

$$\alpha_b = \text{MIN}\left(\frac{e}{3 \cdot d_0}; \frac{p}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \cdot \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; 1,0\right) = 0,71$$

$$k_1 = \text{MIN}\left(2,8 \cdot \frac{e}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot \text{MIN}(t_A; t_w) / 100 \cdot \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}} = 104,28 \text{ kN}$$

$$F_{b,Ed} = R_{i,max} = 56,76 \text{ kN}$$

#### **Nachweis Lochleibungsbeanspruchbarkeit**

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \underline{\underline{0,54 < 1}}$$

#### Beanspruchbarkeit des Anschlussbleches:

In der Lochbruchlinie werden die Normal- und Schubbeanspruchungen infolge M und V am Nettoquerschnitt berechnet.



Schnittgrößen infolge des exzentrischen Fahnenblech-Anchlusses

$$M_x = \frac{t_A + t_w}{2 \cdot 10} \cdot V_{Ed} = 239,21 \text{ kNcm}$$

$$V_1 = \frac{M_x}{W_{eff,min}} \cdot A_{net} + V_{Ed} = 252,24 \text{ kN}$$

#### **Nachweis Querkraftbeanspruchung:**

$$\frac{|V_1|}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,58 < 1}}$$

#### **Nachweis Biegebeanspruchung:**

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}} = \underline{\underline{0,27 < 1}}$$

**Blockversagen der Schraubengruppe - Anschlussblech:**

$$A_{nv} = (h_{SB} - (n-0,5) \cdot d_0 + e_v) \cdot t_A / 100 = 27,66 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = (e_h - 0,5 \cdot d_0) \cdot t_A / 100 = 4,74 \text{ cm}^2$$

$$V_{\text{eff},2,\text{Rd}} = \frac{A_{nt} \cdot f_{u,k}}{2 \cdot \gamma_{M2}} + A_{nv} \cdot \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 443,54 \text{ kN}$$

**Nachweis Beanspruchung Blockversagen:**

$$\frac{|V_{\text{Ed}}|}{V_{\text{eff},2,\text{Rd}}} = \underline{\underline{0,49 < 1}}$$

**Blockversagen der Schraubengruppe - Träger:**

$$A_{nv} = \left( \frac{A \cdot 100}{2} + \frac{h_{SB}}{2} \cdot t_w - (n-0,5) \cdot d_0 \cdot t_w \right) \cdot 10^{-2} = 62,64 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = (e_h - 0,5 \cdot d_0) \cdot t_w / 100 = 4,03 \text{ cm}^2$$

$$V_{\text{eff},2,\text{Rd}} = \frac{A_{nt} \cdot f_{u,k}}{2 \cdot \gamma_{M2}} + A_{nv} \cdot \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 907,91 \text{ kN}$$

**Nachweis Beanspruchung Blockversagen:**

$$\frac{|V_{\text{Ed}}|}{V_{\text{eff},2,\text{Rd}}} = \underline{\underline{0,24 < 1}}$$

**Beanspruchbarkeit der Schweißnaht:**

$$A_w = 2 \cdot a \cdot h_A / 100 = 29,60 \text{ cm}^2$$

$$f_{w,\text{Rd}} = \frac{f_{u,k}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 36,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\text{II,Ed}} = \frac{V_{\text{Ed}}}{A_w} = 7,28 \text{ kN/cm}^2$$

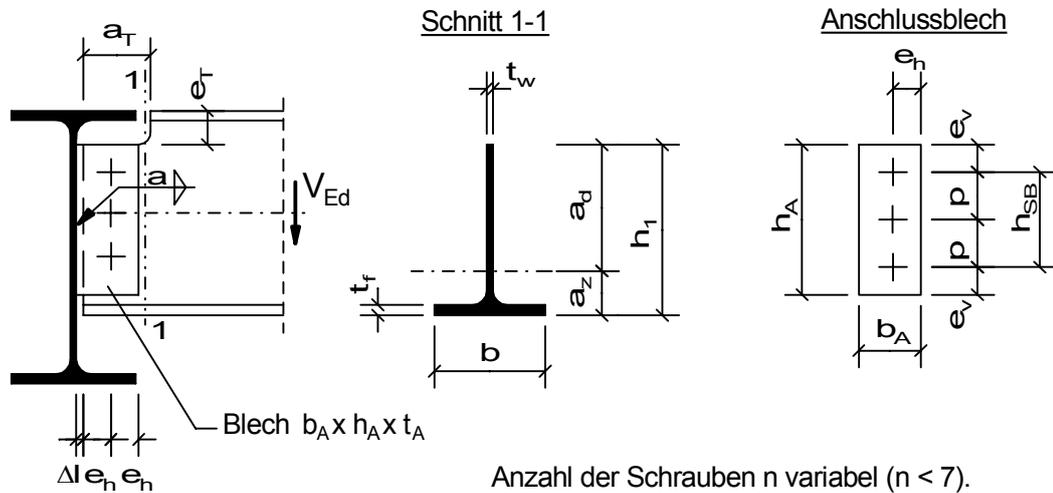
$$\sigma_{w,\text{Ed}} = \sqrt{3 \cdot (\tau_{\text{II,Ed}}^2)} = 12,61 \text{ kN/cm}^2$$

**Nachweis der Schweißnaht:**

$$\frac{\sigma_{w,\text{Ed}}}{f_{w,\text{Rd}}} = \underline{\underline{0,35 < 1}}$$

### Träger mit Anschlussblech und Ausklinkung

Geschraubter Querkraft-Anschluss eines Trägerendes mit Ausklinkung mit einer Schrauben-Reihe an ein angeschweißtes Knotenblech (Fahnenblech).



Anzahl der Schrauben  $n$  variabel ( $n < 7$ ).

### Querschnitte / Geometrie:

Schrauben:

Schraubengröße Schr = GEW("EC3\_de/Schra"; SG; ) = M 20

Festigkeitsklasse FK = GEW("EC3\_de/FK"; FK; ) = 4.6

Anzahl der Schrauben  $n$  = 5

Kategorie A: Scher-Lochleibungs (SL-) Verbindung

Lochspiel  $\Delta d$  = 1,00 mm

Schaftdurchmesser  $d$  = TAB("EC3\_de/Schra";d;SG=Schr) = 20,00 mm

Lochdurchmesser  $d_0$  =  $d + \Delta d$  = 21,00 mm

Träger:

Träger Typ1 = GEW("EC3\_de/Profile"; ID;) = IPE

Träger-Profil ID1 = GEW("EC3\_de/Typ1; ID; ) = IPE 500

Höhe  $h$  = TAB("EC3\_de/Typ1; h; ID=ID1;) = 500,00 mm

Breite  $b$  = TAB("EC3\_de/Typ1; b; ID=ID1;) = 200,00 mm

Stegdicke  $t_w$  = TAB("EC3\_de/Typ1; t\_w; ID=ID1;) = 10,20 mm

Flanschdicke  $t_f$  = TAB("EC3\_de/Typ1; t\_f; ID=ID1;) = 16,00 mm

Querschnittsfläche  $A$  = TAB("EC3\_de/Typ1; A; ID=ID1;) = 116,00 cm<sup>2</sup>

Anschlussblech:

Breite  $b_A$  = 110,00 mm

Höhe  $h_A$  = 370,00 mm

Dicke  $t_A$  = 12,00 mm

Spielraum  $\Delta l$  = 10,00 mm

Ausklinkung:

Länge  $a_T$  = 150,00 mm

Höhe  $e_T$  = 60,00 mm

Schweißnähte:

Kehlnaht  $a$  = 4,00 mm

**A: ENTWEDER**

Schraubenbildhöhe  $h_{SB}$  = 280,00 mm

Schraubenabstand  $p$  =  $\frac{h_{SB}}{n-1}$  = 70,00 mm

**A: ODER**

Schraubenabstand  $p$  = 70,00 mm

Schraubenbildhöhe  $h_{SB}$  =  $(n-1) * p$  = 280,00 mm

**Teilsicherheitsbeiwerte:**

$\gamma_{M0} =$	1,0
$\gamma_{M2} =$	1,25

**Einwirkungen:**

Anschlussquerkraft $V_{Ed} =$	215,50 kN
-------------------------------	-----------

**Material:**

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	=	S 235
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
Schrauben:			
$f_{y,b,k} =$	TAB("EC3_de/FK"; $f_{ybk}$ ; FK=FK)/10	=	24,00 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,b,k} =$	TAB("EC3_de/FK"; $f_{ubk}$ ; FK=FK)/10	=	40,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\beta_w =$	TAB("EC3_de/mat"; $\beta_{w}$ ; ID=Stahl)	=	0,80

**Schraubenabstände:**

zum Rand:

$e_h =$	$(b_A - \Delta l)/2$	=	50,00 mm
$e_v =$	$(h_A - h_{SB})/2$	=	45,00 mm
$e_{min} =$	$1,2 * d_0$	=	25,20 mm
$e_{max} =$	$4 * \text{MIN}(t_A; t_w) + 40$	=	80,80 mm

untereinander:

$p =$	$\frac{h_{SB}}{n - 1}$	=	70,00 mm
$p_{min} =$	$2,2 * d_0$	=	46,20 mm
$p_{max} =$	$\text{MIN}(200; 14 * \text{MIN}(t_A; t_w))$	=	142,80 mm

**Ermittlung der maximalen Schraubenbeanspruchung ( $n_x = 1$ ):**

$e_{x,s} =$	$e_h + \Delta l$	=	60,00 mm
Schnittgrößen im Schraubenbild-Schwerpunkt			
$M_s =$	$V_{Ed} * e_{x,s} / 10$	=	1293,00 kNcm
$V_s =$	$V_{Ed}$	=	215,50 kN
$\alpha =$	$\frac{6 * n - 1}{n * n + 1}$	=	0,8000
$I_{p-} =$	$\frac{(h_{SB} / 10)^2}{2 * \alpha}$	=	490,00 cm <sup>4</sup>
$V_{x,i,max} =$	$\frac{ M_s  * h_{SB}}{I_{p-} * 2 * 10}$	=	36,94 kN
$V_{z,i,max} =$	$\frac{ V_s }{n}$	=	43,10 kN
$R_{i,max} =$	$\sqrt{V_{x,i,max}^2 + V_{z,i,max}^2}$	=	56,76 kN

**Abscherbeanspruchbarkeit:**

Schrauben-Scherebenen $n_s$	=	1
Schraubengewinde liegt <u>nicht</u> in der Scherebene (ref = 0), sonst (ref = 1)		
Gewinde in Fuge ref =		0
$F_{v,Rd} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/Schra"}; F_{v,Rd}; \text{SG}=\text{Schr}; \text{ref}=\text{ref}; \text{FK}=\text{FK};)$	=	60,30 kN
$F_{v,Rd} = n_s * F_{v,Rd}$	=	60,30 kN
$F_{v,Ed} = R_{i,max}$	=	56,76 kN

**Nachweis Abscherbeanspruchbarkeit**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \underline{\underline{0,94 < 1}}$$

**Lochleibungsbeanspruchbarkeit:**

$$F_{v,Ed} = R_{i,max} = 56,76 \text{ kN}$$

Auf der sicheren Seite liegend wird für den Randabstand  $e_1$  der kleinere der beiden Randabstände  $e_h$  und  $e_v$  angesetzt.

**Nachweis Lochleibungsbeanspruchbarkeit**

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \underline{\underline{0,54 < 1}}$$

**Beanspruchbarkeit des Anschlussbleches:**

In der Lochbruchlinie werden die Normal- und Schubbeanspruchungen infolge M und V am Nettoquerschnitt berechnet.

$$A_{net} = (h_A - n * d_0) * t_A / 100 = 31,80 \text{ cm}^2$$

$$I_{y,net} = \left( \frac{t_A}{12} * h_A^3 - \frac{t_A * d_0}{2 * \alpha} * h_{SB}^2 \right) * 10^{-4} = 3830,50 \text{ cm}^4$$

$$W_{eff,min} = \frac{I_{y,net} * 2}{h_A / 10} = 207,05 \text{ cm}^3$$

$$V_{c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} * A_{net} = 431,45 \text{ kN}$$

$$M_{y,c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} * W_{eff,min} = 4865,68 \text{ kNcm}$$

$$M_{y,Ed} = V_{Ed} * (e_h + \Delta l) / 10 = 1293,00 \text{ kNcm}$$

Schnittgrößen infolge des exzentrischen Fahnenblech-Anschlusses

$$M_x = \frac{t_A + t_w}{2 * 10} * V_{Ed} = 239,21 \text{ kNcm}$$

$$V_1 = V_{Ed} + \frac{M_x}{W_{eff,min}} * A_{net} = 252,24 \text{ kN}$$

**Nachweis Querkraftbeanspruchung:**

$$\frac{|V_1|}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,58 < 1}}$$

**Nachweis Biegebeanspruchung:**

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}} = \underline{\underline{0,27 < 1}}$$

**Beanspruchbarkeit des geschwächten Trägerquerschnitts bei den Schrauben:**

Querschnittswerte:

$$h_1 = h - e_T = 440,00 \text{ mm}$$

$$A_{n1} = ((h_1 - t_f) * t_w - n * d_0 * t_w + b * t_f) * 10^{-2} = 64,54 \text{ cm}^2$$

$$a_d = \frac{t_w * \frac{(h_1 - t_f)^2}{2} + t_f * b * \left(h_1 - \frac{t_f}{2}\right) - n * d_0 * t_w}{A_{n1} * 100} = 356,09 \text{ mm}$$

$$a_z = h_1 - a_d = 83,91 \text{ mm}$$

$$I_{y1} = \left( t_w * \frac{(h_1 - t_f)^3}{12} + t_w * (h_1 - t_f) * \left( a_d - \frac{(h_1 - t_f)}{2} \right)^2 \right) * 10^{-4} = 15458,25 \text{ cm}^4$$

$$I_{y2} = \left( \frac{b * t_f^3}{12} + b * t_f * \left( a_z - \frac{t_f}{2} \right)^2 \right) * 10^{-4} = 1850,77 \text{ cm}^4$$

$$I_{y3n6} = I_{y31n6a} + I_{y31n6b} + I_{y32n6a} + I_{y32n6b} = 5386,82 \text{ cm}^4$$

$$I_a = \text{WENN}(n=1; I_{y30}; \text{WENN}(n=2; I_{y32}; \text{WENN}(n=3; I_{y3n3}; 0))) = 0,00 \text{ cm}^4$$

$$I_b = \text{WENN}(n=4; I_{y3n4}; \text{WENN}(n=5; I_{y3n5}; \text{WENN}(n=6; I_{y3n6}; 0))) = 4007,96 \text{ cm}^4$$

$$I_{y3} = \text{WENN}(I_a=0; \text{WENN}(I_b=0; 0; I_b); I_a) = 4007,96 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \frac{I_{y1} + I_{y2} - I_{y3}}{2} = 13301,06 \text{ cm}^4$$

$$S_y = t_w * \frac{a_d}{2} * 10^{-3} = 646,68 \text{ cm}^3$$

$$W_{\text{eff,min}} = \frac{I_y}{a_d} * 10 = 373,53 \text{ cm}^3$$

$$V_{c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} * A_{n1} = 875,66 \text{ kN}$$

$$M_{y,c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} * W_{\text{eff,min}} = 8777,95 \text{ kNcm}$$

$$M_1 = V_{Ed} * (e_h + \Delta l) / 10 = 1293,00 \text{ kNcm}$$

$$V_1 = \frac{V_{Ed} * S_y}{I_y * t_w / 10} * A_{n1} = 662,95 \text{ kN}$$

**Nachweis Querkraftbeanspruchung:**

$$\frac{|V_1|}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,76 < 1}}$$

**Nachweis Biegebeanspruchung:**

$$\frac{M_1}{M_{y,c,Rd}} = \underline{\underline{0,15 < 1}}$$



#### Blockversagen der Schraubengruppe - Anschlussblech:

Anschlussblech

$$A_{nv} = (h_{SB} - (n-0,5) * d_0 + e_v) * t_A / 100 = 27,66 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = (e_h - 0,5 * d_0) * t_A / 100 = 4,74 \text{ cm}^2$$

Widerstand gegen Blockversagen

$$V_{eff,2,Rd} = \frac{A_{nt} * f_{u,k}}{2 * \gamma_{M2}} + A_{nv} * \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 443,54 \text{ kN}$$

**Nachweis Beanspruchung Blockversagen:**

$$\frac{|V_{Ed}|}{V_{eff,2,Rd}} = \underline{\underline{0,49 < 1}}$$

#### Blockversagen der Schraubengruppe - Träger:

Träger

$$A_{nv} = (h_{SB} - (n-0,5) * d_0 + e_v) * t_w / 100 = 23,51 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = (e_h - 0,5 * d_0) * t_w / 100 = 4,03 \text{ cm}^2$$

Widerstand gegen Blockversagen

$$V_{eff,2,Rd} = \frac{A_{nt} * f_{u,k}}{2 * \gamma_{M2}} + A_{nv} * \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 377,01 \text{ kN}$$

**Nachweis Beanspruchung Blockversagen:**

$$\frac{|V_{Ed}|}{V_{eff,2,Rd}} = \underline{\underline{0,57 < 1}}$$

#### Beanspruchbarkeit der Schweißnaht:

$$A_w = 2 * a * h_A / 100 = 29,60 \text{ cm}^2$$

$$f_{w,Rd} = \frac{f_{u,k}}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 36,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{II,Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = 7,28 \text{ kN/cm}^2$$

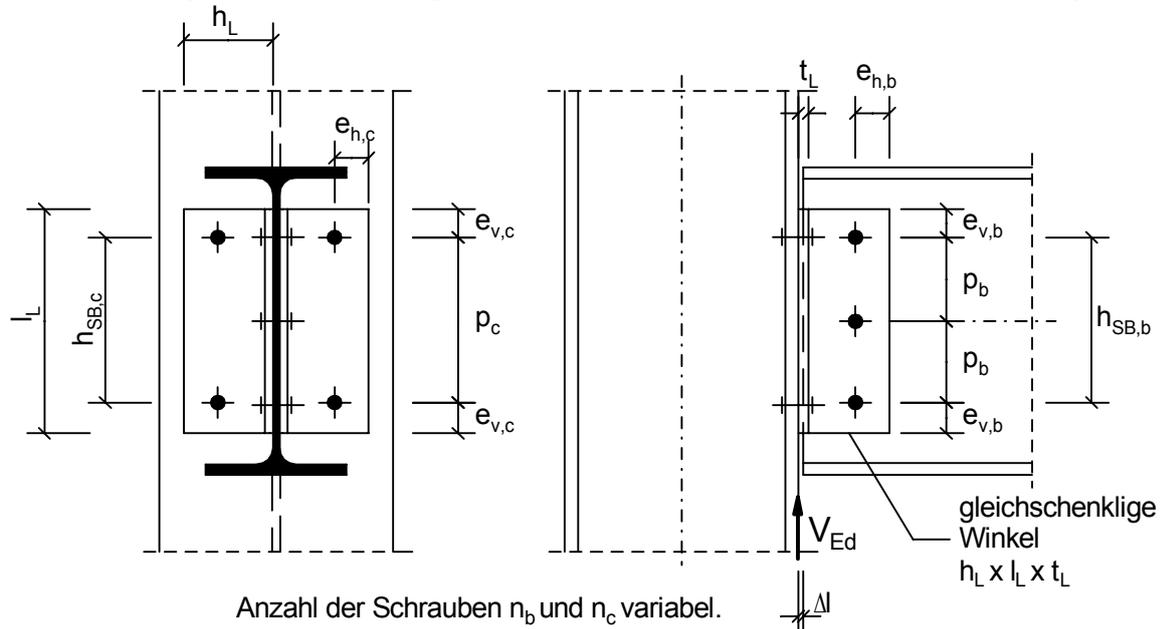
$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{3 * (\tau_{II,Ed}^2)} = 12,61 \text{ kN/cm}^2$$

**Nachweis der Schweißnaht:**

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,35 < 1}}$$

### Trägeranschluss mit Winkeln

Querkraft-Anschluss eines Trägerendes an eine Stütze mit zwei angeschraubten Winkeln.  
Das Momentengelenk wird in der Fuge zwischen den Winkeln und dem Gurt der Stütze angenommen.



#### Einwirkungen:

Anschlussquerkraft  $V_{Ed} = 240,00 \text{ kN}$

#### Querschnitte / Geometrie:

Träger:

Träger Typ1 = GEW("EC3\_de/Profile"; ID;) = HEB

Träger-Profil ID1 = GEW("EC3\_de/Typ1; ID; ) = HEB 360

Stütze:

Stütze Typ2 = GEW("EC3\_de/Profile"; ID;) = HEB

Stützen-Profil ID2 = GEW("EC3\_de/Typ2; ID; ) = HEB 400

Zwei gleichschenklige Winkel:

Winkel TypL = GEW("EC3\_de/WG"; ID;) = L 100x12

Länge  $l_L = 250,00 \text{ mm}$

Schrauben (Träger):

Schraubengröße  $Schr_b = GEW("EC3_de/Schra"; SG; ) = M 20$

Festigkeitsklasse  $FK_b = GEW("EC3_de/FK"; FK; ) = 5.6$

Anzahl der Schrauben  $n_b = 3$

Lochspiel  $\Delta d_b = 1,0 \text{ mm}$

Schraubenabstand  $p_b = 85,00 \text{ mm}$

Randabstand  $e_{v,b} = 40,00 \text{ mm}$

Randabstand  $e_{h,b} = 45,00 \text{ mm}$

Schrauben (Stütze):

Schraubengröße  $Schr_c = GEW("EC3_de/Schra"; SG; ) = M 20$

Festigkeitsklasse  $FK_c = GEW("EC3_de/FK"; FK; ) = 5.6$

Gesamtzahl Schrauben (gerade)  $n_c = 4$

Lochspiel  $\Delta d_c = 1,0 \text{ mm}$

Schraubenabstand  $p_c = 170,00 \text{ mm}$

Randabstand  $e_{v,c} = e_{v,b} = 40,00 \text{ mm}$

Randabstand  $e_{h,c} = e_{h,b} = 45,00 \text{ mm}$

Spielraum  $\Delta l = 10,00 \text{ mm}$

**Teilsicherheitsbeiwerte:**

$\gamma_{M0} =$	1,0
$\gamma_{M2} =$	1,25

**Material:**

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	=	S 235
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
Schrauben:			
$f_{y,b,k,b} =$	TAB("EC3_de/FK"; $f_{ybk}$ ; FK=FK <sub>b</sub> )/10	=	30,00 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,b,k,b} =$	TAB("EC3_de/FK"; $f_{ubk}$ ; FK=FK <sub>b</sub> )/10	=	50,00 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{y,b,k,c} =$	TAB("EC3_de/FK"; $f_{ybk}$ ; FK=FK <sub>c</sub> )/10	=	30,00 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,b,k,c} =$	TAB("EC3_de/FK"; $f_{ubk}$ ; FK=FK <sub>c</sub> )/10	=	50,00 kN/cm <sup>2</sup>

**Querschnittswerte:**

Träger:			
Stegdicke $t_{w,b} =$	TAB("EC3_de/Typ1; tw; ID=ID1;)	=	12,50 mm
Querschnittsfläche $A_b =$	TAB("EC3_de/Typ1; A; ID=ID1;)	=	181,00 cm <sup>2</sup>

Stütze:			
Flanschdicke $t_{f,c} =$	TAB("EC3_de/Typ2; tf; ID=ID2;)	=	24,00 mm
Zwei gleichschenklige Winkel:			
$h_L =$	TAB("EC3_de/WG"; h; ID=TypL)	=	100,00 mm
$t_L =$	TAB("EC3_de/WG"; t; ID=TypL)	=	12,00 mm

## Schrauben (Träger):

Kategorie A: Scher-Lochleibungs (SL-) Verbindung

Gewinde in Fuge (0 nein, 1 ja)  $ref_b =$  0Schaftdurchmesser  $d_b =$  TAB("EC3\_de/Schra";d;SG=Schr<sub>b</sub>) = 20,00 mmLochdurchmesser  $d_{0,b} = d_b + \Delta d_b$  = 21,00 mmSchraubenbildhöhe  $h_{SB,b} = (n_b - 1) * p_b$  = 170,00 mm

$$\frac{h_{SB,b} + 2 * e_{v,b}}{l_L} = \underline{1,00 \leq 1}$$

## Schrauben (Stütze):

Kategorie A: Scher-Lochleibungs (SL-) Verbindung

Gewinde in Fuge (0 nein, 1 ja)  $ref_c =$  0Schaftdurchmesser  $d_c =$  TAB("EC3\_de/Schra";d;SG=Schr<sub>c</sub>) = 20,00 mmLochdurchmesser  $d_{0,c} = d_c + \Delta d_c$  = 21,00 mmSchraubenbildhöhe  $h_{SB,c} = (n_c/2 - 1) * p_c$  = 170,00 mm

$$\frac{h_{SB,c} + 2 * e_{v,c}}{l_L} = \underline{1,00 \leq 1}$$



#### Prüfung der Rand- und Lochabstände:

Träger:

kleinste Abstände:

$$1,2 * d_{0,b} / e_{v,b} = \underline{\underline{0,63 < 1}}$$

$$1,2 * d_{0,b} / e_{h,b} = \underline{\underline{0,56 < 1}}$$

$$2,2 * d_{0,b} / p_b = \underline{\underline{0,54 < 1}}$$

größte Abstände:

$$t = \text{MIN}(t_L ; t_{w,b}) = 12,00 \text{ mm}$$

$$e_{\text{max}} = 4 * t + 40 = 88,00 \text{ mm}$$

$$p_{\text{max}} = \text{MIN}(14 * t ; 200) = 168,00 \text{ mm}$$

$$e_{v,b} / e_{\text{max}} = \underline{\underline{0,45 < 1}}$$

$$e_{h,b} / e_{\text{max}} = \underline{\underline{0,51 < 1}}$$

$$p_b / p_{\text{max}} = \underline{\underline{0,51 < 1}}$$

Stütze:

kleinste Abstände:

$$1,2 * d_{0,c} / e_{v,c} = \underline{\underline{0,63 < 1}}$$

$$1,2 * d_{0,c} / e_{h,c} = \underline{\underline{0,56 < 1}}$$

$$2,2 * d_{0,c} / p_c = \underline{\underline{0,27 < 1}}$$

größte Abstände:

$$t = \text{MIN}(t_L ; t_{f,c}) = 12,00 \text{ mm}$$

$$e_{\text{max}} = 4 * t + 40 = 88,00 \text{ mm}$$

$$p_{\text{max}} = \text{MIN}(14 * t ; 200) = 168,00 \text{ mm}$$

$$e_{v,c} / e_{\text{max}} = \underline{\underline{0,45 < 1}}$$

$$e_{h,c} / e_{\text{max}} = \underline{\underline{0,51 < 1}}$$

$$p_c / p_{\text{max}} = \underline{\underline{1,01 < 1}}$$

#### Ermittlung der maximalen Schraubenbeanspruchung (Schrauben am Träger):

Abstand des Schraubenbild-Schwerpunktes zum Stützengurt

$$e_{b,L} = e_{h,b} + \Delta l = 55,00 \text{ mm}$$

Schnittgrößen im Schraubenbild-Schwerpunkt

$$M_{s,b} = V_{Ed} * e_{b,L} / 10 = 1320,00 \text{ kNcm}$$

$$V_{s,b} = V_{Ed} = 240,00 \text{ kN}$$

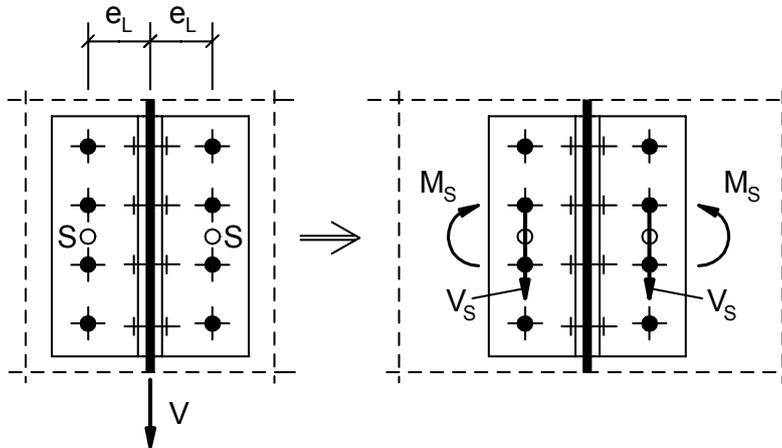
$$I_{p_-} = \left( \frac{n_b + 1}{n_b - 1} * h_{SB,b}^2 \right) * \frac{n_b}{12} * 10^{-2} = 144,50 \text{ cm}^2$$

$$V_{x,i,max,b} = \frac{|M_{s,b}| * h_{SB,b} / 10}{I_{p_-} * 2} = 77,65 \text{ kN}$$

$$V_{z,i,max,b} = \frac{|V_{s,b}|}{n_b} = 80,00 \text{ kN}$$

$$R_{i,max,b} = \sqrt{V_{x,i,max,b}^2 + V_{z,i,max,b}^2} = 111,49 \text{ kN}$$

### Ermittlung der maximalen Schraubenbeanspruchung (Schrauben an der Stütze):



Abstand des Schraubenbild-Schwerpunktes eines Winkels zum Trägersteg

$$e_{c,L} = h_L - e_{h,c} = 55,00 \text{ mm}$$

Schnittgrößen im Schraubenbild-Schwerpunkt (ein Winkel)

$$M_{s,c} = V_{Ed}/2 * e_{c,L}/10 = 660,00 \text{ kNcm}$$

$$V_{s,c} = V_{Ed}/2 = 120,00 \text{ kN}$$

$$f_c = \frac{6 * (n_c/2) - 1}{(n_c/2) * (n_c/2) + 1} = 1,0000$$

$$I_{p-} = \frac{(h_{SB,c} / 10)^2}{2 * f_c} = 144,50 \text{ cm}^4$$

$$V_{x,i,max,c} = \frac{|M_{s,c}| * h_{SB,c} / 10}{I_{p-} * 2} = 38,82 \text{ kN}$$

$$V_{z,i,max,c} = \frac{|V_{s,c}|}{n_c/2} = 60,00 \text{ kN}$$

$$R_{i,max,c} = \sqrt{V_{x,i,max,c}^2 + V_{z,i,max,c}^2} = 71,46 \text{ kN}$$

### Abscherbeanspruchbarkeit (Schrauben am Träger):



Software zur Dokumentation und Berechnung

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

**Nachweis Abscherbeanspruchbarkeit**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \underline{\underline{0,95 < 1}}$$



### Lochleibungsbeanspruchbarkeit (Winkelschenkel am Trägersteg):

Die Grenzlochleibungskräfte werden für die Komponenten der Schraubenbeanspruchungen und die darauf bezogenen Rand- und Lochabstände ermittelt.

Grenzlochleibungskraft für die horizontale Komponente  $V_{x,i}$

$$\alpha_b = \text{MIN}\left(\frac{e_{h,b}}{3 \cdot d_{0,b}}; \frac{p_b}{3 \cdot d_{0,b}} - \frac{1}{4}; \frac{f_{u,b,k,b}}{f_{u,k}}; 1,0\right) = 0,71$$

$$k_1 = \text{MIN}\left(2,8 \cdot \frac{e_{h,b}}{d_{0,b}} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_b}{d_{0,b}} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd,x} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot d_b \cdot \text{MIN}(t_L; t_{w,b}) \cdot \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}} \cdot 10^{-2} = 122,69 \text{ kN}$$

Grenzlochleibungskraft für die horizontale Komponente  $V_{z,i}$



### Nachweis Lochleibungsbeanspruchbarkeit

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \underline{\underline{0,51 < 1}}$$

### Lochleibungsbeanspruchbarkeit (Winkelschenkel am Stützensteg):

Je Winkel ist

$$F_{b,Ed} = R_{i,max,c} = 71,46 \text{ kN}$$

### Nachweis Lochleibungsbeanspruchbarkeit

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \underline{\underline{0,66 < 1}}$$

### Lochleibungsbeanspruchbarkeit (Trägersteg):

Abstand zum Rand (horizontal)

$$e = h_L - e_{h,b} - \Delta l = 45,00 \text{ mm}$$

Grenzlochleibungskraft

$$\alpha_b = \text{MIN}\left(\frac{e}{3 \cdot d_{0,b}}; \frac{p_b}{3 \cdot d_{0,b}} - \frac{1}{4}; \frac{f_{u,b,k,b}}{f_{u,k}}; 1,0\right) = 0,71$$

$$k_1 = \text{MIN}\left(2,8 \cdot \frac{e}{d_{0,b}} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_b}{d_{0,b}} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot d_b \cdot \text{MIN}(t_L; t_{w,b}) \cdot \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}} \cdot 10^{-2} = 122,69 \text{ kN}$$

sichere Seite:

$$F_{b,Ed} = R_{i,max,b} = 111,49 \text{ kN}$$

### Nachweis Lochleibungsbeanspruchbarkeit

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \underline{\underline{0,91 < 1}}$$

**Blockversagen der Schraubengruppe - Winkel:**(Annahme: Schraubenzahl  $n_b$  (Träger)  $\geq n_c$  (Stütze))

$$A_{nv} = (h_{SB,b} - (n_b - 0,5) * d_{0,b} + e_{v,b}) * t_L / 100 = 18,90 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = (e_{h,b} - 0,5 * d_{0,b}) * t_L / 100 = 4,14 \text{ cm}^2$$

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 * A_{nt} * \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}} + A_{nv} * \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 316,05 \text{ kN}$$

**Nachweis Beanspruchung Blockversagen:**

$$\frac{|V_{Ed}| / 2}{V_{eff,2,Rd}} = \underline{\underline{0,38 < 1}}$$

**Blockversagen der Schraubengruppe - Träger:**

$$A_{nv} = \frac{A_b}{2} + \frac{h_{SB,b}}{200} * t_{w,b} - \frac{(n_b - 0,5)}{100} * d_{0,b} * t_{w,b} = 94,56 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = (e_{h,b} - 0,5 * d_{0,b}) * t_{w,b} / 100 = 4,31 \text{ cm}^2$$

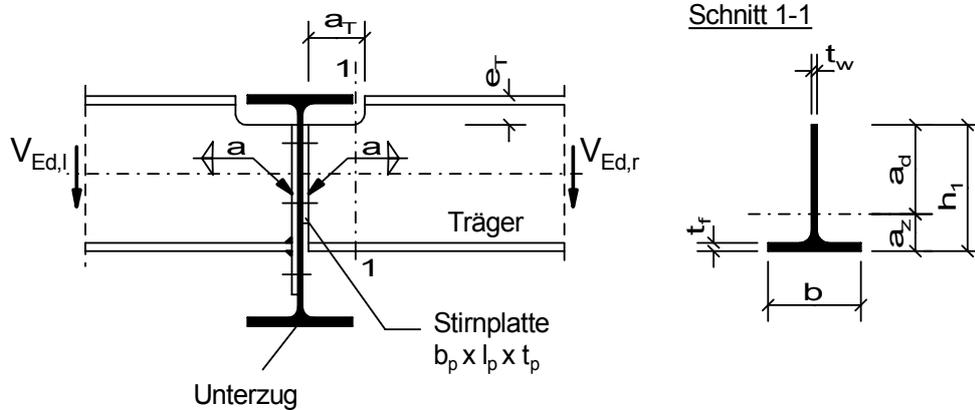
$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 * A_{nt} * \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}} + A_{nv} * \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 1345,03 \text{ kN}$$

**Nachweis Beanspruchung Blockversagen:**

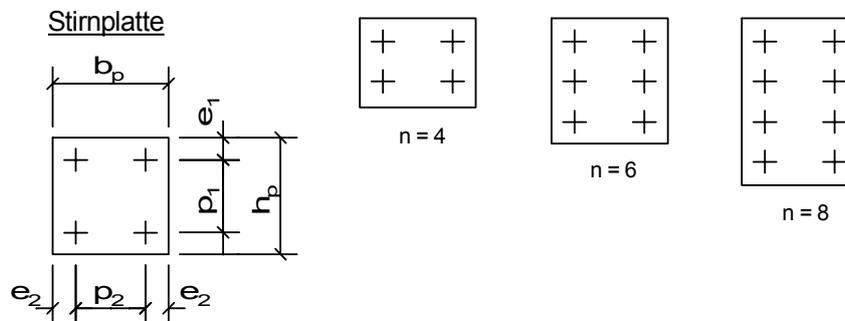
$$\frac{|V_{Ed}|}{V_{eff,2,Rd}} = \underline{\underline{0,18 < 1}}$$

### Beidseitiger Deckenträgeranschluss an Unterzug

Geschraubter Querkraft-Anschlusses zweier Trägerenden mit angeschweißten Stirnplatten an einen Trägersteg.



Anzahl der Schrauben n variabel.



#### Querschnitte / Geometrie:

Schrauben:

Schraubengröße Schr =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 16
Festigkeitsklasse FK =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	4.6
Anzahl der Schrauben (gerade) n =		=	8
Kategorie A: Scher-Lochleibungs (SL-) Verbindung			
Lochspiel $\Delta d$ =		=	1,0 mm
Schraubengewinde liegt <u>nicht</u> in der Scherebene (ref = 0), sonst (ref = 1)		=	0
Gewinde in Fuge ref =		=	0
Schaftdurchmesser d =	TAB("EC3_de/Schra";d;SG=Schr)	=	16,00 mm
Lochdurchmesser $d_0$ =	d + $\Delta d$	=	17,00 mm
Schaftquerschnitt A =	TAB("EC3_de/Schra";A;SG=Schr;)	=	2,01 cm <sup>2</sup>
Spannungsquer. $A_s$ =	TAB("EC3_de/Schra";As;SG=Schr;)	=	1,57 cm <sup>2</sup>

Haupt-Träger (Unterzug):

Träger Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	HEB
Träger-Profil ID1 =	GEW("EC3_de/Typ1; ID; )	=	HEB 700
Stegdicke $t_{w1}$ =	TAB("EC3_de/Typ1; tw; ID=ID1;)	=	17,00 mm

Quer-Träger (Deckenträger):

Träger Typ2 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	IPE
Träger-Profil ID2 =	GEW("EC3_de/Typ2; ID; )	=	IPE 500
Höhe h =	TAB("EC3_de/Typ2; h; ID=ID2;)	=	500,00 mm
Breite b =	TAB("EC3_de/Typ2; b; ID=ID2;)	=	200,00 mm
Stegdicke $t_w$ =	TAB("EC3_de/Typ2; tw; ID=ID2;)	=	10,20 mm
Flanschdicke $t_f$ =	TAB("EC3_de/Typ2; tf; ID=ID2;)	=	16,00 mm

Stirnplatte:

Stirnplattenbreite $b_p$ =	200,00 mm
Höhe $h_p$ =	350,00 mm
Dicke $t_p$ =	10,00 mm



Lochabstände:	
Vertikal $p_1 =$	90,00 mm
Horizontal $p_2 =$	110,00 mm
Rand vertikal $e_1 =$	40,00 mm

Ausklinkung:	
Länge $a_T =$	145,00 mm
Höhe $e_T =$	70,00 mm

Schweißnähte:	
Kehlnaht $a =$	4,00 mm

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} =$	1,0
$\gamma_{M2} =$	1,25

#### Einwirkungen:

Anschlusskraft $V_{Ed,l} =$	215,00 kN
Anschlusskraft $V_{Ed,r} =$	175,00 kN

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	=	S 235
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
Schrauben:			
$f_{y,b,k} =$	TAB("EC3_de/FK"; $f_{yb}$ ; FK=FK)/10	=	24,00 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,b,k} =$	TAB("EC3_de/FK"; $f_{ub}$ ; FK=FK)/10	=	40,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\beta_w =$	TAB("EC3_de/mat"; $\beta_{w}$ ; ID=Stahl)	=	0,80

#### Prüfung der Rand- und Lochabstände:

$\text{vorh } e_2 = (b_p - p_2) / 2$	=	45,00 mm
kleinste Abstände:		
$1,2 * d_0 / e_1$	=	<u>0,51 &lt; 1</u>
$1,2 * d_0 / e_2$	=	<u>0,45 &lt; 1</u>
$2,2 * d_0 / p_1$	=	<u>0,42 &lt; 1</u>
$2,4 * d_0 / p_2$	=	<u>0,37 &lt; 1</u>
größte Abstände:		
$t = \text{MIN}(t_p ; t_{w1})$	=	10,00 mm
$e_{\text{max}} = 4 * t + 40$	=	80,00 mm
$p_{\text{max}} = \text{MIN}(14 * t ; 200)$	=	140,00 mm
$e_1 / e_{\text{max}}$	=	<u>0,50 &lt; 1</u>
$e_2 / e_{\text{max}}$	=	<u>0,56 &lt; 1</u>
$p_1 / p_{\text{max}}$	=	<u>0,64 &lt; 1</u>
$p_2 / p_{\text{max}}$	=	<u>0,79 &lt; 1</u>

#### Tragfähigkeit der Schrauben:

##### Abscherbeanspruchbarkeit:

Schrauben-Scherebenen $n_s =$		1
$A =$	WENN(ref=0;A;As)	= 2,01 cm <sup>2</sup>
$\alpha_v =$	WENN(ref=0;0,6;TAB("EC3_de/FK"; $\alpha_v$ ;FK=FK;))	= 0,6
$F_{v,Rd} =$	$n_s * \alpha_v * f_{u,b,k} * A / \gamma_{M2}$	= 38,59 kN
$F_{v,Ed} =$	MAX( $V_{Ed,l}$ ; $V_{Ed,r}$ ) / n	= 26,88 kN



#### Lochleibungsbeanspruchbarkeit:

##### Stirnplatte

$$\alpha_b = \text{MIN}\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; 1,0\right) = 0,78$$

$$k_1 = \text{MIN}\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$F_{b,p,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t_p / 100 \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2} = 89,86 \text{ kN}$$

$$F_{b,p,Ed} = \text{MAX}(V_{Ed,l}; V_{Ed,r}) / n = 26,88 \text{ kN}$$

##### Steg des Hauptträgers

$$\alpha_b = \text{MIN}\left(\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; 1,0\right) = 1,00$$

$$k_1 = \text{MIN}\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t_{w1} / 100 \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2} = 195,84 \text{ kN}$$

$$F_{b,Ed} = \frac{V_{Ed,l} + V_{Ed,r}}{n} = 48,75 \text{ kN}$$

#### Nachweise für Abscheren und Lochleibung:

$$\text{MAX}\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}; \frac{F_{b,p,Ed}}{F_{b,p,Rd}}; \frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}}\right) = \underline{\underline{0,70 < 1}}$$

#### Tragfähigkeit der Stirnplatte:



#### Beanspruchbarkeit der Schweißnaht:

$$A_w = 2 \cdot a \cdot (h_p - 2 \cdot a) / 100 = 27,36 \text{ cm}^2$$

$$f_{w,Rd} = \frac{f_{u,k}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 36,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{II,Ed} = \text{MAX}(V_{Ed,l}; V_{Ed,r}) / A_w = 7,86 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{3 \cdot (\tau_{II,Ed}^2)} = 13,61 \text{ kN/cm}^2$$

#### Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,38 < 1}}$$

**Tragfähigkeit des Trägersteges:**

$$A_{bp} = h_p \cdot t_w / 100 = 35,70 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot A_{bp} = 484,37 \text{ kN}$$

$$V = \text{MAX}(V_{Ed,l}; V_{Ed,r}) = 215,00 \text{ kN}$$

**Nachweis Querkraftbeanspruchung:**

$$\frac{|V|}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,44 < 1}}$$

**Beanspruchbarkeit des geschwächten Trägerquerschnitts:**

$$h_1 = h - e_T = 430,00 \text{ mm}$$

$$A_{n1} = ((h_1 - t_f) \cdot t_w + b \cdot t_f) / 100 = 74,23 \text{ cm}^2$$

$$a_d = \frac{t_w \cdot \frac{(h_1 - t_f)^2}{2} + t_f \cdot b \cdot \left(h_1 - \frac{t_f}{2}\right)}{A_{n1} \cdot 100} = 299,68 \text{ mm}$$

$$a_z = h_1 - a_d = 130,32 \text{ mm}$$

$$I_{y1} = \left( t_w \cdot \frac{(h_1 - t_f)^3}{12} + t_w \cdot (h_1 - t_f) \cdot \left( a_d - \frac{(h_1 - t_f)}{2} \right)^2 \right) \cdot 10^{-4} = 9658,63 \text{ cm}^4$$

$$I_{y2} = \left( \frac{b \cdot t_f^3}{12} + b \cdot t_f \cdot \left( a_z - \frac{t_f}{2} \right)^2 \right) \cdot 10^{-4} = 4794,73 \text{ cm}^4$$

$$I_y = I_{y1} + I_{y2} = 14453,36 \text{ cm}^4$$

$$S_y = t_w \cdot \frac{a_d}{2} \cdot 10^{-3} = 458,02 \text{ cm}^3$$

$$W_{\text{eff,min}} = \frac{I_y}{a_d / 10} = 482,29 \text{ cm}^3$$

$$V_{c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot A_{n1} = 1007,13 \text{ kN}$$

$$M_{y,c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \cdot W_{\text{eff,min}} = 11333,82 \text{ kNcm}$$

$$M_1 = \text{MAX}(V_{Ed,l}; V_{Ed,r}) \cdot (a_T + t_p) / 10 = 3332,50 \text{ kNcm}$$

$$V_1 = \text{MAX}(V_{Ed,l}; V_{Ed,r}) \cdot \frac{S_y}{I_y \cdot t_w / 10} \cdot A_{n1} = 495,83 \text{ kN}$$

**Nachweis Querkraftbeanspruchung:**

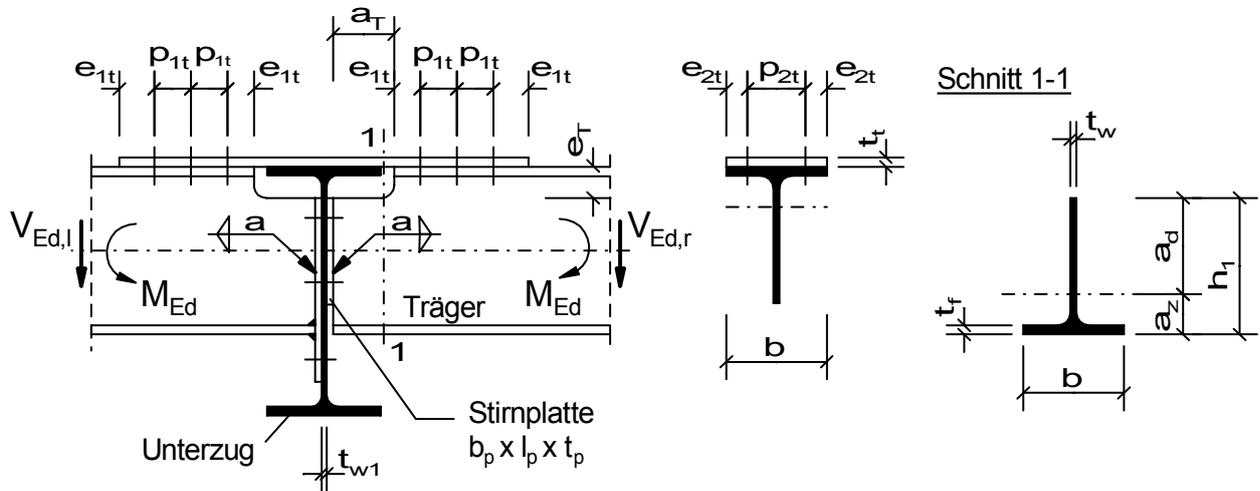
$$\frac{|V_1|}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,49 < 1}}$$

**Nachweis Biegebeanspruchung:**

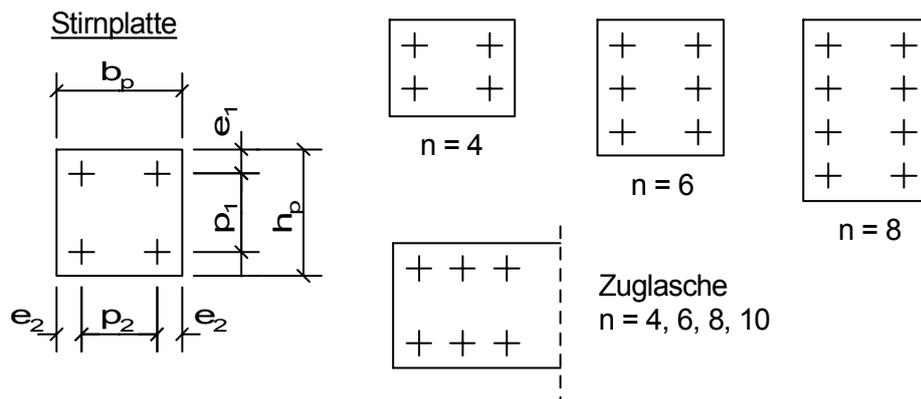
$$\frac{M_1}{M_{y,c,Rd}} = \underline{\underline{0,29 < 1}}$$

### Biegesteifer Deckenträgeranschluss

Geschraubter Anschluss zweier Trägerenden mit angeschweißten Stirnplatten an einen Trägersteg mit zusätzlicher Zuglasche zur Übertragung von Querkräften und Momenten.



Anzahl der Schrauben n variabel.



### Querschnitte / Geometrie:

Schrauben:			
Festigkeitsklasse FK =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	5.6
Kategorie A: Scher-Lochleibungs (SL-) Verbindung			
Lochspiel Δd =			1,0 mm
Schrauben Stirnplatte:			
Schraubengröße Schr =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 16
Anzahl der Schrauben (gerade) n =			8
Schraubengewinde liegt <u>nicht</u> in der Scherebene (ref = 0), sonst (ref = 1)			
Gewinde in Fuge ref =			0
Schaftdurchmesser d =	TAB("EC3_de/Schra";d;SG=Schr)	=	16,00 mm
Lochdurchmesser d <sub>0</sub> =	d + Δd	=	17,00 mm
Schaftquerschnitt A =	TAB("EC3_de/Schra";A;SG=Schr;)	=	2,01 cm <sup>2</sup>
Spannungsquer. A <sub>s</sub> =	TAB("EC3_de/Schra";As;SG=Schr;)	=	1,57 cm <sup>2</sup>
Schrauben Zuglasche:			
Schraubengröße Schr <sub>t</sub> =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 24
Anzahl der Schrauben (gerade) n <sub>t</sub> =			6



# Stahlbau nach EN 1993

## Kapitel Schraubverbindungen

**DIN**  
EN 1993

Seite: 105

Schraubengewinde liegt nicht in der Scherebene ( $ref_t = 0$ ), sonst ( $ref_t = 1$ )

Gewinde in Fuge $ref_t =$		=	0
Schaftdurchmesser $d_t =$	TAB("EC3_de/Schra";d;SG=Schr <sub>t</sub> )	=	24,00 mm
Lochdurchmesser $d_{0t} =$	$d_t + \Delta d$	=	25,00 mm
Schaftquerschnitt $A_t =$	TAB("EC3_de/Schra";A;SG=Schr <sub>t</sub> ;) )	=	4,52 cm <sup>2</sup>
Spannungsquer. $A_{st} =$	TAB("EC3_de/Schra";As;SG=Schr <sub>t</sub> ;) )	=	3,53 cm <sup>2</sup>

Haupt-Träger (Unterzug):

Träger Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	HEB
Träger-Profil ID1 =	GEW("EC3_de/"Typ1; ID; )	=	HEB 700
Stegdicke $t_{w1} =$	TAB("EC3_de/"Typ1; tw; ID=ID1;)	=	17,00 mm

Quer-Träger (Deckenträger):

Träger Typ2 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	IPE
Träger-Profil ID2 =	GEW("EC3_de/"Typ2; ID; )	=	IPE 500
Höhe $h =$	TAB("EC3_de/"Typ2; h; ID=ID2;)	=	500,00 mm
Breite $b =$	TAB("EC3_de/"Typ2; b; ID=ID2;)	=	200,00 mm
Stegdicke $t_w =$	TAB("EC3_de/"Typ2; tw; ID=ID2;)	=	10,20 mm
Flanschdicke $t_f =$	TAB("EC3_de/"Typ2; tf; ID=ID2;)	=	16,00 mm



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} =$		=	1,0
$\gamma_{M2} =$		=	1,25

### Einwirkungen:

Anschlusskraft $V_{Ed,l} =$		=	215,00 kN
Anschlusskraft $V_{Ed,r} =$		=	175,00 kN
Biegemoment $M_{Ed} =$		=	285,00 kNm

### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	=	S 235
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
Schrauben:			
$f_{y,b,k} =$	TAB("EC3_de/FK"; $f_{yb}$ ; FK=FK)/10	=	30,00 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,b,k} =$	TAB("EC3_de/FK"; $f_{ub}$ ; FK=FK)/10	=	50,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\beta_w =$	TAB("EC3_de/mat"; $\beta_{w}$ ; ID=Stahl)	=	0,80



### Prüfung der Rand- und Lochabstände:

#### Stirnplatte:

$$\text{vorh } e_2 = \frac{b_p - p_2}{2} = 45,00 \text{ mm}$$

#### kleinste Abstände:

$$1,2 * d_0 / e_1 = \underline{0,41 < 1}$$

$$1,2 * d_0 / e_2 = \underline{0,45 < 1}$$

$$2,2 * d_0 / p_1 = \underline{0,37 < 1}$$

$$2,4 * d_0 / p_2 = \underline{0,37 < 1}$$

#### größte Abstände:

$$t = \text{MIN}(t_p; t_{w1}) = 10,00 \text{ mm}$$

$$e_{\text{max}} = 4 * t + 40 = 80,00 \text{ mm}$$

$$p_{\text{max}} = \text{MIN}(14 * t; 200) = 140,00 \text{ mm}$$

$$e_1 / e_{\text{max}} = \underline{0,63 < 1}$$

$$e_2 / e_{\text{max}} = \underline{0,56 < 1}$$

$$p_1 / p_{\text{max}} = \underline{0,71 < 1}$$

$$p_2 / p_{\text{max}} = \underline{0,79 < 1}$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

### Tragfähigkeit der Schrauben:

#### Abscherbeanspruchbarkeit:

$$\text{Schrauben-Scherebenen } n_s = 1$$

$$A = \text{WENN}(\text{ref}=0; A; A_s) = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$\alpha_v = \text{WENN}(\text{ref}=0; 0,6; \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"}; \alpha_v; \text{FK}=\text{FK};)) = 0,6$$

$$F_{v,Rd} = n_s * \alpha_v * f_{u,b,k} * \frac{A}{\gamma_{M2}} = 48,24 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \text{MAX}(V_{Ed,i}; V_{Ed,r}) / n = 26,88 \text{ kN}$$

#### Lochleibungsbeanspruchbarkeit:

##### Stirnplatte

$$\alpha_b = \text{MIN}\left(\frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; 1,0\right) = 0,98$$

$$k_1 = \text{MIN}\left(2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 * \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$F_{b,p,Rd} = k_1 * \alpha_b * d * t_p / 100 * f_{u,k} / \gamma_{M2} = 112,90 \text{ kN}$$

$$F_{b,p,Ed} = \text{MAX}(V_{Ed,i}; V_{Ed,r}) / n = 26,88 \text{ kN}$$



Steg des Hauptträgers

$$\alpha_b = \text{MIN}\left(\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; 1,0\right) = 1,00$$

$$k_1 = \text{MIN}\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t_{w1} / 100 \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2} = 195,84 \text{ kN}$$

$$F_{b,Ed} = \frac{V_{Ed,l} + V_{Ed,r}}{n} = 48,75 \text{ kN}$$

**Nachweise für Abscheren und Lochleibung:**

$$\text{MAX}\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}; \frac{F_{b,p,Ed}}{F_{b,p,Rd}}; \frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}}\right) = \underline{\underline{0,56 < 1}}$$

**Tragfähigkeit der Stirnplatte:**



**Beanspruchbarkeit der Schweißnaht:**

(Naht rundum geführt)

$$A_w = 2 \cdot a \cdot (h - e_T - t_f) / 100 = 33,12 \text{ cm}^2$$

$$f_{w,Rd} = \frac{f_{u,k}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 36,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{II,Ed} = \text{MAX}(V_{Ed,l}; V_{Ed,r}) / A_w = 6,49 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{3 \cdot (\tau_{II,Ed}^2)} = 11,24 \text{ kN/cm}^2$$

**Nachweis der Schweißnaht:**

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,31 < 1}}$$

**Tragfähigkeit des Trägersteges:**

$$A_{bp} = (h - e_T - t_f) \cdot t_w / 100 = 42,23 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot A_{bp} = 572,97 \text{ kN}$$

$$V = \text{MAX}(V_{Ed,l}; V_{Ed,r}) = 215,00 \text{ kN}$$

**Nachweis Querkraftbeanspruchung:**

$$\frac{|V|}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,38 < 1}}$$



#### Beanspruchbarkeit des geschwächten Trägerquerschnitts:

$$\begin{aligned}h_1 &= h - e_T &= & 430,00 \text{ mm} \\A_{n1} &= ((h_1 - t_f) * t_w + b * t_f) / 100 &= & 74,23 \text{ cm}^2 \\a_d &= \frac{t_w * \frac{(h_1 - t_f)^2}{2} + t_f * b * \left(h_1 - \frac{t_f}{2}\right)}{A_{n1} * 100} &= & 299,68 \text{ mm} \\a_z &= h_1 - a_d &= & 130,32 \text{ mm}\end{aligned}$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

$$\begin{aligned}M_{y,c,Rd} &= \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} * W_{\text{eff,min}} &= & 11333,82 \text{ kNcm} \\M_1 &= \text{MAX}(V_{\text{Ed,l}}, V_{\text{Ed,r}}) * (a_T + t_p) / 10 &= & 3332,50 \text{ kNcm} \\V_1 &= \text{MAX}(V_{\text{Ed,l}}, V_{\text{Ed,r}}) * \frac{S_y}{I_y * t_w / 10} * A_{n1} &= & 495,83 \text{ kN}\end{aligned}$$

#### Nachweis Querkraftbeanspruchung:

$$\frac{|V_1|}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,49 < 1}}$$

#### Nachweis Biegebeanspruchung:

$$\frac{M_1}{M_{y,c,Rd}} = \underline{\underline{0,29 < 1}}$$

#### Tragfähigkeit der Zuglasche:

$$\begin{aligned}A_{t,\text{brut}} &= b * t_t / 100 &= & 36,00 \text{ cm}^2 \\A_{t,\text{net}} &= (b - 2 * d_{0t}) * t_t / 100 &= & 27,00 \text{ cm}^2 \\N_{\text{pl,Rd}} &= \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} * A_{t,\text{brut}} &= & 846,00 \text{ kN} \\N_{\text{u,Rd}} &= 0,9 * A_{t,\text{net}} * \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}} &= & 699,84 \text{ kN}\end{aligned}$$

Zugbeanspruchbarkeit des Querschnitts mit Löchern

$$\begin{aligned}N_{t,Rd} &= \text{MIN}(N_{\text{pl,Rd}}, N_{\text{u,Rd}}) &= & 699,84 \text{ kN} \\N_t &= \frac{M_{\text{Ed}}}{\frac{t_f}{2} + \frac{t_t}{2}} * 1000 &= & 568,86 \text{ kN}\end{aligned}$$

#### Nachweis Zugbeanspruchung der Zuglasche

$$\frac{|N_t|}{N_{t,Rd}} = \underline{\underline{0,81 < 1}}$$



#### Anschluss der Zuglasche:

##### Abscherbeanspruchbarkeit:

$$\begin{aligned} \text{Schrauben-Scherebenen } n_s &= 1 \\ A &= \text{WENN}(\text{ref}_t=0; A_t; A_s) &= 4,52 \text{ cm}^2 \\ \alpha_v &= \text{WENN}(\text{ref}_t=0; 0,6; \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"}; \alpha_v; \text{FK}=\text{FK};)) &= 0,6 \\ F_{v,Rd} &= n_s * \alpha_v * f_{u,b,k} * A / \gamma_{M2} &= 108,48 \text{ kN} \\ F_{v,Ed} &= N_t / n_t &= 94,81 \text{ kN} \end{aligned}$$

##### Nachweis Abscheren:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \underline{\underline{0,87 < 1}}$$

##### Lochleibungsbeanspruchbarkeit:

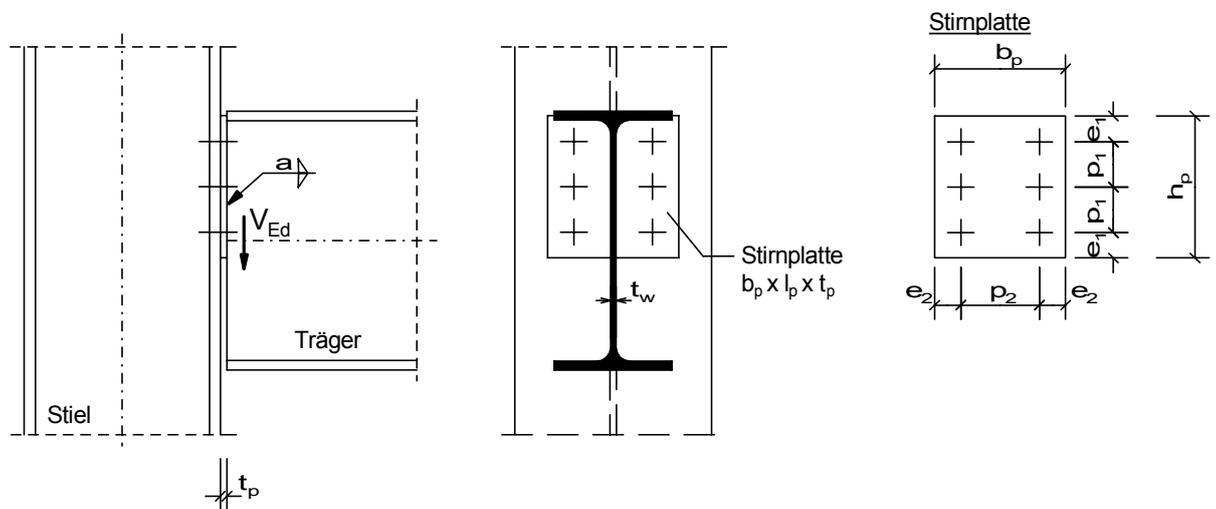
$$\begin{aligned} \alpha_b &= \text{MIN}\left(\frac{e_{1t}}{3 * d_{0t}}; \frac{p_{1t}}{3 * d_{0t}} - \frac{1}{4}; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; 1,0\right) &= 0,67 \\ k_1 &= \text{MIN}\left(2,8 * \frac{e_{2t}}{d_{0t}} - 1,7; 1,4 * \frac{p_{2t}}{d_{0t}} - 1,7; 2,5\right) &= 2,5 \\ F_{b,Rd} &= k_1 * \alpha_b * d_t * \text{MIN}(t_f; t_t) / 100 * f_{u,k} / \gamma_{M2} &= 185,24 \text{ kN} \\ F_{b,Ed} &= N_t / n_t &= 94,81 \text{ kN} \end{aligned}$$

##### Nachweis Lochleibung:

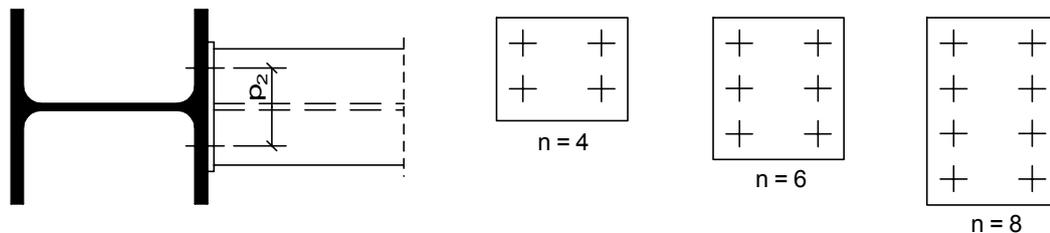
$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \underline{\underline{0,51 < 1}}$$

### Stirnplattenanschluss an Stütze

Geschraubter Querkraft-Anschluss eines Trägerendes mit angeschweißter Stirnplatte an eine Stütze.



Anzahl der Schrauben n variabel.



### Querschnitte / Geometrie:

Schrauben:

Schraubengröße Schr =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 20
Festigkeitsklasse FK =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	4.6
Anzahl der Schrauben (gerade) n =		=	6
Kategorie A: Scher-Lochleibungs (SL-) Verbindung			
Lochspiel $\Delta d$ =		=	1,0 mm
Schraubengewinde liegt <u>nicht</u> in der Scherebene (ref = 0), sonst (ref = 1)			
Gewinde in Fuge ref =		=	0
Schaftdurchmesser d =	TAB("EC3_de/Schra";d;SG=Schr)	=	20,00 mm
Lochdurchmesser $d_0$ =	d + $\Delta d$	=	21,00 mm
Schaftquerschnitt A =	TAB("EC3_de/Schra";A;SG=Schr;)	=	3,14 cm <sup>2</sup>
Spannungsquer. $A_s$ =	TAB("EC3_de/Schra";As;SG=Schr;)	=	2,45 cm <sup>2</sup>

Träger:

Träger Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	IPE
Träger-Profil ID1 =	GEW("EC3_de/Typ1; ID; )	=	IPE 400
Stegdicke $t_w$ =	TAB("EC3_de/Typ1; tw; ID=ID1;)	=	8,60 mm

Stütze:

Stütze Typ2 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	HEA
Stützen-Profil ID2 =	GEW("EC3_de/Typ2; ID; )	=	HEA 180
Flanschdicke $t_f$ =	TAB("EC3_de/Typ2; tf; ID=ID2;)	=	9,50 mm

Stirnplatte:

Breite $b_p$ =		=	200,00 mm
Höhe $h_p$ =		=	220,00 mm
Dicke $t_p$ =		=	10,00 mm



# Stahlbau nach EN 1993

## Kapitel Schraubverbindungen

**DIN**  
EN 1993

Seite: 111

Lochabstände:  
 Vertikal  $p_1 =$  70,00 mm  
 Horizontal  $p_2 =$  120,00 mm

Schweißnähte:  
 Kehlnaht  $a =$  4,00 mm

### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} =$  1,0  
 $\gamma_{M2} =$  1,25

### Einwirkungen:

Anschlussquerkraft  $V_{Ed} =$  220,00 kN

### Material:

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID;) = S 235  
 $f_{y,k} =$  TAB("EC3\_de/mat";  $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10 = 23,50 kN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{u,k} =$  TAB("EC3\_de/mat";  $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10 = 36,00 kN/cm<sup>2</sup>  
 Schrauben:  
 $f_{y,b,k} =$  TAB("EC3\_de/FK";  $f_{ybk}$ ; FK=FK)/10 = 24,00 kN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{u,b,k} =$  TAB("EC3\_de/FK";  $f_{ubk}$ ; FK=FK)/10 = 40,00 kN/cm<sup>2</sup>  
 $\beta_w =$  TAB("EC3\_de/mat";  $\beta_{w}$ ; ID=Stahl) = 0,80

### Prüfung der Rand- und Lochabstände:

vord  $e_1 = \left( h_p - \left( \frac{n}{2} - 1 \right) * p_1 \right) / 2 =$  40,00 mm

vord  $e_2 = (b_p - p_2) / 2 =$  40,00 mm

kleinste Abstände:

$1,2 * d_0 / e_1 =$  0,63 < 1

$1,2 * d_0 / e_2 =$  0,63 < 1

$2,2 * d_0 / p_1 =$  0,66 < 1

$2,4 * d_0 / p_2 =$  0,42 < 1

größte Abstände:

$t =$  MIN( $t_p$ ;  $t_f$ ) = 9,50 mm

$e_{max} =$  4 \* t + 40 = 78,00 mm

$p_{max} =$  MIN (14 \* t ; 200) = 133,00 mm

$e_1 / e_{max} =$  0,51 < 1

$e_2 / e_{max} =$  0,51 < 1

$p_1 / p_{max} =$  0,53 < 1

$p_2 / p_{max} =$  0,90 < 1

### Tragfähigkeit der Schrauben:

#### **Abscherbeanspruchbarkeit:**

Schrauben-Scherebenen  $n_s =$  1

$A =$  WENN(ref=0;A;As) = 3,14 cm<sup>2</sup>

$\alpha_v =$  WENN(ref=0;0,6;TAB("EC3\_de/FK"; $\alpha_v$ ;FK=FK;)) = 0,6

$F_{v,Rd} =$   $n_s * \alpha_v * f_{u,b,k} * A / \gamma_{M2}$  = 60,29 kN

$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{n} =$  36,67 kN

**Lochleibungsbeanspruchbarkeit:**

$$\alpha_b = \text{MIN}\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; 1,0\right) = 0,63$$

$$k_1 = \text{MIN}\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot \text{MIN}(t_p; t_f) \cdot \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}} = 8618,40 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot \text{MIN}(t_p; t_f) / 100 \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2} = 86,18 \text{ kN}$$

$$F_{b,Ed} = \frac{V_{Ed}}{n} = 36,67 \text{ kN}$$

**Nachweise für Abscheren und Lochleibung:**

$$\text{MAX}\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}; \frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}}\right) = \underline{\underline{0,61 < 1}}$$

**Tragfähigkeit der Stirnplatte:**



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

**Beanspruchbarkeit der Schweißnaht:**

$$A_w = 2 \cdot a \cdot h_p / 100 = 17,60 \text{ cm}^2$$

$$f_{w,Rd} = \frac{f_{u,k}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 36,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{II,Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = 12,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{3 \cdot (\tau_{II,Ed}^2)} = 21,65 \text{ kN/cm}^2$$

**Nachweis der Schweißnaht:**

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,60 < 1}}$$

**Tragfähigkeit des Trägersteges:**

$$A_{bp} = h_p \cdot t_w / 100 = 18,92 \text{ cm}^2$$

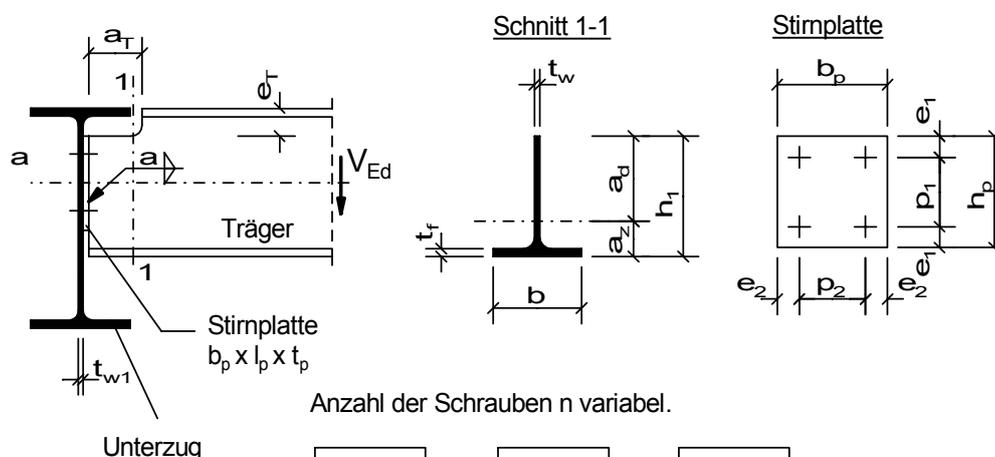
$$V_{c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot A_{bp} = 256,70 \text{ kN}$$

**Nachweis Querkraftbeanspruchung:**

$$\frac{|V_{Ed}|}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,86 < 1}}$$

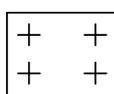
### Stirnplattenanschluss mit Ausklinkung

Geschraubter Querkraft-Anschluss eines Trägerendes mit angeschweißter Stirnplatte an einen Trägersteg.

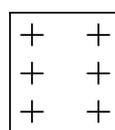


Anzahl der Schrauben n variabel.

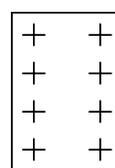
Untersatz



n = 4



n = 6



n = 8

### Querschnitte / Geometrie:

Schrauben:

Schraubengröße Schr =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 16
Festigkeitsklasse FK =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	4.6
Anzahl der Schrauben (gerade) n =		=	4
Kategorie A: Scher-Lochleibungs (SL-) Verbindung			
Lochspiel Δd =		=	2,0 mm
Schraubengewinde liegt <u>nicht</u> in der Scherebene (ref = 0), sonst (ref = 1)		=	0
Schaftdurchmesser d =	TAB("EC3_de/Schra";d;SG=Schr)	=	16,00 mm
Lochdurchmesser d <sub>0</sub> =	d + Δd	=	18,00 mm
Schaftquerschnitt A =	TAB("EC3_de/Schra";A;SG=Schr;)	=	2,01 cm <sup>2</sup>
Spannungsquer. A <sub>s</sub> =	TAB("EC3_de/Schra";As;SG=Schr;)	=	1,57 cm <sup>2</sup>

Haupt-Träger (Untersatz):

Träger Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	IPE
Träger-Profil ID1 =	GEW("EC3_de/Typ1; ID; )	=	IPE 300
Stegdicke t <sub>w1</sub> =	TAB("EC3_de/Typ1; tw; ID=ID1;)	=	7,10 mm

Quer-Träger (Deckenträger):

Träger Typ2 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	IPE
Träger-Profil ID2 =	GEW("EC3_de/Typ2; ID; )	=	IPE 200
Höhe h =	TAB("EC3_de/Typ2; h; ID=ID2;)	=	200,00 mm
Breite b =	TAB("EC3_de/Typ2; b; ID=ID2;)	=	100,00 mm
Stegdicke t <sub>w</sub> =	TAB("EC3_de/Typ2; tw; ID=ID2;)	=	5,60 mm
Flanschdicke t <sub>f</sub> =	TAB("EC3_de/Typ2; tf; ID=ID2;)	=	8,50 mm

Stirnplatte:

Breite b <sub>p</sub> =	120,00 mm
Höhe h <sub>p</sub> =	120,00 mm
Dicke t <sub>p</sub> =	10,00 mm

Lochabstände:

Vertikal p <sub>1</sub> =	50,00 mm
Horizontal p <sub>2</sub> =	60,00 mm



Ausklüftung:  
Länge  $a_T =$  70,00 mm  
Höhe  $e_T =$  30,00 mm

Schweißnähte:  
Kehlnaht  $a =$  3,0 mm

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} =$  1,0  
 $\gamma_{M2} =$  1,25

#### Einwirkungen:

Anschlussquerkraft  $V_{Ed} =$  56,00 kN

#### Material:

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID;) = S 235  
 $f_{y,k} =$  TAB("EC3\_de/mat";  $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10 = 23,50 kN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{u,k} =$  TAB("EC3\_de/mat";  $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10 = 36,00 kN/cm<sup>2</sup>  
Schrauben:  
 $f_{y,b,k} =$  TAB("EC3\_de/FK";  $f_{yb}$ ; FK=FK)/10 = 24,00 kN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{u,b,k} =$  TAB("EC3\_de/FK";  $f_{ub}$ ; FK=FK)/10 = 40,00 kN/cm<sup>2</sup>  
 $\beta_w =$  TAB("EC3\_de/mat";  $\beta_w$ ; ID=Stahl) = 0,80

#### Prüfung der Rand- und Lochabstände:

$$\text{vorh } e_1 = \frac{h_p - \left(\frac{n}{2} - 1\right) \cdot p_1}{2} = 35,00 \text{ mm}$$

$$\text{vorh } e_2 = \frac{b_p - p_2}{2} = 30,00 \text{ mm}$$

kleinste Abstände:

$$1,2 \cdot d_0 / e_1 = \underline{\underline{0,62 < 1}}$$

$$1,2 \cdot d_0 / e_2 = \underline{\underline{0,72 < 1}}$$

$$2,2 \cdot d_0 / p_1 = \underline{\underline{0,79 < 1}}$$

$$2,4 \cdot d_0 / p_2 = \underline{\underline{0,72 < 1}}$$

größte Abstände:

$$t = \text{MIN}(t_p; t_w) = 5,60 \text{ mm}$$

$$e_{\max} = 4 \cdot t + 40 = 62,40 \text{ mm}$$

$$p_{\max} = \text{MIN}(14 \cdot t; 200) = 78,40 \text{ mm}$$

$$e_1 / e_{\max} = \underline{\underline{0,56 < 1}}$$

$$e_2 / e_{\max} = \underline{\underline{0,48 < 1}}$$

$$p_1 / p_{\max} = \underline{\underline{0,64 < 1}}$$

$$p_2 / p_{\max} = \underline{\underline{0,77 < 1}}$$



#### Tragfähigkeit der Schrauben:

##### **Abscherbeanspruchbarkeit:**

$$\begin{aligned} \text{Schrauben-Scherebenen } n_s &= 1 \\ A &= \text{WENN}(\text{ref}=0; A; A_s) = 2,01 \text{ cm}^2 \\ \alpha_v &= \text{WENN}(\text{ref}=0; 0,6; \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"}; \alpha_v; \text{FK}=\text{FK};)) = 0,6 \\ F_{v,Rd} &= n_s * \alpha_v * f_{u,b,k} * \frac{A}{\gamma_{M2}} = 38,59 \text{ kN} \\ F_{v,Ed} &= \frac{V_{Ed}}{n} = 14,00 \text{ kN} \end{aligned}$$

##### **Lochleibungsbeanspruchbarkeit:**

$$\begin{aligned} \alpha_b &= \text{MIN}\left(\frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; 1,0\right) = 0,65 \\ k_1 &= \text{MIN}\left(2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 * \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = 2,5 \\ F_{b,Rd} &= k_1 * \alpha_b * d * \text{MIN}(t_p; t_{w1}) / 100 * \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}} = 53,16 \text{ kN} \\ F_{b,Ed} &= \frac{V_{Ed}}{n} = 14,00 \text{ kN} \end{aligned}$$

##### **Nachweise für Abscheren und Lochleibung:**

$$\text{MAX}\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}; \frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}}\right) = \underline{\underline{0,36 < 1}}$$

#### Tragfähigkeit der Stirnplatte:



#### Beanspruchbarkeit der Schweißnaht:

$$\begin{aligned} A_w &= 2 * a * h_p / 100 = 7,20 \text{ cm}^2 \\ f_{w,Rd} &= \frac{f_{u,k}}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 36,00 \text{ kN/cm}^2 \\ \tau_{II,Ed} &= \frac{V_{Ed}}{A_w} = 7,78 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{w,Ed} &= \sqrt{3 * (\tau_{II,Ed}^2)} = 13,48 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

##### **Nachweis der Schweißnaht:**

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,37 < 1}}$$

**Tragfähigkeit des Trägersteiges:**

$$A_{bp} = h_p \cdot t_w / 100 = 6,72 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot A_{bp} = 91,18 \text{ kN}$$

**Nachweis Querkraftbeanspruchung:**

$$\frac{|V_{Ed}|}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,61 < 1}}$$

**Beanspruchbarkeit des geschwächten Trägerquerschnitts:**

$$h_1 = h - e_T = 170,00 \text{ mm}$$

$$A_{n1} = ((h_1 - t_f) \cdot t_w + b \cdot t_f) \cdot 10^{-2} = 17,54 \text{ cm}^2$$

$$a_d = \frac{t_w \cdot \frac{(h_1 - t_f)^2}{2} + t_f \cdot b \cdot \left(h_1 - \frac{t_f}{2}\right)}{A_{n1} \cdot 100} = 121,96 \text{ mm}$$

$$a_z = h_1 - a_d = 48,04 \text{ mm}$$

$$I_{y1} = \left( t_w \cdot \frac{(h_1 - t_f)^3}{12} + t_w \cdot (h_1 - t_f) \cdot \left( a_d - \frac{(h_1 - t_f)}{2} \right)^2 \right) \cdot 10^{-4} = 350,16 \text{ cm}^4$$

$$I_{y2} = \left( \frac{b \cdot t_f^3}{12} + b \cdot t_f \cdot \left( a_z - \frac{t_f}{2} \right)^2 \right) \cdot 10^{-4} = 163,50 \text{ cm}^4$$

$$I_y = I_{y1} + I_{y2} = 513,66 \text{ cm}^4$$

$$S_y = t_w \cdot \frac{a_d^2}{2} \cdot 10^{-3} = 41,65 \text{ cm}^3$$

$$W_{\text{eff,min}} = I_y / (a_d / 10) = 42,12 \text{ cm}^3$$

$$V_{c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot A_{n1} = 237,98 \text{ kN}$$

$$M_{y,c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \cdot W_{\text{eff,min}} = 989,82 \text{ kNcm}$$

$$M_1 = V_{Ed} \cdot (a_T + t_p) / 10 = 448,00 \text{ kNcm}$$

$$V_1 = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w / 10} \cdot A_{n1} = 142,22 \text{ kN}$$

**Nachweis Querkraftbeanspruchung:**

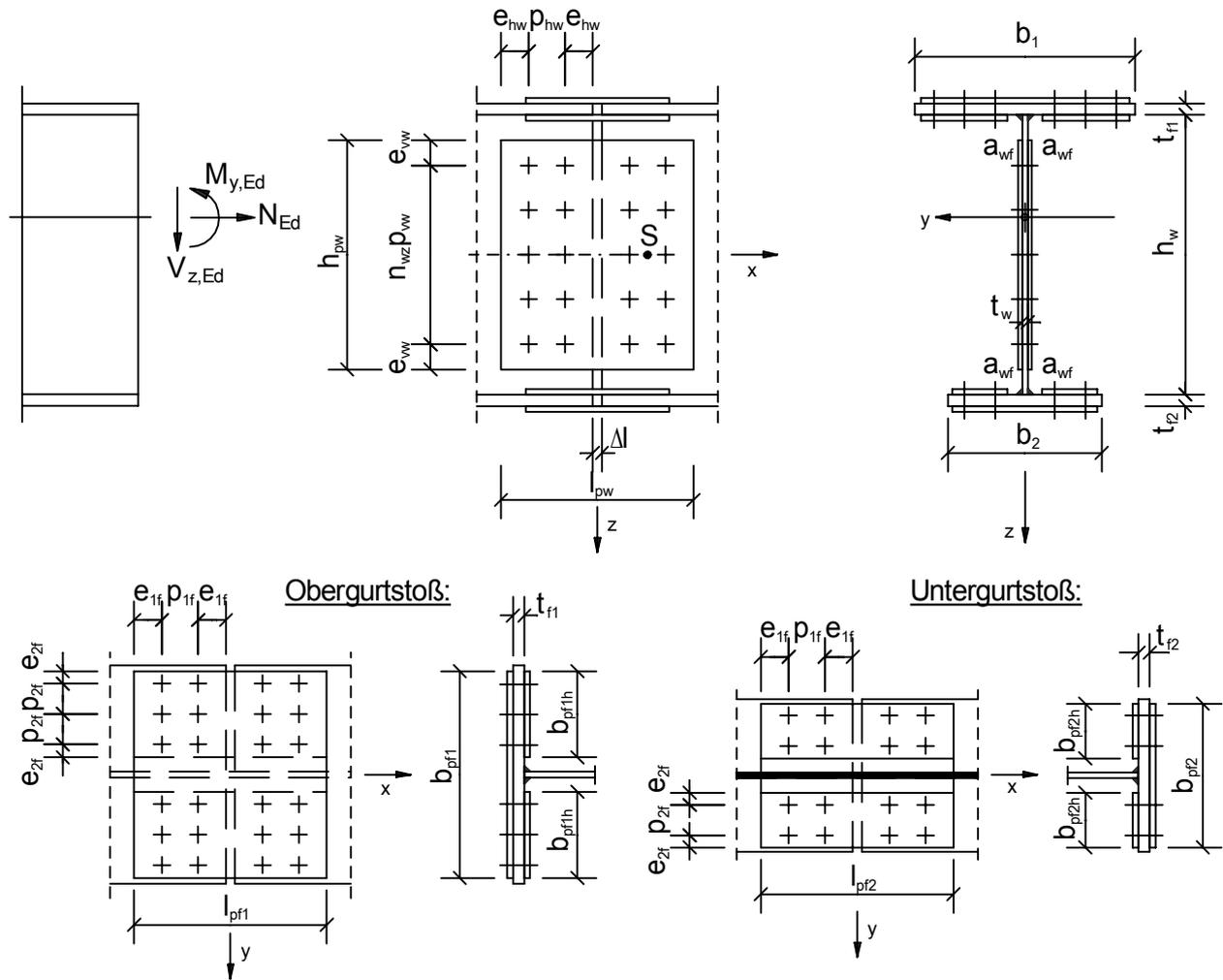
$$\frac{|V_1|}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,60 < 1}}$$

**Nachweis Biegebeanspruchung:**

$$\frac{M_1}{M_{y,c,Rd}} = \underline{\underline{0,45 < 1}}$$

## Biegesteifer Trägerstoß mit Laschen

Biegesteifer Trägerstoß mit beidseitig angeschraubten Laschen an Gurten und Steg.



### Einwirkungen:

Normalkraft $N_{Ed}$ =	-1372,0 kN
Querkraft $V_{Ed}$ =	870,0 kN
Moment $M_{Ed}$ =	308000,0 kNcm

### Querschnitte / Geometrie:

Träger:	
Obergurtbreite $b_1$ =	600,0 mm
Flanschdicke $t_{f1}$ =	20,0 mm
Steg $h_w$ =	1206,0 mm
Stegdicke $t_w$ =	10,0 mm
Untergurtbreite $b_2$ =	400,0 mm
Flanschdicke $t_{f2}$ =	24,0 mm
Schweißnaht $a_{wf}$ =	4,0 mm
Obergurtlaschen:	
Obergurtlaschenbreite $b_{pf1}$ =	570,0 mm
Breite (innen) $b_{pf1h}$ =	260,0 mm
$(2 \cdot b_{pf1h} + t_w + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_{wf}) / b_{pf1}$ =	<b>0,95 &lt; 1</b>
Länge $l_{pf1}$ =	300,0 mm
Dicke $t_{pf1}$ =	12,0 mm



Steglaschen:

Steglaschenhöhe $h_{pw}$ =	1140,0 mm
$h_{pw}/(h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_{wf})$ =	<u>0,95 &lt; 1</u>
Länge $l_{pw}$ =	450,0 mm
Dicke $t_{pw}$ =	8,0 mm

Untergurtlaschen:

Untergurtlaschenbreite $b_{pf2}$ =	370,0 mm
Breite (innen) $b_{pf2h}$ =	160,0 mm
$(2 \cdot b_{pf2h} + t_w + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_{wf})/b_{pf2}$ =	<u>0,92 &lt; 1</u>
Länge $l_{pf2}$ =	300,0 mm
Dicke $t_{pf2}$ =	12,0 mm

Schrauben:

Schraubengröße Schr =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 20
Festigkeitsklasse FK =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	8.8
Kategorie A: SL-Verbindung			
Nennlochspiel $\Delta d$ =	TAB("EC3_de/Schra"; $\Delta d$ ; SG=Schr;)	=	2,0 mm
- Obergurt-Schrauben:			
Obergurt (quer, gerade) $n_{f1y}$ =			6
Obergurt (längs, gerade) $n_{f1x}$ =			4
- Steg-Schrauben:			
Steg-Schrauben (hoch, gerade) $n_{wz}$ =			10
Steg-Schrauben (längs, gerade) $n_{wx}$ =			4
- Untergurt-Schrauben:			
Untergurt (quer, gerade) $n_{f2y}$ =			4
Untergurt (längs, gerade) $n_{f2x}$ =			4



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

- Steg-Schrauben:

(Abstände so gewählt, dass Lochleibungsbeiwert  $\alpha_b = 1,0$ )

$t$ =	$\text{MIN}(t_{pw}; t_w)$	=	8,0 mm
$p_{1w,max}$ =	$14 \cdot t$	=	112,0 mm
$p_{1w,min}$ =	$(1 + 0,25) \cdot 3 \cdot d_0$	=	82,5 mm
$e_{1w,min}$ =	$3 \cdot d_0$	=	66,0 mm
Steg (vertikal) $p_{vw}$ =	112,0 mm		
Steg (horizontal) $p_{hw}$ =	85,0 mm		
Rand vertikal $e_{vw}$ =	66,0 mm		
Rand horizontal $e_{hw}$ =	69,0 mm		
Spielraum $\Delta l$ =	2,0 mm		

**Teilsicherheitsbeiwerte:**

$\gamma_{M0} =$	1,0
$\gamma_{M2} =$	1,25

**Material:**

Träger:			
Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	=	S 275
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	27,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	43,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\beta_w =$	TAB("EC3_de/mat"; $\beta_{w}$ ; ID=Stahl)	=	0,85
Laschen:			
Stahl <sub>p</sub> =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	=	S 275
$f_{y,k,p} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl <sub>p</sub> )/10	=	27,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k,p} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl <sub>p</sub> )/10	=	43,00 kN/cm <sup>2</sup>
Schrauben:			
$f_{y,b,k} =$	TAB("EC3_de/FK"; $f_{yb,k}$ ; FK=FK)/10	=	64,00 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,b,k} =$	TAB("EC3_de/FK"; $f_{ub,k}$ ; FK=FK)/10	=	80,00 kN/cm <sup>2</sup>

**Prüfung der Rand- und Lochabstände:****Steg:**

kleinste Abstände:

$1,2 * d_0 / e_{vw}$	=	<u><math>0,40 \leq 1</math></u>
$1,2 * d_0 / e_{hw}$	=	<u><math>0,38 \leq 1</math></u>
$2,2 * d_0 / p_{vw}$	=	<u><math>0,43 \leq 1</math></u>
$2,4 * d_0 / p_{hw}$	=	<u><math>0,62 \leq 1</math></u>

größte Abstände:

$t =$	$\text{MIN}(t_{pw}; t_w)$	=	8,0 mm
$e_{\max} =$	$4 * t + 40$	=	72,0 mm
$p_{\max} =$	$\text{MIN}(14 * t; 200)$	=	112,0 mm
$e_{vw} / e_{\max}$		=	<u><math>0,92 \leq 1</math></u>
$e_{hw} / e_{\max}$		=	<u><math>0,96 \leq 1</math></u>
$p_{vw} / p_{\max}$		=	<u><math>1,00 \leq 1</math></u>
$p_{hw} / p_{\max}$		=	<u><math>0,76 \leq 1</math></u>



#### Querschnittswerte:

$$d_f = t_{f1}/2 + h_w + t_{f2}/2 = 1228,0 \text{ mm}$$

Flächen:

$$A_{f1} = b_1 * t_{f1} / 100 = 120,0 \text{ cm}^2$$

$$A_w = h_w * t_w / 100 = 120,6 \text{ cm}^2$$

$$A_{f2} = b_2 * t_{f2} / 100 = 96,0 \text{ cm}^2$$

$$A_{tot} = A_{f1} + A_w + A_{f2} = 336,6 \text{ cm}^2$$

$$A_{p1} = (b_{pf1} * t_{pf1} + 2 * b_{pf1h} * t_{pf1}) / 100 = 130,8 \text{ cm}^2$$

$$A_{pw} = 2 * h_{pw} * t_{pw} / 100 = 182,4 \text{ cm}^2$$

$$A_{p2} = (b_{pf2} * t_{pf2} + 2 * b_{pf2h} * t_{pf2}) / 100 = 82,8 \text{ cm}^2$$

Schwerpunkt:

$$z_s = \frac{b_1 * t_{f1} * \left(\frac{-t_{f1}}{2}\right) + h_w * t_w * \frac{h_w}{2} + b_2 * t_{f2} * \left(h_w + \frac{t_{f2}}{2}\right)}{A_{tot} * 100} = 559,9 \text{ mm}$$

Verschiebung des Schwerpunkts

$$e_{zs} = z_s - h_w/2 = -43,1 \text{ mm}$$

Flächenträgheitsmoment:

$$I_{y1} = \left( \frac{b_1 * t_{f1}^3}{12} + b_1 * t_{f1} * \left(-z_s - \frac{t_{f1}}{2}\right)^2 \right) * 10^{-4} = 389783 \text{ cm}^4$$

$$I_{yw} = \left( \frac{t_w * h_w^3}{12} + t_w * h_w * \left(-z_s + \frac{h_w}{2}\right)^2 \right) * 10^{-4} = 148411 \text{ cm}^4$$

$$I_{y2} = \left( \frac{b_2 * t_{f2}^3}{12} + b_2 * t_{f2} * \left(-z_s + h_w + \frac{t_{f2}}{2}\right)^2 \right) * 10^{-4} = 415818 \text{ cm}^4$$

$$I_y = I_{y1} + I_{yw} + I_{y2} = 954012 \text{ cm}^4$$

$$I_w = \frac{t_w * h_w^3}{12} * 10^{-4} = 146171 \text{ cm}^4$$

$$I_{pw} = 2 * \frac{t_{pw} * h_{pw}^3}{12} * 10^{-4} = 197539 \text{ cm}^4$$

Abstand der Außenkanten der Flansche zum Schwerpunkt

$$z_1 = -z_s - t_{f1} = -579,9 \text{ mm}$$

$$z_2 = -z_s + h_w + t_{f2} = 670,1 \text{ mm}$$

#### Aufteilung der Kräfte auf Gurte und Steg:

Obergurt

$$N_{f1} = \left( \frac{N_{Ed}}{A_{tot}} - \frac{M_{Ed}}{I_y} * \left(-z_s - \frac{t_{f1}}{2}\right) \right) / 10 * A_{f1} = -2697,0 \text{ kN}$$

Untergurt

$$N_{f2} = \left( \frac{N_{Ed}}{A_{tot}} + \frac{M_{Ed}}{I_y} * \left(-z_s + h_w + \frac{t_{f2}}{2}\right) \right) / 10 * A_{f2} = 1648,4 \text{ kN}$$

Steg

$$N_w = N_{Ed} - N_{f1} - N_{f2} = -323,4 \text{ kN}$$

$$V_w = V_{Ed} = 870,0 \text{ kN}$$

$$M_w = M_{Ed} * \frac{I_w}{I_y} = 47190,9 \text{ kNcm}$$



#### Stoß des Obergurtes:

Abscherbeanspruchbarkeit:

Schrauben-Scherebenen  $n_s =$

2

$A =$  WENN(ref=0;A;As)

= 3,14 cm<sup>2</sup>

$\alpha_{v,tab} =$  TAB("EC3\_de/FK"; $\alpha_v$ ;FK=FK;)

= 0,6

$\alpha_v =$  WENN(ref=0;0,6; $\alpha_{v,tab}$ )

= 0,6

$F_{v,Rd} = n_s * \alpha_v * f_{u,b,k} * \frac{A}{\gamma_{M2}}$

= 241,15 kN

Lochleibungsbeanspruchbarkeit:

$\alpha_b = \text{MIN}\left(\frac{e_{1f}}{3 * d_0}; \frac{p_{1f}}{3 * d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k,p}}; 1,0\right)$

= 0,66

$k_1 = \text{MIN}\left(2,8 * \frac{e_{2f}}{d_0} - 1,7; 1,4 * \frac{p_{2f}}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$

= 2,5

$F_{b,p,Rd} = k_1 * \alpha_b * d * (2 * t_{pf1}) * f_{u,k,p} / \gamma_{M2} / 100$

= 272,45 kN

$F_{b,f,Rd} = k_1 * \alpha_b * d * t_{f1} * f_{u,k} / \gamma_{M2} / 100$

= 227,04 kN

$F_{b,Rd} = \text{MIN}(F_{b,p,Rd}; F_{b,f,Rd})$

= 227,04 kN

Beanspruchbarkeit

$F_{Rd} = \text{MIN}(F_{v,Rd}; F_{b,Rd})$

= 227,04 kN

**erforderliche Anzahl Schrauben:**

$n_{f1,min} = \frac{|N_{f1}|}{F_{Rd}}$

= 11,88

$\frac{n_{f1,min}}{n_{f1y} * n_{f1x} / 2}$

= 0,99 ≤ 1

Tragsicherheit der Laschen (Obergurt):

$\frac{A_{f1}}{A_{p1}}$

= 0,92 < 1

$A_{p1}$

⇒ Tragsicherheitsnachweis für die Stegglaschen ist nicht erforderlich.



### Stoß des Untergurtes:

Abscherbeanspruchbarkeit:

⇒ wie Obergurt

Lochleibungsbeanspruchbarkeit:

$$\alpha_b = \text{MIN}\left(\frac{e_{1f}}{3 \cdot d_0}; \frac{p_{1f}}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k,p}}; 1,0\right) = 0,66$$

$$k_1 = \text{MIN}\left(2,8 \cdot \frac{e_{2f}}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_{2f}}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$F_{b,p,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot (2 \cdot t_{pf2}) \cdot f_{u,k,p} / \gamma_{M2} / 100 = 272,45 \text{ kN}$$

$$F_{b,f,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t_{f2} \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2} / 100 = 272,45 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \text{MIN}(F_{b,p,Rd}; F_{b,f,Rd}) = 272,45 \text{ kN}$$

Beanspruchbarkeit

$$F_{Rd} = \text{MIN}(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 241,15 \text{ kN}$$

### **erforderliche Anzahl Schrauben:**

$$n_{f2,min} = \frac{|N_{f2}|}{F_{Rd}} = 6,84$$

$$\frac{n_{f2,min}}{n_{f2y} \cdot n_{f2x} / 2} = \underline{\underline{0,85 \leq 1}}$$

Tragsicherheit der Laschen (Untergurt):

$$A_{net,p2} = A_{p2} - n_{f2y} \cdot d_0 \cdot 2 \cdot t_{pf2} / 100 = 61,68 \text{ cm}^2$$

$$N_{pl,p2,Rd} = A_{p2} \cdot f_{y,k,p} / \gamma_{M0} = 2277,00 \text{ kN}$$

$$N_{u,p2,Rd} = 0,9 \cdot A_{net,p2} \cdot f_{u,k,p} / \gamma_{M2} = 1909,61 \text{ kN}$$

Zugbeanspruchbarkeit des Querschnitts mit Löchern

$$N_{t,p2,Rd} = \text{MIN}(N_{pl,p2,Rd}; N_{u,p2,Rd}) = 1909,61 \text{ kN}$$

### **Nachweis Zugbeanspruchung (Untergurtlaschen)**

$$\frac{|N_{f2}|}{N_{t,p2,Rd}} = \underline{\underline{0,86 < 1}}$$



### Stoß des Steges:

Abscherbeanspruchbarkeit:

⇒ wie Obergurt

Lochleibungsbeanspruchbarkeit:

Schraubenabstände so gewählt, dass Lochleibungsbeiwert  $\alpha_b = 1,0$  (⇒ siehe oben)

$$\alpha_b = \text{MIN}\left(\frac{e_{vw}}{3 \cdot d_0}; \frac{p_{vw}}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k,p}}; 1,0\right) = 1,00$$

$$k_1 = \text{MIN}\left(2,8 \cdot \frac{e_{hw}}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_{hw}}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot \text{MIN}(t_w; (2 \cdot t_{pw})) / 100 \cdot \frac{f_{u,k,p}}{\gamma_{M2}} = 172,0 \text{ kN}$$

Beanspruchbarkeit

$$F_{Rd} = \text{MIN}(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 172,0 \text{ kN}$$

### **maximale Schraubenbeanspruchung ( $n_{wh} > 1$ ):**

(regelmäßige und symmetrische Anordnung der Schrauben)

$$e_{x,s} = \frac{(n_{wx}/2 - 1) \cdot p_{hw}}{2} + e_{hw} + \Delta/2 = 112,5 \text{ mm}$$

$$n = n_{wz} \cdot n_{wx} / 2 = 20$$

$$\text{Schraubenbildbreite } b_{SB} = (n_{wx}/2 - 1) \cdot p_{hw} = 85,0 \text{ mm}$$

$$\text{Schraubenbildhöhe } h_{SB} = (n_{wz} - 1) \cdot p_{vw} = 1008,0 \text{ mm}$$

Schnittgrößen im Schwerpunkt des Schraubenbildes

$$M_s = M_w + V_w \cdot e_{x,s} / 10 = 56978,4 \text{ kNcm}$$

$$N_s = N_w = -323,4 \text{ kN}$$

$$V_s = V_w = 870,0 \text{ kN}$$

$$I_{p-} = \left( \frac{n_{wz} + 1}{n_{wz} - 1} \cdot h_{SB}^2 + \frac{n_{wx}/2 + 1}{n_{wx}/2 - 1} \cdot b_{SB}^2 \right) \cdot \frac{n}{12} \cdot \frac{1}{100} = 21059 \text{ cm}^2$$

$$V_{x,i,max} = \frac{|N_s|}{n} + \frac{|M_s|}{I_{p-}} \cdot \frac{h_{SB}}{2} = 152,5 \text{ kN}$$

$$V_{z,i,max} = \frac{|V_s|}{n} + \frac{|M_s|}{I_{p-}} \cdot \frac{b_{SB}}{2} = 55,0 \text{ kN}$$

maximale Schraubenkraft

$$R_{i,max} = \sqrt{V_{x,i,max}^2 + V_{z,i,max}^2} = 162,1 \text{ kN}$$

### **Nachweis Stegschrauben**

$$\frac{|R_{i,max}|}{F_{b,Rd}} = \underline{\underline{0,94 < 1}}$$

Tragsicherheit der Laschen (Steg):

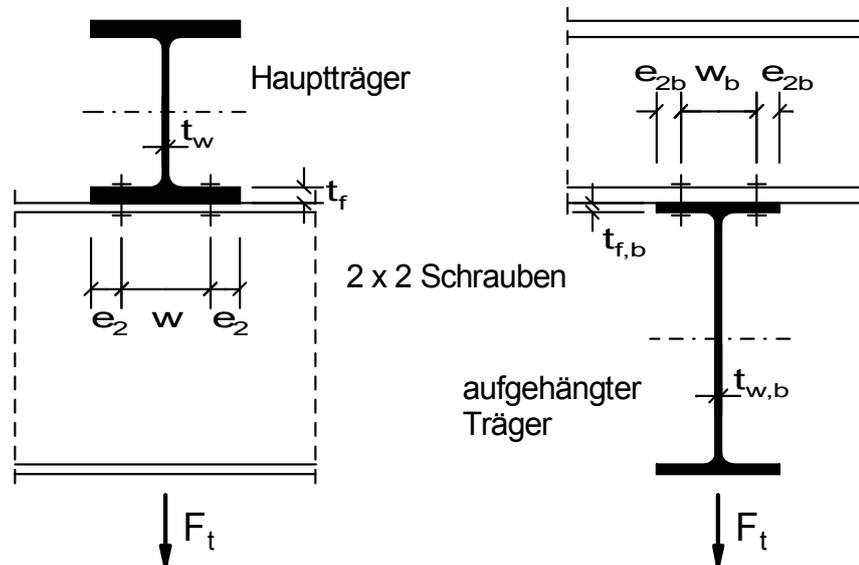
$$\frac{A_w}{A_{pw}} = \underline{\underline{0,66 < 1}}$$

$$\frac{I_w}{I_{pw}} = \underline{\underline{0,74 < 1}}$$

⇒ Tragsicherheitsnachweis für die Steglaschen ist nicht erforderlich.

### Aufgehängter Träger

Schraubenverbindung der Kategorie A: SL-Verbindung



#### System / Geometrie:

Hauptträger:			
Hauptträger Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	HEB
Träger-Profil ID1 =	GEW("EC3_de/Typ1; ID; )	=	HEB 300
Breite b =	TAB("EC3_de/Typ1; b; ID=ID1;)	=	300,00 mm
Steg $t_w$ =	TAB("EC3_de/Typ1; tw; ID=ID1;)	=	11,00 mm
Flansch $t_f$ =	TAB("EC3_de/Typ1; tf; ID=ID1;)	=	19,00 mm
Radius r =	TAB("EC3_de/Typ1; r; ID=ID1;)	=	27,00 mm
aufgehängter Träger:			
Hängeträger Typ2 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	IPE
Träger-Profil ID2 =	GEW("EC3_de/Typ2; ID; )	=	IPE 400
Breite $b_b$ =	TAB("EC3_de/Typ2; b; ID=ID2;)	=	180,00 mm
Steg $t_{w,b}$ =	TAB("EC3_de/Typ2; tw; ID=ID2;)	=	8,60 mm
Flansch $t_{f,b}$ =	TAB("EC3_de/Typ2; tf; ID=ID2;)	=	13,50 mm
Radius $r_b$ =	TAB("EC3_de/Typ2; r; ID=ID2;)	=	21,00 mm
Schrauben:			
Schraubengröße Schr =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 24
Festigkeitsklasse FK =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	10.9
Schraubenzahl (gerade) n =		=	4
Kategorie A: SL-Verbindung			
Lochspiel $\Delta d$ =		=	1,0 mm
Schaftdurchmesser d =	TAB("EC3_de/Schra"; d; SG=Schr)	=	24,00 mm
Lochdurchmesser $d_0$ =	d + $\Delta d$	=	25,00 mm
Spannungsquer. $A_s$ =	TAB("EC3_de/Schra"; As; SG=Schr;)	=	3,53 cm <sup>2</sup>
Schraubenabstände			
Hauptträger quer w =		=	135,00 mm
$e_2$ =	$(b - w) / 2$	=	82,50 mm
Hängeträger quer $w_b$ =		=	114,00 mm
$e_{2b}$ =	$(b_b - w_b) / 2$	=	33,00 mm

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0}$ =	1,0
$\gamma_{M2}$ =	1,25

**Material:**

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{y,k}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{u,k}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
Schrauben:			
$f_{y,b,k}$ =	TAB("EC3_de/FK"; $f_{y,b,k}$ ; FK=FK)/10	=	90,00 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,b,k}$ =	TAB("EC3_de/FK"; $f_{u,b,k}$ ; FK=FK)/10	=	100,00 kN/cm <sup>2</sup>

**Rand- und Lochabstände:**

Schraubenabstände entsprechen den Mindest- bzw. Maximalwerten für die zu verbindenden Profile.

**Einwirkungen:**

$$F_t = 300,00 \text{ kN}$$

**Zugtragfähigkeit der Schraubenverbindung:****Tragfähigkeit der Schrauben auf Durchstanzen:**

$$t_p = \text{MIN}(t_f; t_{f,b}) = 13,50 \text{ mm}$$

⇒ Nachweisführung der Profilteile erfolgt für den äquivalenten T-Stummel des aufgehängten Trägers (mit  $t_{f,b}$ )

$$\text{Eckmaß } e = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/Schra"; } e; \text{SG=Schr;}) = 39,60 \text{ mm}$$

$$\text{Schlüsselweite } s = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/Schra"; } s; \text{SG=Schr;}) = 36,00 \text{ mm}$$

$$d_m = (e + s) / 2 = 37,80 \text{ mm}$$

$$B_{p,Rd} = 0,6 * \pi * d_m * t_p * 10^{-2} * f_{u,k} / \gamma_{M2} = 277,02 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = F_t / n = 75,00 \text{ kN}$$

**Nachweis Durchstanzen:**

$$\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} = \underline{\underline{0,27 < 1}}$$



#### Tragfähigkeit des äquivalenten T-Stummels:

$$e_{2,\min} = e_{2b} = 33,00 \text{ mm}$$

$$m = \frac{w_b - t_{w,b} - 2 * 0,8 * r_b}{2} = 35,90 \text{ mm}$$

$$n_e = \text{MIN}(e_{2,\min}; 1,25 * m) = 33,00 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff}} = 4 * m + 1,25 * e_{2,\min} = 184,85 \text{ mm}$$

$$\text{Da} \\ \frac{w/2 + e_2}{l_{\text{eff}}}$$

$$= \underline{\underline{0,81 < 1}}$$

kann die gesamte überdeckte Breite herangezogen werden:

$$l_{\text{eff}} = b = 300,00 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl},1,\text{Rd}} = \frac{l_{\text{eff}}^2 * t_{f,b} * f_{y,k}}{4 * 1000 * \gamma_{M0}} = 321,22 \text{ kNcm}$$

$$M_{\text{pl},2,\text{Rd}} = M_{\text{pl},1,\text{Rd}} = 321,22 \text{ kNcm}$$

$$d_w = e = 39,60 \text{ mm}$$

$$e_w = d_w/4 = 9,90 \text{ mm}$$

Beanspruchbarkeit des Gurtes:

$$F_{T,1,\text{Rd}} = \frac{(8 * n_e - 2 * e_w) * M_{\text{pl},1,\text{Rd}} * 10}{2 * m * n_e - e_w * (m + n_e)} = 464,90 \text{ kN}$$

bzw.

$$F_{T,1,\text{Rd}} = \frac{4 * M_{\text{pl},1,\text{Rd}} * 10}{m} = 357,91 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,\text{Rd}} = \frac{2 * M_{\text{pl},2,\text{Rd}} * 10 + n_e * n * F_{t,\text{Rd}}}{m + n_e} = 434,07 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,\text{Rd}} = n * F_{t,\text{Rd}} = 711,60 \text{ kN}$$

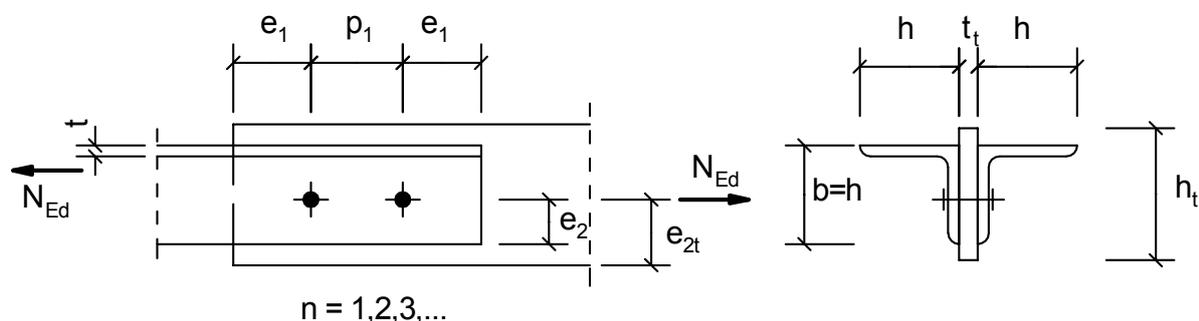
$$F_{T,\text{Rd}} = \text{MIN}(F_{T,1,\text{Rd}}; F_{T,2,\text{Rd}}; F_{T,3,\text{Rd}}) = \underline{\underline{357,91 \text{ kN}}}$$

#### Nachweis Zug T-Stummel

$$\frac{F_t}{F_{T,\text{Rd}}} = \underline{\underline{0,84 < 1}}$$

### Zentrischer Anschluss zweier gleichschenkliger Doppelwinkel

Anschluss eines zweiteiligen Zugstabes an ein Blech. Der Nachweis der Profile erfolgt unter Berücksichtigung der Nettoquerschnittskennwerte.



#### Auswirkungen der Einwirkungen:

Zugkraft  $N_{Ed} = 225,0 \text{ kN}$

#### Querschnitte / Geometrie:

Anschlussblech:  
 Blechdicke  $t_t = 15,00 \text{ mm}$   
 Blechbreite  $h_t = 100,00 \text{ mm}$

Zwei gleichschenklige Winkel:

Winkel WG Typ =	GEW("EC3_de/WG"; ID;)	=	L 70x7
h =	TAB("EC3_de/WG"; h; ID=Typ)	=	70,00 mm
b =	h	=	70,00 mm
t =	TAB("EC3_de/WG"; t; ID=Typ)	=	7,00 mm
$A_{brut} =$	TAB("EC3_de/WG"; A; ID=Typ)	=	9,40 cm <sup>2</sup>

Schrauben:

Schraubengröße Schr =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 20
Festigkeitsklasse FK =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	4.6

Kategorie A: SL-Verbindung

Lochspiel $\Delta d =$		=	1,0 mm
Schraubenzahl (gerade) n =		=	2
Schraubengewinde liegt <u>nicht</u> in der Scherebene (ref = 0), sonst (ref = 1)		=	
Gewinde in Fuge ref =		=	0
Schaftdurchmesser d =	TAB("EC3_de/Schra"; d; SG=Schr)	=	20,00 mm
Lochdurchmesser $d_0 =$	d + $\Delta d$	=	21,00 mm
Schaftquerschnitt A =	TAB("EC3_de/Schra"; A; SG=Schr;)	=	3,14 cm <sup>2</sup>
Spannungsquer. $A_s =$	TAB("EC3_de/Schra"; As; SG=Schr;)	=	2,45 cm <sup>2</sup>

Schraubenabstände:

Randabstand $e_1 =$	50,00 mm
Lochabstand $p_1 =$	85,00 mm
Randabstand $e_2 =$	30,00 mm
(Blech-Randabstand $e_{2t} \geq e_2$ )	

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} =$	1,0
$\gamma_{M2} =$	1,25

**Material:**

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	=	S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{y,k}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,5 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{u,k}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,0 kN/cm <sup>2</sup>
Schrauben:			
$f_{y,b,k}$ =	TAB("EC3_de/FK"; $f_{y,b,k}$ ; FK=FK)/10	=	24,00 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,b,k}$ =	TAB("EC3_de/FK"; $f_{u,b,k}$ ; FK=FK)/10	=	40,00 kN/cm <sup>2</sup>

**Prüfung der Rand- und Lochabstände:****Winkelprofil:**

$A_{net}$ =	$A_{brut} - t * d_0 / 100$	=	7,93 cm <sup>2</sup>
$x$ =	$p_1 / d_0$	=	4,05
Für Anschlüsse mit $n = 2$ Schrauben gilt:			
$\beta_2$ =	$0,4 + (p_1/d_0 - 2,5) * (0,7 - 0,4) / 2,5$	=	0,59
$\beta_2$ =	WENN( $x \leq 2,5$ ; 0,4; WENN( $x \geq 5$ ; 0,7; $\beta_2$ ))	=	0,59
Für Anschlüsse mit $n = 3$ oder mehr Schrauben gilt:			
$\beta_3$ =	$0,5 + (p_1/d_0 - 2,5) * (0,7 - 0,5) / 2,5$	=	0,62
$\beta_3$ =	WENN( $x \leq 2,5$ ; 0,5; WENN( $x \geq 5$ ; 0,7; $\beta_3$ ))	=	0,62
$\beta$ =	WENN( $n=1$ ; 1; WENN( $n=2$ ; $\beta_2$ ; $\beta_3$ ))	=	0,59
$N_{u,Rd}$ =	$\beta * A_{net} * \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}}$	=	134,7 kN
$N_{u,Rd,1}$ =	$2 * \left( e_2 - \frac{d_0}{2} \right) * \frac{t}{100} * \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}}$	=	78,6 kN
$N_{u,Rd}$ =	WENN( $n=1$ ; $N_{u,Rd,1}$ ; $N_{u,Rd}$ )	=	134,70 kN
$N_{pl,Rd}$ =	$A_{brut} * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}}$	=	220,9 kN
Zugbeanspruchbarkeit des Querschnitts mit Löchern			
$N_{t,Rd}$ =	MIN( $N_{pl,Rd}$ ; $N_{u,Rd}$ )	=	134,70 kN

**Nachweis Winkelprofil (Zug):**

$$\frac{N_{Ed}/n}{N_{t,Rd}} = \underline{\underline{0,84 < 1}}$$



### Blech-Querschnitt:

$$\begin{aligned}A_{\text{brut}} &= h_t \cdot t_t / 100 &= & 15,00 \text{ cm}^2 \\A_{\text{net}} &= A_{\text{brut}} - t_t \cdot d_0 / 100 &= & 11,85 \text{ cm}^2 \\N_{\text{pl,Rd}} &= A_{\text{brut}} \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} &= & 352,5 \text{ kN} \\N_{\text{u,Rd}} &= 0,9 \cdot A_{\text{net}} \cdot \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}} &= & 307,2 \text{ kN} \\N_{t,Rd} &= \text{MIN}(N_{\text{pl,Rd}}; N_{\text{u,Rd}}) &= & 307,20 \text{ kN}\end{aligned}$$

Zugbeanspruchbarkeit des Querschnitts mit Löchern

### Nachweis Blech (Zug):

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{N_{t,Rd}} = \underline{\underline{0,73 < 1}}$$

### Tragfähigkeit der Schraubenverbindung:

#### Abscheren:



#### Nachweis Abscheren:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \underline{\underline{0,93 < 1}}$$

#### Lochleibung:

$$\begin{aligned}\alpha_b &= \text{MIN}\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; 1,0\right) &= & 0,79 \\k_1 &= \text{MIN}\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) &= & 2,3 \\F_{b,Rd} &= k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot \text{MIN}(t_t; 2 \cdot t) \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2} / 100 &= & 146,52 \text{ kN} \\F_{b,Ed} &= N_{\text{Ed}} / n &= & 112,50 \text{ kN}\end{aligned}$$

#### Nachweis Lochleibung:

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \underline{\underline{0,77 < 1}}$$



#### **Blockversagen der Schraubengruppe - Anschlussblech:**

Anschlussblech

$$A_{nv} = 2 * (e_1 + (n-1) * p_1 - (n-0,5) * d_0) * t_t / 100 = 31,05 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = 0,00 \text{ cm}^2$$

Widerstand gegen Blockversagen

$$V_{eff,1,Rd} = A_{nt} * \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}} + A_{nv} * \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 421,28 \text{ kN}$$

#### **Nachweis Beanspruchung Blockversagen:**

$$\frac{N_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} = \underline{\underline{0,53 < 1}}$$

#### **Blockversagen der Schraubengruppe - Winkel:**

2 Winkel

$$A_{nv} = 4 * (e_1 + (n-1) * p_1 - (n-0,5) * d_0) * t / 100 = 28,98 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = 0,00 \text{ cm}^2$$

Widerstand gegen Blockversagen

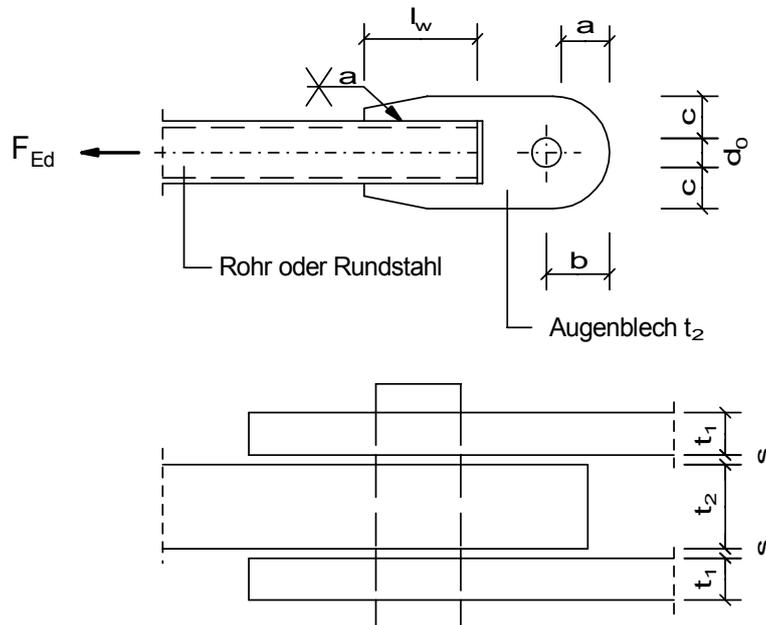
$$V_{eff,1,Rd} = A_{nt} * \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}} + A_{nv} * \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 393,19 \text{ kN}$$

#### **Nachweis Beanspruchung Blockversagen:**

$$\frac{N_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} = \underline{\underline{0,57 < 1}}$$

### Augenstab

Augenstab-Anschluss mit Verbindung durch einen Bolzen.



### Querschnitte / Geometrie:

Bolzen (hier ohne Bedarf des Austauschens):			
Durchmesser $d_b$ =			40,0 mm
Festigkeitsklasse $FK_b$ =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	5.6
Lochspiel $\Delta d$ =			1,0 mm
Lochdurchmesser $d_0$ =	$d_b + \Delta d$	=	41,0 mm
Bleche:			
Augenblech $t_2$ =			20,0 mm
Anschlusslaschen $t_1$ =			8,0 mm
Laschenspiel $s$ =			1,0 mm
Abstände:			
Randabstand längs $a$ =			50,00 mm
Randabstand quer $c$ =			35,00 mm
Lochabstand längs $b$ =	$a + d_0/2$	=	70,50 mm
Schweißnähte:			
Stumpfnahse $l_w$ =			80,0 mm
$a_w = t_2$			

### Auswirkung der Einwirkungen

Zugkraft  $F_{Ed}$  = 175,00 kN

### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0}$  = 1,0  
 $\gamma_{M2}$  = 1,25

### Material:

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID;) = S 235  
 $f_{y,k}$  = TAB("EC3\_de/mat";  $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10 = 23,50 kN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{u,k}$  = TAB("EC3\_de/mat";  $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10 = 36,00 kN/cm<sup>2</sup>



Bolzen:			
$f_{y,b,k}$	$TAB("EC3\_de/FK"; f_{yb}; FK=FK_b)/10$	=	30,00 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,b,k}$	$TAB("EC3\_de/FK"; f_{ub}; FK=FK_b)/10$	=	50,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\beta_w$	$TAB("EC3\_de/mat"; \beta_{w}; ID=Stahl)$	=	0,80

#### Prüfung der Rand- und Lochabstände:

$$f_{yk} = \text{MIN}(f_{y,k}; f_{y,b,k}) = 23,50 \text{ kN/cm}^2$$

Möglichkeit A: Dicke  $t_2$  vorgegeben

$$\frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0} \cdot 100}{2 \cdot t_2 \cdot f_{yk}} + \frac{2}{3} \cdot d_0 = \underline{0,92 < 1}$$

$$\frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0} \cdot 100}{2 \cdot t_2 \cdot f_{yk}} + \frac{1}{3} \cdot d_0 = \underline{0,92 < 1}$$

Möglichkeit B: Geometrie vorgegeben



#### Abscherbeanspruchbarkeit des Bolzens:

Bolzen-Scherebenen $n_s$	=	1
$A_b$	$= \frac{\pi \cdot (d_b / 10)^2}{4}$	= 12,57 cm <sup>2</sup>
$F_{v,Rd}$	$= 0,6 \cdot A_b \cdot f_{u,b,k} / \gamma_{M2}$	= 301,68 kN
$F_{v,Ed}$	$= \frac{F_{Ed}}{n_s}$	= 175,00 kN

#### Nachweis Abscherbeanspruchbarkeit

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \underline{0,58 < 1}$$

#### Lochleibungsbeanspruchbarkeit des Bolzens:

$f_{yk}$	$= \text{MIN}(f_{y,k}; f_{y,b,k})$	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
$F_{b,Rd}$	$= 1,5 \cdot d_b \cdot \text{MIN}(2 \cdot t_1; t_2) / 100 \cdot f_{yk} / \gamma_{M0}$	=	225,60 kN
$F_{b,Ed}$	$= F_{Ed}$	=	175,00 kN

#### Nachweis Abscherbeanspruchbarkeit

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \underline{0,78 < 1}$$

**Biegebeanspruchbarkeit des Bolzens:**

$$W_{el} = \frac{\pi \cdot (d_b / 10)^3}{32} = 6,28 \text{ cm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{f_{y,b,k}}{\gamma_{M0}} \cdot 1,5 \cdot W_{el} = 282,60 \text{ kNcm}$$

maximales Moment im Bolzen

$$M_{Ed} = F_{Ed} \cdot (t_2 + 4 \cdot s + 2 \cdot t_1) / 80 = 87,50 \text{ kNcm}$$

**Nachweis Biegebeanspruchbarkeit:**

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \underline{\underline{0,31 < 1}}$$

**Kombination von Biegung und Abscheren des Bolzens:**

$$\left( \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 = \underline{\underline{0,43 < 1}}$$

**Nachweis der Stumpfnaht:**

Nahtdicke (Nahtgüte nachgewiesen!!)

$$a_w = t_2 = 20,00 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = l_w - 2 \cdot a_w = 40,00 \text{ mm}$$

$$f_{vw,Rd} = \frac{f_{u,k} / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{vw,Rd} = f_{vw,Rd} \cdot a_w \cdot l_{eff} / 100 = 166,24 \text{ kN}$$

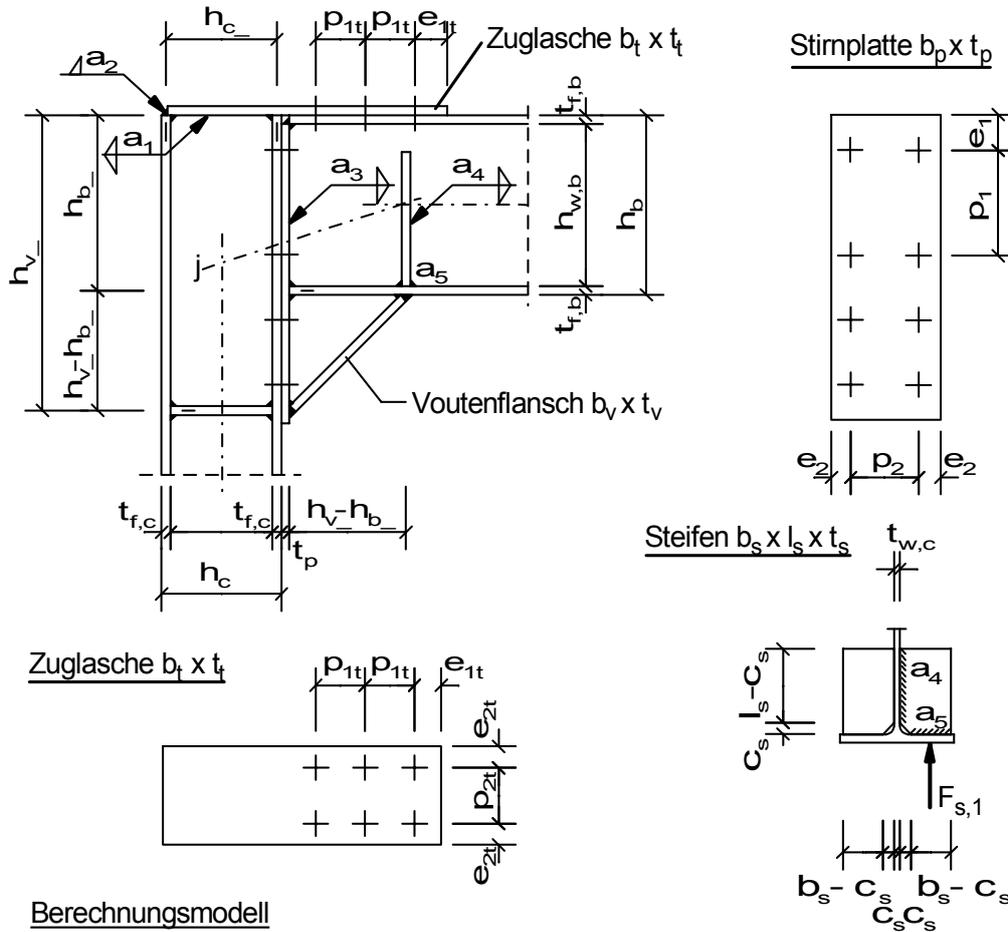
Resultierende der auf die Nahtfläche einwirkenden Kräfte

$$F_{vw,Ed} = F_{Ed} / 2 = 87,50 \text{ kN}$$

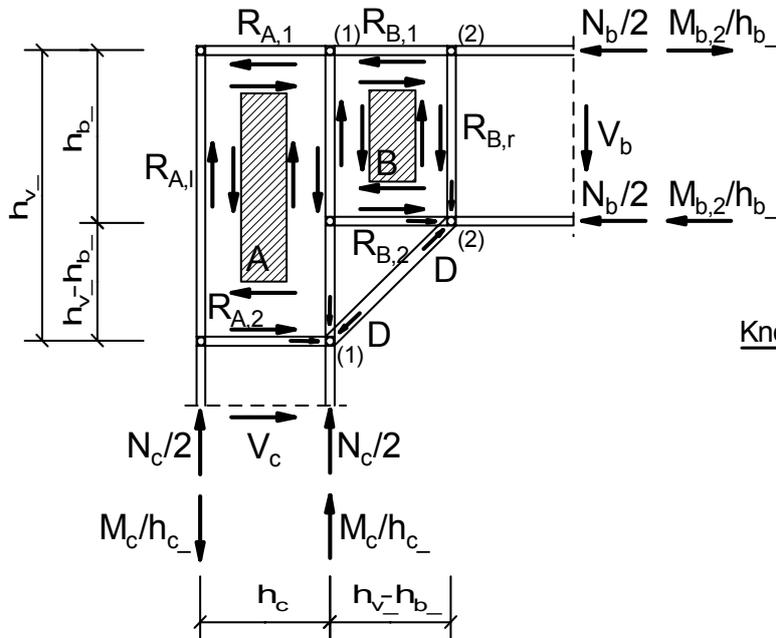
**Nachweis der Schweißnaht:**

$$\frac{F_{vw,Ed}}{F_{vw,Rd}} = \underline{\underline{0,53 < 1}}$$

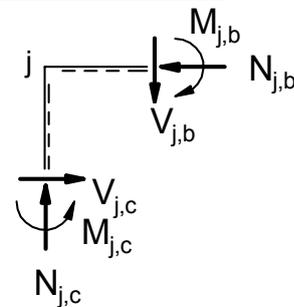
### Geschraubte Rahmenecke mit Voute



### Berechnungsmodell



### Knotenschnittgrößen





#### Querschnitte / Geometrie:

Riegel:

Träger Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	IPE
Träger-Profil ID1 =	GEW("EC3_de/"Typ1; ID; )	=	IPE 330
Höhe $h_b$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; h;ID=ID1;)	=	330,00 mm
Breite $b_b$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; b;ID=ID1;)	=	160,00 mm
Flanschdicke $t_{f,b}$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; t <sub>f</sub> ;ID=ID1;)	=	11,50 mm
Stegdicke $t_{w,b}$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; t <sub>w</sub> ;ID=ID1;)	=	7,50 mm
Radius $r_b$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; r;ID=ID1;)	=	18,00 mm
Fläche $A_b$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; A; ID=ID1)	=	62,60 cm <sup>2</sup>
$I_{y,b}$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; I <sub>y</sub> ; ID=ID1)	=	11770,00 cm <sup>4</sup>
$h_{b\_}$ =	$h_b - t_{f,b}$	=	318,50 mm
gerade Stegteilhöhe $d_b$ =	$h_b - 2*t_{f,b} - 2*r_b$	=	271,00 mm
$h_{w,b}$ =	$h_b - 2*t_{f,b}$	=	307,00 mm

Stiel:

Stütze Typ2 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	HEB
Stützen-Profil ID2 =	GEW("EC3_de/"Typ2; ID; )	=	HEB 200
Höhe $h_c$ =	TAB("EC3_de/"Typ2; h;ID=ID2;)	=	200,00 mm
Breite $b_c$ =	TAB("EC3_de/"Typ2; b;ID=ID2;)	=	200,00 mm
Flanschdicke $t_{f,c}$ =	TAB("EC3_de/"Typ2; t <sub>f</sub> ;ID=ID2;)	=	15,00 mm
Stegdicke $t_{w,c}$ =	TAB("EC3_de/"Typ2; t <sub>w</sub> ;ID=ID2;)	=	9,00 mm
Radius $r_c$ =	TAB("EC3_de/"Typ2; r;ID=ID2;)	=	18,00 mm
Fläche $A_c$ =	TAB("EC3_de/"Typ2; A; ID=ID2)	=	78,10 cm <sup>2</sup>
$I_{y,c}$ =	TAB("EC3_de/"Typ2; I <sub>y</sub> ; ID=ID2)	=	5700,00 cm <sup>4</sup>
$h_{c\_}$ =	$h_c - t_{f,c}$	=	185,00 mm
gerade Stegteilhöhe $d_c$ =	$h_c - 2*t_{f,c} - 2*r_c$	=	134,00 mm
$h_{w,c}$ =	$h_c - 2*t_{f,c}$	=	170,00 mm

Voute:

Voutenbreite $b_v$ =	150,00 mm
Flanschdicke $t_{f,v}$ =	15,00 mm
Voutenhöhe $h_{v\_}$ =	550,00 mm

Schrauben:

Festigkeitsklasse FK =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	4.6
Stirnplatten-Schrauben:			
Stirnplatte Schr =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 16
Schraubenzahl (gerade) n =		=	8
Schraubengewinde liegt <u>nicht</u> in der Scherebene (ref = 0), sonst (ref = 1)			
Gewinde in Fuge ref =		=	0
Schaftdurchmesser d =	TAB("EC3_de/Schra";d;SG=Schr)	=	16,00 mm
Lochdurchmesser $d_0$ =	$d + \Delta d$	=	17,00 mm
Schaftquerschnitt A =	TAB("EC3_de/Schra";A;SG=Schr;)	=	2,01 cm <sup>2</sup>
Spannungsquer. $A_s$ =	TAB("EC3_de/Schra";As;SG=Schr;)	=	1,57 cm <sup>2</sup>
Zuglaschen-Schrauben:			
Zuglasche Schr <sub>t</sub> =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 20
Schraubenzahl (gerade) n <sub>t</sub> =		=	4
Schraubengewinde liegt <u>nicht</u> in der Scherebene (ref <sub>t</sub> = 0), sonst (ref <sub>t</sub> = 1)			
Gewinde in Fuge ref <sub>t</sub> =		=	0
Schaftdurchmesser $d_t$ =	TAB("EC3_de/Schra";d;SG=Schr <sub>t</sub> )	=	20,00 mm
Lochdurchmesser $d_{0t}$ =	$d_t + \Delta d$	=	21,00 mm
Schaftquerschnitt $A_t$ =	TAB("EC3_de/Schra";A;SG=Schr <sub>t</sub> ;)	=	3,14 cm <sup>2</sup>
Spannungsquer. $A_{st}$ =	TAB("EC3_de/Schra";As;SG=Schr <sub>t</sub> ;)	=	2,45 cm <sup>2</sup>



Stirnplatte:  
Stirnplattenbreite  $b_p =$  170,00 mm  
Dicke  $t_p =$  12,00 mm

Zuglasche:  
Zuglaschenbreite  $b_t =$  160,00 mm  
Dicke  $t_t =$  12,00 mm

Schraubenabstände:

Stirnplatte:  
Randabstand  $e_1 =$  50,00 mm  
Lochabstand  $p_1 =$  165,00 mm  
Lochabstand  $p_2 =$  110,00 mm

Randabstand  $e_2 = \frac{b_p - p_2}{2} =$  30,00 mm



Software zur Dokumentation und Berechnung

# master

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

Schweißnähte:  
Kehlnaht Zuglasche längs  $a_1 =$  4,00 mm  
Kehlnaht Zuglasche quer  $a_2 =$  4,00 mm  
Stegnaht Rahmenriegel  $a_3 =$  3,00 mm  
Steiffennaht  $a_4 =$  3,00 mm  
Steiffennaht  $a_5 =$  5,00 mm

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} =$  1,0  
 $\gamma_{M1} =$  1,1  
 $\gamma_{M2} =$  1,25

#### Auswirkungen der Einwirkungen:

(Indizes: Systemknoten j, Träger b, Stütze c)

**am Knotenpunkt:**

$N_{j,c,Ed} =$  122,00 kN  
 $V_{j,c,Ed} =$  54,00 kN  
 $M_{j,c,Ed} =$  128,00 kNm  
 $N_{j,b,Ed} =$  54,00 kN  
 $V_{j,b,Ed} =$  122,00 kN  
 $M_{j,b,Ed} =$  128,00 kNm

**am Anschnitt:**

$$\begin{aligned} N_{c,Ed} &= N_{j,c,Ed} &= 122,00 \text{ kN} \\ V_{c,Ed} &= V_{j,c,Ed} &= 54,00 \text{ kN} \\ M_{c,Ed} &= M_{j,c,Ed} - V_{j,c,Ed} \cdot h_{v\_} / (2 \cdot 1000) &= 113,15 \text{ kNm} \\ N_{b,Ed} &= N_{j,b,Ed} &= 54,00 \text{ kN} \\ V_{b,Ed} &= V_{j,b,Ed} &= 122,00 \text{ kN} \\ M_{b,1,Ed} &= M_{j,b,Ed} - V_{j,b,Ed} \cdot h_{c\_} / (2 \cdot 1000) &= 116,72 \text{ kNm} \\ M_{b,2,Ed} &= M_{j,b,Ed} - V_{j,b,Ed} \cdot (h_{c\_} / 2 + h_{v\_} - h_{b\_}) / 1000 &= 88,47 \text{ kNm} \end{aligned}$$

**Stützeckfeld (A):**Einleitungskräfte bzw. Schubkräfte: ( $R_{A,o} = R_{A,u}$ ,  $R_{A,l} = R_{A,r}$ )

$$\begin{aligned} R_{A,o} &= \frac{M_{b,1,Ed}}{h_{v\_}} \cdot 1000 - \frac{N_{b,Ed}}{2} &= 185,22 \text{ kN} \\ R_{A,r} &= \frac{M_{c,Ed}}{h_{c\_}} \cdot 1000 - \frac{N_{c,Ed}}{2} &= 550,62 \text{ kN} \end{aligned}$$

**Riegeleckfeld (B):**Einleitungskräfte bzw. Schubkräfte: ( $R_{B,o} = R_{B,u}$ ,  $R_{B,l} = R_{B,r}$ )

$$\begin{aligned} R_{B,o} &= \frac{M_{b,2,Ed}}{h_{b\_}} \cdot 1000 - \frac{M_{b,1,Ed}}{h_{v\_}} \cdot 1000 &= 65,55 \text{ kN} \\ R_{B,r} &= \frac{R_{B,o} \cdot h_{b\_}}{h_{v\_} - h_{b\_}} &= 90,18 \text{ kN} \end{aligned}$$

**Druckkraft im Voutenflansch:**

$$D = \left( \frac{M_{j,c,Ed}}{h_{v\_} / 1000} - 0,5 \cdot \left( \frac{V_{b,Ed} \cdot h_{c\_}}{h_{v\_}} - N_{b,Ed} \right) \right) \cdot \sqrt{2} = 338,29 \text{ kN}$$

**Material:**

$$\begin{aligned} \text{Stahl} &= \text{GEW}(\text{"EC3\_de/mat"; ID;}) &= \text{S 235} \\ f_{y,k} &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{yk}; \text{ID=Stahl})/10 &= 23,50 \text{ kN/cm}^2 \\ f_{u,k} &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{uk}; \text{ID=Stahl})/10 &= 36,00 \text{ kN/cm}^2 \\ \varepsilon &= \sqrt{\frac{235}{f_{y,k} \cdot 10}} &= 1,00 \\ E &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; E; ID=Stahl}) &= 210000,00 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Schrauben:} & & \\ f_{y,b,k} &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"; } f_{ybk}; \text{FK=FK})/10 &= 24,00 \text{ kN/cm}^2 \\ f_{u,b,k} &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"; } f_{ubk}; \text{FK=FK})/10 &= 40,00 \text{ kN/cm}^2 \\ \beta_w &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } \beta_{w}; \text{ID=Stahl}) &= 0,80 \\ \text{Grenzschweißnahtspannung} & & \\ f_{w,Rd} &= \frac{f_{u,k}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} &= 36,00 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$



#### Prüfung der Rand- und Lochabstände:

##### Stirnplatte:

kleinste Abstände:

$$1,2 * d_0 / e_1 = \underline{0,41 < 1}$$

$$1,2 * d_0 / e_2 = \underline{0,68 < 1}$$

$$2,2 * d_0 / p_1 = \underline{0,23 < 1}$$

$$2,4 * d_0 / p_2 = \underline{0,37 < 1}$$

größte Abstände:

$$t = \text{MIN}(t_p; t_{f,c}) = 12,00 \text{ mm}$$

$$e_{\text{max}} = 4 * t + 40 = 88,00 \text{ mm}$$

$$p_{\text{max}} = \text{MIN}(14 * t; 200) = 168,00 \text{ mm}$$

$$e_1 / e_{\text{max}} = \underline{0,57 < 1}$$

$$e_2 / e_{\text{max}} = \underline{0,34 < 1}$$

$$p_1 / p_{\text{max}} = \underline{0,98 < 1}$$

$$p_2 / p_{\text{max}} = \underline{0,65 < 1}$$

##### Zuglasche:



#### Stützeneckfeld:

Dicke des Eckbleches A = Stegdicke des Stiels

Konstante Schubspannungen:

$$\tau_p = \frac{R_{A,o} * 100}{h_{c-} * t_{w,c}} = 11,12 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{pr} = \frac{R_{A,r} * 100}{h_{v-} * t_{w,c}} = 11,12 \text{ kN/cm}^2$$

#### Stützensteg mit Schubbeanspruchung:

$$\frac{d_c / t_{w,c}}{69 * \epsilon} = \underline{0,22 < 1}$$

$$\eta = 1,0$$
$$A_{v,c} = \text{MAX}(A_c * 100 - 2 * b_c * t_{f,c} + (t_{w,c} + 2 * r_c) * t_{f,c}; \eta * h_{w,c} * t_{w,c}) / 100 = 24,85 \text{ cm}^2$$

$$V_{wpl,Rd} = 0,9 * A_{v,c} * \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 303,44 \text{ kN}$$

$$F_{wp,Ed} = R_{A,o} = 185,22 \text{ kN}$$

#### Nachweis des Stützenstegs mit Schubbeanspruchung:

$$\frac{|F_{wp,Ed}|}{V_{wpl,Rd}} = \underline{0,61 < 1}$$

**Prüfung ob Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche erforderlich:**

$$\eta = \frac{h_{w,c}/t_{w,c}}{72 \cdot \varepsilon / \eta} = 1,20$$
$$= \underline{0,31 < 1}$$

⇒ kein Nachweis gegen Schubbeulen erforderlich.

**Riegeleckfeld:**

Dicke des Eckbleches B = Stegdicke des Riegels

Konstante Schubspannungen:

$$\tau_p = \frac{R_{B,o} \cdot 100}{(h_{v,-} - h_{b,-}) \cdot t_{w,b}} = 3,78 \text{ kN/cm}^2$$
$$\tau_{pr} = \frac{R_{B,r} \cdot 100}{h_{b,-} \cdot t_{w,b}} = 3,78 \text{ kN/cm}^2$$

**Trägersteg mit Schubbeanspruchung:****Prüfung ob Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche erforderlich:**

$$\eta = \frac{h_{w,b}/t_{w,b}}{72 \cdot \varepsilon / \eta} = 1,20$$
$$= \underline{0,68 < 1}$$

⇒ kein Nachweis gegen Schubbeulen erforderlich.

**Stützensteg mit Druckbeanspruchung:**

$$f_{y,wc} = f_{y,k} = 23,50 \text{ kN/cm}^2$$

**Reduktionsfaktor  $\omega$  für Schub:**

$$s = r_c = 18,00 \text{ mm}$$

$$a_p = a_3 = 3,00 \text{ mm}$$

$$s_p = t_p = 12,00 \text{ mm}$$

- für eine geschraubte Stirnblechverbindung

$$b_{\text{eff},c,wc} = t_{f,b} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{f,c} + s) + s_p = 196,99 \text{ mm}$$

$$\beta = 1,00$$

$$\Rightarrow \omega = \omega_1$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot (b_{\text{eff},c,wc} \cdot t_{w,c} / (A_{v,c} \cdot 100))^2}} = 0,78$$



#### Reduktionsfaktor $k_{wc}$ für gleichzeitig wirkende Druckspannungen im Stützensteg infolge Biegemoment und Normalkraft in der Stütze:

maximale Längsdruckspannung im Steg (am Ende des Ausrundungsradius)

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{N_{j,c,Ed}}{A_c} + \frac{M_{j,c,Ed}}{I_{y,c}} \cdot \frac{d_c}{2} \cdot 10 = 16,61 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{wc} = \text{WENN}\left(\frac{\sigma_{com,Ed}}{0,7 \cdot f_{y,wc}} > 1; 1,7 - \frac{\sigma_{com,Ed}}{f_{y,wc}}; 1,0\right) = 0,993$$

#### Reduktionsfaktor $\rho$ für Stegbeulen:

- bei einer Stütze mit gewalztem I- oder H-Querschnitt

$$d_{wc} = h_c - 2 \cdot (t_{f,c} + r_c) = 134,00 \text{ mm}$$

$$\lambda_{quer,p} = 0,932 \cdot \sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} \cdot d_{wc} \cdot f_{y,wc}}{E \cdot t_{w,c}^2}} = 0,18$$

$$\rho = \text{WENN}\left(\lambda_{quer,p} > 0,72; \frac{\lambda_{quer,p}^{-0,2}}{2}; 1,0\right) = 1,00$$

$$H_{c,wc,Rd} = \omega \cdot k_{wc} \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{w,c} / 100 = 13,73 \text{ cm}^2$$

$$F_{c,wc,Rd} = \text{MIN}\left(H_{c,wc,Rd} \cdot \rho \cdot \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M1}}; H_{c,wc,Rd} \cdot \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}\right) = 293,32 \text{ kN}$$

#### Nachweis Einleitung der Kraft des Trägers in den Stützensteg:

$$\frac{|D/\sqrt{2}|}{F_{c,wc,Rd}} = \underline{\underline{0,82 < 1}}$$

#### Trägersteg mit Druckbeanspruchung:



$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot (b_{eff,b,wc} \cdot t_{w,b} / (A_{v,b} \cdot 100))^2}} = 0,90$$

#### Reduktionsfaktor $k_{wc}$ für gleichzeitig wirkende Druckspannungen im Steg infolge Biegemoment und Normalkraft:

maximale Längsdruckspannung im Steg (am Ende des Ausrundungsradius)

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{N_{j,b,Ed}}{A_b} + \frac{M_{j,b,Ed}}{I_{y,b}} \cdot \frac{d_b}{2} \cdot 10 = 15,60 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{wc} = \text{WENN}\left(\frac{\sigma_{com,Ed}}{0,7 \cdot f_{y,wc}} > 1; 1,7 - \frac{\sigma_{com,Ed}}{f_{y,wc}}; 1,0\right) = 1,000$$

**Reduktionsfaktor  $\rho$  für Stegbeulen:**

- bei gewalztem I- oder H-Querschnitt

$$d_{wb} = h_b - 2 \cdot (t_{f,b} + r_b) = 271,00 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\text{quer,p}} = 0,932 \cdot \sqrt{\frac{b_{\text{eff,b,wc}} \cdot d_{wb} \cdot f_{y,wc}}{E \cdot t_{w,b}^2}} = 0,29$$

$$\rho = \text{WENN}(\lambda_{\text{quer,p}} > 0,72; \frac{\lambda_{\text{quer,p}}^{-0,2}}{2}; 1,0) = 1,00$$

$$H_{b,wc,Rd} = \omega \cdot k_{wc} \cdot b_{\text{eff,b,wc}} \cdot t_{w,b} / 100 = 11,92 \text{ cm}^2$$

$$F_{b,wc,Rd} = \text{MIN}(H_{b,wc,Rd} \cdot \rho \cdot \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M1}}; H_{b,wc,Rd} \cdot \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}) = 254,65 \text{ kN}$$

**Nachweis Einleitung der Kraft der Stütze in den Trägersteg:**

$$\frac{|D| \cdot \sqrt{2}}{F_{b,wc,Rd}} = \underline{\underline{0,94 < 1}}$$

**Stützenflansch mit Biegebeanspruchung:**

Streckgrenze des angeschweißten Trägers

$$f_{y,p} = f_{y,k} = 23,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$b_p = b_b = 160,00 \text{ cm}$$

**Nachweis des Stützengurtes für die Zug- und Druckbeanspruchung:**

$$\frac{f_{y,p}}{f_{u,p}} \cdot \frac{b_p}{b_{\text{eff,b,fc}}} = \underline{\underline{0,81 < 1}}$$

$$b_{\text{eff,b,fc}} = \text{MIN}(b_{\text{eff,b,fc}}; b_p) = 129,00 \text{ mm}$$

$$F_{fc,Rd} = \text{MIN}\left(\frac{b_{\text{eff,b,fc}} \cdot t_{f,b} \cdot f_{y,k}}{100 \cdot \gamma_{M0}}; 0,7 \cdot \frac{b_b \cdot t_{f,b} \cdot f_{y,k}}{100 \cdot \gamma_{M0}}\right) = 302,68 \text{ kN}$$

**Nachweis des Stützengurtes für Biegebeanspruchung aus dem Träger:**

$$\frac{|D| \cdot \sqrt{2}}{F_{fc,Rd}} = \underline{\underline{0,79 < 1}}$$

**Voutenflansch mit Druckbeanspruchung:**

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{t_{f,v} \cdot b_v \cdot f_{y,k}}{100 \cdot \gamma_{M0}} = 528,75 \text{ kN}$$

**Nachweis des Voutenflansches mit Druckbeanspruchung:**

$$\frac{|D|}{F_{c,fb,Rd}} = \underline{\underline{0,64 < 1}}$$

**Prüfung ob Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche erforderlich:**

$$\begin{aligned}\eta &= 1,20 \\ \text{Voutensteg dicker als Träger- bzw. Stielsteg:} \\ t_{w,v} &= \text{MIN}(t_{w,b}; t_{w,c}) = 7,50 \text{ mm} \\ h_{w,v} &= \frac{h_{v,-} - h_{b,-}}{\sqrt{2}} = 163,70 \text{ mm} \\ \frac{h_{w,v}/t_{w,v}}{72 \cdot \varepsilon / \eta} &= \underline{\underline{0,36 < 1}}\end{aligned}$$

**Trägerflansch mit Biegebeanspruchung:****Nachweis Träger mit Querkraftbeanspruchung:**

$$\frac{|V_{b,Ed}|}{V_{z,pl,Rd}} = \underline{\underline{0,29 < 1}}$$

**Stütze mit Querkraftbeanspruchung:**

$$\begin{aligned}A_{v,c} &= A_c - 2 \cdot b_c \cdot t_{f,c} \cdot 10^{-2} + (t_{w,c} + 2 \cdot r_c) \cdot t_{f,c} \cdot 10^{-2} = 24,85 \text{ cm}^2 \\ V_{z,pl,Rd} &= \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot A_{v,c} = 337,16 \text{ kN}\end{aligned}$$

**Nachweis Stütze mit Querkraftbeanspruchung:**

$$\frac{|V_{c,Ed}|}{V_{z,pl,Rd}} = \underline{\underline{0,16 < 1}}$$

**Tragfähigkeit der Zuglasche:**

$$\begin{aligned}A_{t,brut} &= b_t \cdot t_t / 100 = 19,20 \text{ cm}^2 \\ A_{t,net} &= (b_t - 2 \cdot d_{0t}) \cdot t_t / 100 = 14,16 \text{ cm}^2 \\ N_{pl,Rd} &= \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \cdot A_{t,brut} = 451,20 \text{ kN} \\ N_{u,Rd} &= 0,9 \cdot A_{t,net} \cdot \frac{f_{u,k}}{\gamma_{M2}} = 367,03 \text{ kN} \\ \text{Zugbeanspruchbarkeit des Querschnitts mit Löchern} \\ N_{t,Rd} &= \text{MIN}(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = 367,03 \text{ kN} \\ N_t &= R_{A,o} = 185,22 \text{ kN}\end{aligned}$$

**Nachweis Zugbeanspruchung der Zuglasche**

$$\frac{|N_t|}{N_{t,Rd}} = \underline{\underline{0,50 < 1}}$$



#### Anschluss der Zuglasche:

##### Abscheren:

$$\begin{aligned} \text{Schrauben-Scherebenen } n_s &= 1 \\ A &= \text{WENN}(\text{ref}_t=0; A_t; A_s_t) = 3,14 \text{ cm}^2 \\ \alpha_v &= \text{WENN}(\text{ref}_t=0; 0,6; \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"}; \alpha_v; \text{FK}=\text{FK};)) = 0,6 \\ F_{v,Rd} &= n_s * \alpha_v * f_{u,b,k} * A / \gamma_{M2} = 60,29 \text{ kN} \\ F_{v,Ed} &= R_{A,o} / n_t = 46,31 \text{ kN} \end{aligned}$$

##### Nachweis Abscheren:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \underline{\underline{0,77 < 1}}$$

##### Lochleibung:



##### Nachweis der Schweißnähte $a_1, a_2$ :

$$\text{Mindestnahtdicke } a_{\min} = 3,00 \text{ mm}$$

$$\frac{a_{\min}}{a_1} = \underline{\underline{0,75 \leq 1}}$$

$$l_{\min} = \text{MAX}(6 * a_1; 30) = 30,00 \text{ mm}$$

$$1 / \frac{h_c - 2 * t_{f,c}}{l_{\min}} = \underline{\underline{0,18 \leq 1}}$$

$$l_{\text{eff},a1} = h_c - 2 * t_{f,c} - 2 * a_1 = 162,00 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff},a2} = b_t - 2 * a_2 = 152,00 \text{ mm}$$

$$A_{w,a1} = 2 * a_1 * l_{\text{eff},a1} / 100 = 12,96 \text{ cm}^2$$

$$A_{w,a2} = a_2 * l_{\text{eff},a2} / 100 = 6,08 \text{ cm}^2$$

Aufteilung der Kräfte entsprechend der Flächenanteile:

$$F_{w,a1} = \frac{l_{\text{eff},a1}}{l_{\text{eff},a1} + l_{\text{eff},a2}} * R_{A,o} = 95,56 \text{ kN}$$

$$F_{w,a2} = \frac{l_{\text{eff},a2}}{l_{\text{eff},a1} + l_{\text{eff},a2}} * R_{A,o} = 89,66 \text{ kN}$$

##### Schweißnaht $a_1$ :

$$\tau_{II,Ed} = \frac{F_{w,a1}}{A_{w,a1}} = 7,37 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{3 * (\tau_{II,Ed}^2)} = 12,77 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,35 < 1}}$$

**Schweißnaht a<sub>2</sub> :**

$$\tau_{\text{orth,Ed}} = \frac{F_{w,a2} / \sqrt{2}}{A_{w,a2}} = 10,43 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{orth,Ed}} = \tau_{\text{orth,Ed}} = 10,43 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\sigma_{\text{orth,Ed}}^2 + 3 * (\tau_{\text{orth,Ed}}^2)} = 20,86 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{0,58 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{\text{orth,Ed}}}{0,9 * f_{u,k} / \gamma_{M2}} = \underline{0,40 < 1}$$

**Tragfähigkeit der Schraubenverbindung der Stirnplatte:****Abscheren:**

$$\begin{aligned} \text{Schrauben-Scherebenen } n_s &= 1 \\ A &= \text{WENN}(\text{ref}=0; A; A_s) = 3,14 \text{ cm}^2 \\ \alpha_v &= \text{WENN}(\text{ref}=0; 0,6; \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"}; \alpha_v; \text{FK}=\text{FK};)) = 0,6 \\ F_{v,Rd} &= n_s * \alpha_v * f_{u,b,k} * A / \gamma_{M2} = 60,29 \text{ kN} \\ F_{v,Ed} &= V_{b,Ed} / n = 15,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

**Nachweis Abscheren:**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \underline{0,25 < 1}$$

**Lochleibung:**

$$l_{\text{eff},a3} = h_b - 2 * t_{f,b} - 2 * r_b = 271,00 \text{ mm}$$

$$A_{w,a3} = 2 * a_3 * l_{\text{eff},a3} / 100 = 16,26 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{\text{II,Ed}} = \frac{V_{b,Ed}}{A_{w,a3}} = 7,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{3 * (\tau_{\text{II,Ed}}^2)} = 12,99 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{0,36 < 1}$$



### Steifen zur Krafteinleitung der Voutenkraft in den Trägersteg:

#### **Aufteilung der einzuleitenden Kraft auf Steifen und Steg**

Ein Teil der Kraft  $D$  wird direkt in den Stielsteg eingeleitet. Die Restkraft  $F_s$  wird von den Lasteinleitungsrippen übernommen.

$$F_s = \frac{D}{\sqrt{2}} \cdot 2 \cdot \frac{b_s - c_s}{2 \cdot b_s + t_{w,b}} = 162,17 \text{ kN}$$

$$M_s = \frac{b_s + c_s}{4 \cdot 10} \cdot F_s = 364,88 \text{ kNcm}$$

Kraft auf eine Steife (Rippe)

$$F_{s,1} = F_s / 2 = 81,08 \text{ kN}$$

Kraft auf den Steg

$$F_{w,b,s} = D / \sqrt{2} - 2 \cdot F_{s,1} = 77,05 \text{ kN}$$

$$A_s = (b_s - c_s) \cdot t_s / 100 = 7,50 \text{ cm}^2$$

$$N_{c,Rd} = A_s \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = 176,25 \text{ kN}$$

#### **Nachweis Druckbeanspruchung der Steife**

$$\frac{|F_{s,1}|}{N_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,46 < 1}}$$

#### **Nachweis Einleitung der Untergurkraft des Trägers in den Stützensteg:**

$$\frac{|F_{w,b,s}|}{F_{c,w,c,Rd}} = \underline{\underline{0,26 < 1}}$$

### Nachweis der Steifennähte $a_5$ :



$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\sigma_{orth,Ed}^2 + 3 \cdot (\tau_{orth,Ed}^2)} = 22,94 \text{ kN/cm}^2$$

#### **Nachweis der Schweißnaht:**

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,64 < 1}}$$

$$\frac{\sigma_{orth,Ed}}{0,9 \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2}} = \underline{\underline{0,44 < 1}}$$



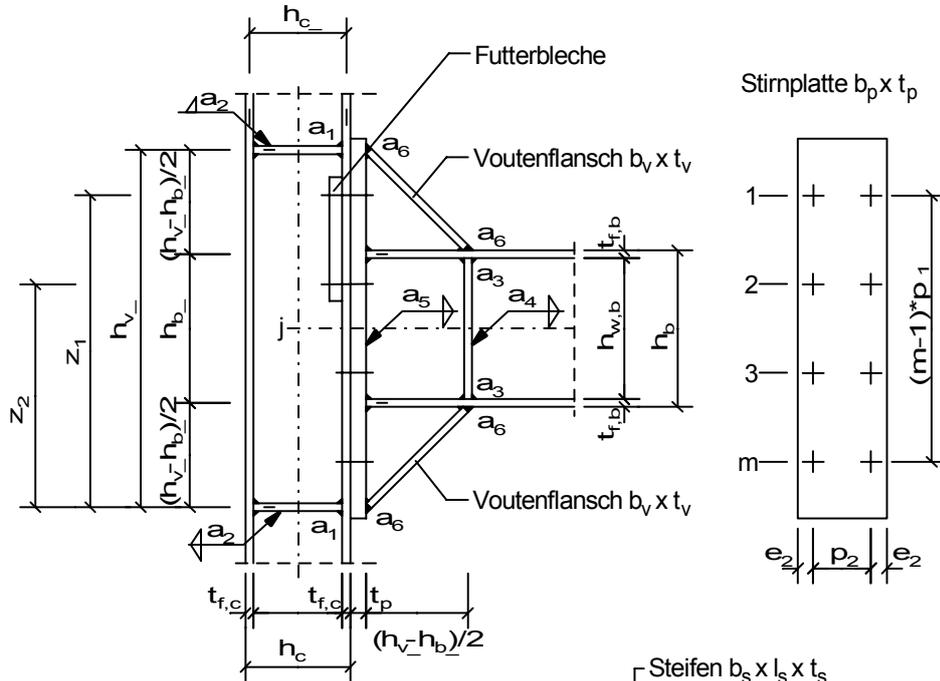
### Nachweis der Steifennähte a<sub>4</sub>:

$$\begin{aligned} A_{w4} &= 2 * a_4 * (l_s - c_s) / 100 &= & 10,80 \text{ cm}^2 \\ W_{w4} &= 2 * a_4 * (l_s - c_s)^2 / (6 * 1000) &= & 32,40 \text{ cm}^3 \\ \tau_{ll,Ed} &= \frac{F_s}{A_{w4}} &= & 15,02 \text{ kN/cm}^2 \\ \tau_{orth,Ed} &= \frac{M_s / \sqrt{2}}{W_{w4}} &= & 7,96 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{orth,Ed} &= \tau_{orth,Ed} &= & 7,96 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{w,Ed} &= \sqrt{\sigma_{orth,Ed}^2 + 3 * (\tau_{ll,Ed}^2 + \tau_{orth,Ed}^2)} &= & 30,50 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

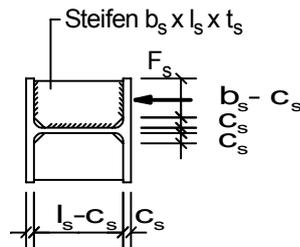
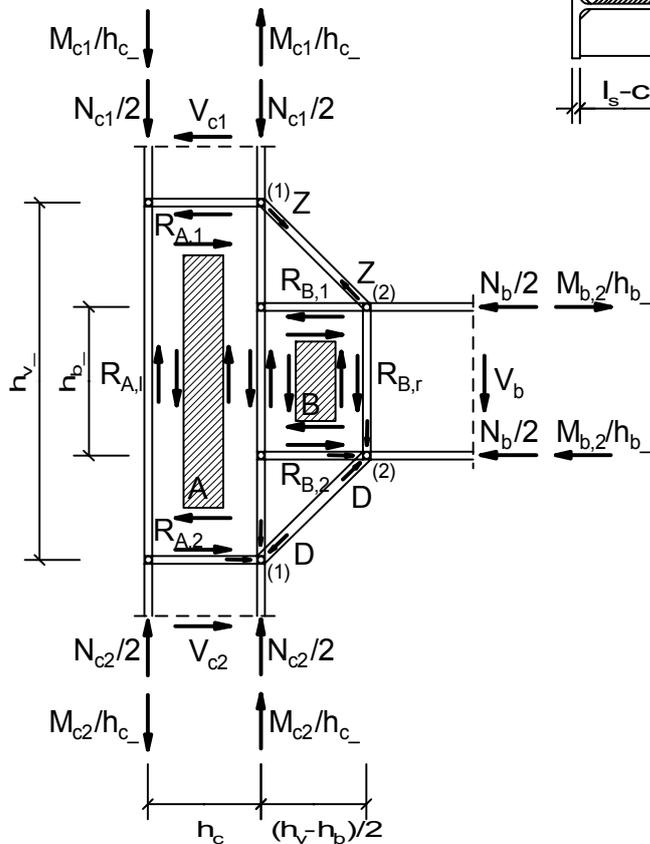
### Nachweis der Schweißnaht:

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} &= \underline{\underline{0,85 < 1}} \\ \frac{\sigma_{orth,Ed}}{0,9 * f_{u,k} / \gamma_{M2}} &= \underline{\underline{0,31 < 1}} \end{aligned}$$

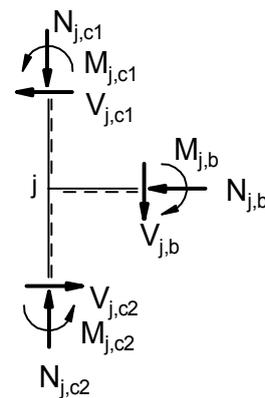
## Geschraubte Rahmenecke mit Doppelvoute



### Berechnungsmodell



### Knotenschnittgrößen



positive Knotenschnittgrößen  
Index "j": Systemknoten



#### Querschnitte / Geometrie:

Riegel:

Träger Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	IPE
Träger-Profil ID1 =	GEW("EC3_de/Typ1; ID; )	=	IPE 400
Höhe $h_b$ =	TAB("EC3_de/Typ1; h; ID=ID1;)	=	400,00 mm
Breite $b_b$ =	TAB("EC3_de/Typ1; b; ID=ID1;)	=	180,00 mm
Flanschdicke $t_{f,b}$ =	TAB("EC3_de/Typ1; t_f; ID=ID1;)	=	13,50 mm
Stegdicke $t_{w,b}$ =	TAB("EC3_de/Typ1; t_w; ID=ID1;)	=	8,60 mm
Radius $r_b$ =	TAB("EC3_de/Typ1; r; ID=ID1;)	=	21,00 mm
Fläche $A_b$ =	TAB("EC3_de/Typ1; A; ID=ID1)	=	84,50 cm <sup>2</sup>
$I_{y,b}$ =	TAB("EC3_de/Typ1; I_y; ID=ID1)	=	23130,00 cm <sup>4</sup>
$h_{b\_}$ =	$h_b - t_{f,b}$	=	386,50 mm
gerade Stegteilhöhe $d_b$ =	$h_b - 2*t_{f,b} - 2*r_b$	=	331,00 mm
$h_{w,b}$ =	$h_b - 2*t_{f,b}$	=	373,00 mm

Stiel:

Stütze Typ2 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	HEB
Stützen-Profil ID2 =	GEW("EC3_de/Typ2; ID; )	=	HEB 300
Höhe $h_c$ =	TAB("EC3_de/Typ2; h; ID=ID2;)	=	300,00 mm
Breite $b_c$ =	TAB("EC3_de/Typ2; b; ID=ID2;)	=	300,00 mm
Flanschdicke $t_{f,c}$ =	TAB("EC3_de/Typ2; t_f; ID=ID2;)	=	19,00 mm
Stegdicke $t_{w,c}$ =	TAB("EC3_de/Typ2; t_w; ID=ID2;)	=	11,00 mm
Radius $r_c$ =	TAB("EC3_de/Typ2; r; ID=ID2;)	=	27,00 mm
Fläche $A_c$ =	TAB("EC3_de/Typ2; A; ID=ID2)	=	149,00 cm <sup>2</sup>
$I_{y,c}$ =	TAB("EC3_de/Typ2; I_y; ID=ID2)	=	25170,00 cm <sup>4</sup>
$h_{c\_}$ =	$h_c - t_{f,c}$	=	281,00 mm
gerade Stegteilhöhe $d_c$ =	$h_c - 2*t_{f,c} - 2*r_c$	=	208,00 mm
$h_{w,c}$ =	$h_c - 2*t_{f,c}$	=	262,00 mm

Voute:

Voutenhöhe $h_v$ =	800,00 mm
Voutenbreite $b_v$ =	180,00 mm
Flanschdicke $t_{f,v}$ =	15,00 mm



Software zur Dokumentation und Berechnung

# master

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0}$ =	1,0
$\gamma_{M1}$ =	1,1
$\gamma_{M2}$ =	1,25



#### Einwirkungen:

##### am Knotenpunkt:

$N_{j,b,Ed} =$	90,00 kN
$V_{j,b,Ed} =$	60,00 kN
$M_{j,b,Ed} =$	240,00 kNm
$N_{j,c1,Ed} =$	150,00 kN
$V_{j,c1,Ed} =$	60,00 kN
$M_{j,c1,Ed} =$	80,00 kNm
$N_{j,c2,Ed} =$	210,00 kN
$V_{j,c2,Ed} =$	150,00 kN
$M_{j,c2,Ed} =$	160,00 kNm

##### am Anschnitt:



##### **Stützeckenfeld (A):**

Einleitungskräfte bzw. Schubkräfte: ( $R_{A,1} = R_{A,2}$ ,  $R_{A,l} = R_{A,r}$ )

$$R_{A,r} = \frac{M_{c1,Ed} + M_{c2,Ed}}{h_{c-}} * 1000 - \frac{V_{b,Ed}}{2} = 525,16 \text{ kN}$$

$$R_{A,1} = R_{A,r} * \frac{h_{c-}}{h_{v-}} = 184,46 \text{ kN}$$

##### **Riegeleckenfeld (B):**

Einleitungskräfte bzw. Schubkräfte: ( $R_{B,1} = R_{B,2}$ ,  $R_{B,l} = R_{B,r}$ )

$$R_{B,1} = \frac{M_{b,2,Ed}}{h_{b-}} * 1000 - \frac{M_{b,1,Ed}}{h_{v-}} * 1000 = 277,58 \text{ kN}$$

$$R_{B,r} = \frac{2 * M_{b,1,Ed}}{h_{v-}} * 1000 - V_{b,Ed} = 518,92 \text{ kN}$$

##### **Druckkraft D bzw. Zugkraft Z in den Voutenflanschen:**

$$D = \left( \frac{M_{b,1,Ed}}{h_{v-}} * 1000 + 0,5 * N_{b,Ed} \right) * \sqrt{2} = 473,00 \text{ kN}$$

$$Z = \left( \frac{M_{b,1,Ed}}{h_{v-}} * 1000 - 0,5 * N_{b,Ed} \right) * \sqrt{2} = 345,72 \text{ kN}$$

##### **Schrauben-Normalkräfte:**

maximale Zugkraft bei der obersten Schraubenreihe:

$$F_{t,max,Ed} = \frac{(1000 * M_{b,1,Ed} - 0,5 * N_{b,Ed} * h_{v-}) * Z_1}{Z_1^2 + Z_2^2 + Z_3^2 + Z_4^2} = 185,00 \text{ kN}$$

Zugkraft einer Schraube der obersten Schraubenreihe:

$$F_{t,1,Ed} = \frac{F_{t,max,Ed}}{2} = 92,50 \text{ kN}$$



Zugkräfte jeweils einer Schraube der anderen Schraubenreihen:

$$F_{t,2,Ed} = F_{t,1,Ed} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} = 66,07 \text{ kN}$$

$$F_{t,3,Ed} = F_{t,1,Ed} \cdot \frac{Z_3}{Z_1} = 0,00 \text{ kN}$$

$$F_{t,4,Ed} = F_{t,1,Ed} \cdot \frac{Z_4}{Z_1} = 0,00 \text{ kN}$$

### Material:

$$\text{Stahl} = \text{GEW}(\text{"EC3\_de/mat"; ID;}) = \text{S 355}$$

$$f_{y,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{yk}; \text{ID=Stahl})/10 = 35,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{u,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{uk}; \text{ID=Stahl})/10 = 51,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{y,k} \cdot 10}} = 0,81$$

$$E = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; E; ID=Stahl}) = 210000,00 \text{ N/mm}^2$$

Schrauben:

$$f_{y,b,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"; } f_{ybk}; \text{FK=FK})/10 = 30,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{u,b,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"; } f_{ubk}; \text{FK=FK})/10 = 50,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\beta_w = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } \beta_{w}; \text{ID=Stahl}) = 0,90$$

Grenzschweißnahtspannung

$$f_{w,Rd} = \frac{f_{u,k}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 45,33 \text{ kN/cm}^2$$

### Prüfung der Rand- und Lochabstände:



### Stützensteg mit Schubbeanspruchung:

$$\frac{d_c / t_{w,c}}{69 \cdot \epsilon} = \underline{\underline{0,34 < 1}}$$

$$\eta = 1,0$$

$$A_{v,c} = \text{MAX}(A_c \cdot 100 - 2 \cdot b_c \cdot t_{f,c} + (t_{w,c} + 2 \cdot r_c) \cdot t_{f,c}; \eta \cdot h_{w,c} \cdot t_{w,c}) / 100 = 47,35 \text{ cm}^2$$

$$V_{wpl,Rd} = 0,9 \cdot A_{v,c} \cdot \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 873,43 \text{ kN}$$

$$F_{wp,Ed} = R_{A,1} = 184,46 \text{ kN}$$

**Nachweis des Stützenstegs mit Schubbeanspruchung:**

$$\frac{|F_{wp,Ed}|}{V_{wpl,Rd}} = \underline{\underline{0,21 < 1}}$$

⇒ Aussteifen des Stützenstegs (Eckfeld) nicht erforderlich

**Prüfung ob Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche erforderlich:**

$$\eta = \frac{h_{w,c} / t_{w,c}}{72 \cdot \varepsilon / \eta} = 1,20$$
$$= \underline{0,49 < 1}$$

⇒ kein Nachweis gegen Schubbeulen erforderlich.

**Riegeleckfeld:**

Dicke des Eckbleches B = Stegdicke des Riegels

Konstante Schubspannungen:

$$\tau_p = \frac{R_{B,1} \cdot 100}{(h_{v,-} - h_{b,-}) \cdot t_{w,b} \cdot 0,5} = 15,61 \text{ kN/cm}^2$$
$$\tau_{pr} = \frac{R_{B,r} \cdot 100}{h_{b,-} \cdot t_{w,b}} = 15,61 \text{ kN/cm}^2$$

**Trägersteg mit Schubbeanspruchung:****Prüfung ob Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche erforderlich:**

$$\eta = \frac{h_{w,b} / t_{w,b}}{72 \cdot \varepsilon / \eta} = 1,20$$
$$= \underline{0,89 < 1}$$

⇒ kein Nachweis gegen Schubbeulen erforderlich.

**Stützensteg mit Druckbeanspruchung:**

$$f_{y,wc} = f_{y,k} = 35,50 \text{ kN/cm}^2$$

**Reduktionsfaktor  $\omega$  für Schub:**

$$s = r_c = 27,00 \text{ mm}$$

$$a_p = a_5 = 4,00 \text{ mm}$$

$$s_p = t_p = 30,00 \text{ mm}$$

- für eine geschraubte Stirnblechverbindung

$$b_{eff,c,wc} = t_{f,b} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{f,c} + s) + s_p = 284,81 \text{ mm}$$

$$\text{Übertragungsparameter } \beta = 1,00$$

$$\Rightarrow \omega = \omega_1$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot (b_{eff,c,wc} \cdot t_{w,c} / (A_{v,c} \cdot 100))^2}} = 0,80$$



#### Reduktionsfaktor $k_{wc}$ für gleichzeitig wirkende Druckspannungen im Stützensteg infolge Biegemoment und Normalkraft in der Stütze:

maximale Längsdruckspannung im Steg (am Ende des Ausrundungsradius)

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{N_{j,c2,Ed}}{A_c} + \frac{M_{j,c2,Ed}}{I_{y,c}} * \frac{d_c}{2} * 10 = 8,02 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{wc} = \text{WENN}\left(\frac{\sigma_{com,Ed}}{0,7 * f_{y,wc}} > 1; 1,7 - \frac{\sigma_{com,Ed}}{f_{y,wc}} ; 1,0\right) = 1,000$$

#### Reduktionsfaktor $\rho$ für Stegbeulen:



#### Trägersteg mit Druckbeanspruchung:

$$f_{y,wc} = f_{y,k} = 35,50 \text{ kN/cm}^2$$

#### Reduktionsfaktor $\omega$ für Schub:

$$s = r_b = 21,00 \text{ mm}$$

$$a_p = 0,00 \text{ mm}$$

- für einen geschweißten Anschluss

$$b_{eff,b,wc} = t_{f,v} + 2 * \sqrt{2} * a_p + 5 * (t_{f,b} + s) = 187,50 \text{ mm}$$

$$\beta = 1,00$$

$$\Rightarrow \omega = \omega_1$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 * (b_{eff,b,wc} * t_{w,b} / (A_{v,b} * 100))^2}} = 0,92$$

#### Reduktionsfaktor $k_{wc}$ für gleichzeitig wirkende Druckspannungen im Steg infolge Biegemoment und Normalkraft:

maximale Längsdruckspannung im Steg (am Ende des Ausrundungsradius)

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{N_{j,b,Ed}}{A_b} + \frac{M_{j,b,Ed}}{I_{y,b}} * \frac{d_b}{2} * 10 = 18,24 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{wc} = \text{WENN}\left(\frac{\sigma_{com,Ed}}{0,7 * f_{y,wc}} > 1; 1,7 - \frac{\sigma_{com,Ed}}{f_{y,wc}} ; 1,0\right) = 1,000$$

**Reduktionsfaktor  $\rho$  für Stegbeulen:**

- bei gewalztem I- oder H-Querschnitt

$$d_{wb} = h_b - 2 \cdot (t_{f,b} + r_b) = 331,00 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\text{quer},p} = 0,932 \cdot \sqrt{\frac{b_{\text{eff},b,wc} \cdot d_{wb} \cdot f_{y,wc}}{E \cdot t_{w,b}^2}} = 0,35$$

$$\rho = \begin{cases} \lambda_{\text{quer},p}^{-0,2} & \text{WENN } (\lambda_{\text{quer},p} > 0,72; \frac{\lambda_{\text{quer},p}}{2}; 1,0) \\ 1,0 & \text{sonst} \end{cases} = 1,00$$

$$H_{b,wc,Rd} = \omega \cdot k_{wc} \cdot b_{\text{eff},b,wc} \cdot t_{w,b} / 100 = 14,84 \text{ cm}^2$$

$$F_{b,wc,Rd} = \text{MIN}\left(H_{b,wc,Rd} \cdot \rho \cdot \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M1}}; H_{b,wc,Rd} \cdot \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}\right) = 478,9 \text{ kN}$$

**Nachweis Einleitung der Kraft der Voute in den Trägersteg:**

$$\frac{|D/\sqrt{2}|}{F_{b,wc,Rd}} = \underline{\underline{0,70 < 1}}$$

 $F_{b,wc,Rd}$ 

⇒ Aussteifen des Trägerstegs nicht erforderlich

**Voutenflansch mit Zug- / Druckbeanspruchung:****Prüfung ob Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche erforderlich:**

$$\eta = 1,20$$

Voutensteg dicker als Träger- bzw. Stielsteg:

$$t_{w,v} = \text{MIN}(t_{w,b}; t_{w,c}) = 8,60 \text{ mm}$$

$$h_{w,v} = \frac{h_v - h_b}{\sqrt{2}} = 292,39 \text{ mm}$$

$$\frac{h_{w,v}/t_{w,v}}{72 \cdot \varepsilon / \eta} = \underline{\underline{0,70 < 1}}$$

⇒ kein Nachweis gegen Schubbeulen erforderlich.



#### Tragfähigkeit der Schraubenverbindung:

Zur Aufnahme des Biegemomentes werden die Schrauben oberhalb, zur Aufnahme der Querkraft die Schrauben unterhalb der Riegelachse herangezogen.

#### **Abscheren:**

$$\begin{aligned} \text{Schrauben-Scherebenen } n_s &= 1 \\ A &= \text{WENN}(\text{ref}=0; A; A_s) &= 4,52 \text{ cm}^2 \\ \alpha_v &= \text{WENN}(\text{ref}=0; 0,6; \text{TAB}(\text{"EC3\_de/FK"}; \alpha_v; \text{FK}=\text{FK};)) &= 0,6 \\ F_{v,Rd} &= n_s * \alpha_v * f_{u,b,k} * A / \gamma_{M2} &= 108,48 \text{ kN} \\ F_{v,Ed} &= V_{b,Ed} / (n/2) &= 15,00 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### **Nachweis Abscheren:**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \underline{\underline{0,14 < 1}}$$

#### **Lochleibung:**



#### **Zug:**

Beiwert  $k_2 = 0,63$  für Senkschrauben, sonst  $k_2 = 0,9$

$$\begin{aligned} k_2 &= 0,90 \\ A_s &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/Schra"}; A_s; \text{SG}=\text{Schr};) &= 3,53 \text{ cm}^2 \\ F_{t,Rd} &= \frac{f_{u,b,k}}{\gamma_{M2}} * k_2 * A_s &= 127,08 \text{ kN} \\ F_{t,Ed} &= F_{t,1,Ed} &= 92,50 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### **Nachweis Zug:**

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \underline{\underline{0,73 < 1}}$$

#### **Falls kombinierte Beanspruchung in und quer zur Schraubenachsrichtung:**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,1,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} = \underline{\underline{0,66 < 1}}$$



#### Nachweis der Schweißnaht a<sub>6</sub>:

am Voutenflansch

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{Z}{b_v \cdot t_{f,v}} \cdot 100 = 12,80 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{orth,Ed} = \frac{\sigma_{m,Ed} \cdot t_{f,v}}{a_6 \cdot \sqrt{2}} = 9,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{orth,Ed} = \tau_{orth,Ed} = 9,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\sigma_{orth,Ed}^2 + 3 \cdot (\tau_{orth,Ed})^2} = 18,10 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,40 < 1}}$$

$$\frac{\sigma_{orth,Ed}}{0,9 \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2}} = \underline{\underline{0,25 < 1}}$$

#### Nachweis der Schweißnaht a<sub>5</sub>:

Die Kehlnähte am Voutendreieck werden vernachlässigt!

$$\text{Mindestnahtdicke } a_{min} = 3,00 \text{ mm}$$

$$a_{min} / a_5 = \underline{\underline{0,75 \leq 1}}$$

$$l_{min} = \text{MAX}(6 \cdot a_5; 30) = 30,00 \text{ mm}$$

$$\frac{l_{min}}{h_b - 2 \cdot t_{f,b}} = \underline{\underline{0,08 < 1}}$$

$$l_{eff,a5} = h_b - 2 \cdot t_{f,b} - 2 \cdot r_b = 331,00 \text{ mm}$$

$$A_{w,a5} = 2 \cdot a_5 \cdot l_{eff,a5} / 100 = 26,48 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{II,Ed} = \frac{V_{b,Ed}}{A_{w,a5}} = 2,27 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{3 \cdot (\tau_{II,Ed})^2} = 3,93 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,09 < 1}}$$



#### Kopfplatte mit Biegebeanspruchung:

##### obere, 1. Schraubenreihe

innere Schraubenreihe neben Trägerzugflansch

Stirnblech schmaler als Stützenflansch

$$e_{\min} = e_2 = 45,00 \text{ mm}$$

$$\text{Randabstand quer} \\ e = e_2 = 45,00 \text{ mm}$$

Abstand Schraube - Steg

$$m = \frac{p_2 - t_{w,b}}{2} - 0,8 * a_5 * \sqrt{2} = 51,17 \text{ mm}$$

Abstand Schraube - Voutenflansch

$$m_2 = 2 * \left( \frac{h_b - t_{f,b}}{2} + \frac{h_{v-} - h_{b-}}{2} \right) - z_1 = 100,00 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = 0,53$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = 1,04$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

$$k_2 = 0,90$$

$$F_{t,Rd} = \frac{f_{u,b,k}}{\gamma_{M2}} * k_2 * A_s = 127,08 \text{ kN}$$

Beanspruchbarkeit der Lagerplatte auf der Seite der Zugschrauben:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m / 10} = 666,40 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + (n_e / 10) * 2 * F_{t,Rd}}{(m + n_e) / 10} = 296,22 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = 2 * F_{t,Rd} = 254,16 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \text{MIN}(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = 254,16 \text{ kN}$$

#### **Nachweis Zug T-Stummel 1. Schraubenreihe**

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{F_{T,Rd}} = \underline{\underline{0,36 < 1}}$$



### 2. Schraubenreihe von oben

innere Schraubenreihe neben Trägerzugflansch  
Stirnblech schmaler als Stützenflansch

$$e_{\min} = e_2 = 45,00 \text{ mm}$$

$$\text{Randabstand quer} \\ e = e_2 = 45,00 \text{ mm}$$

Abstand Schraube - Steg

$$m = \frac{p_2 - t_{w,b}}{2} - 0,8 * a_5 * \sqrt{2} = 51,17 \text{ mm}$$

Abstand Schraube - Trägerflansch

$$m_2 = \left( h_b - t_{f,b} + \frac{h_v - h_{b-}}{2} \right) - z_2 = 93,25 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = 0,53$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = 0,97$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# master

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie  
Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

$M_{pl}$  der Stirnplatte

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{l_{eff,1}}{4} * t_{f,c}^2 * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} * 10^{-3} = 852,49 \text{ kNcm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{l_{eff,2}}{4} * t_{f,c}^2 * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} * 10^{-3} = 852,49 \text{ kNcm}$$

$$n_e = \text{MIN}(e_{\min}; 1,25 * m) = 45,00 \text{ mm}$$

$$k_2 = 0,90$$

$$F_{t,Rd} = \frac{f_{u,b,k}}{\gamma_{M2}} * k_2 * A_s = 127,08 \text{ kN}$$

Beanspruchbarkeit der Lagerplatte auf der Seite der Zugschrauben:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m / 10} = 666,40 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + (n_e / 10) * 2 * F_{t,Rd}}{(m + n_e) / 10} = 296,22 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = 2 * F_{t,Rd} = 254,16 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \text{MIN}(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \mathbf{254,16 \text{ kN}}$$

**Nachweis Zug T-Stummel 2. Schraubenreihe**

$$\frac{F_{t,2,Ed}}{F_{T,Rd}} = \mathbf{0,26 < 1}$$



### 1. und 2. Schraubenreihe von oben

innere Schraubenreihe neben Trägerzugflansch

Wirksame Längen für Schraubengruppen

$$l_{\text{eff,nc}} = l_{\text{eff,nc1}} + l_{\text{eff,nc2}} = 471,24 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,cp}} = l_{\text{eff,cp1}} + l_{\text{eff,cp2}} = 721,52 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,1}} = \text{MIN}(l_{\text{eff,nc}}; l_{\text{eff,cp}}) = 471,24 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,2}} = l_{\text{eff,nc}} = 471,24 \text{ mm}$$

$M_{\text{pl}}$  der Stirnplatte

$$M_{\text{pl,1,Rd}} = \frac{l_{\text{eff,1}}}{4} * t_{\text{f,c}}^2 * \frac{f_{\text{y,k}}}{\gamma_{\text{M0}}} * 10^{-3} = 1509,79 \text{ kNcm}$$

$$M_{\text{pl,2,Rd}} = \frac{l_{\text{eff,2}}}{4} * t_{\text{f,c}}^2 * \frac{f_{\text{y,k}}}{\gamma_{\text{M0}}} * 10^{-3} = 1509,79 \text{ kNcm}$$

$$n_e = \text{MIN}(e_{\text{min}}; 1,25 * m) = 45,00 \text{ mm}$$

Beiwert  $k_2 = 0,63$  für Senkschrauben, sonst  $k_2 = 0,9$

$$k_2 = 0,90$$

$$F_{\text{t,Rd}} = \frac{f_{\text{u,b,k}}}{\gamma_{\text{M2}}} * k_2 * A_s * 2 = 254,16 \text{ kN}$$

Beanspruchbarkeit der Lagerplatte auf der Seite der Zugschrauben:

$$F_{\text{T,1,Rd}} = \frac{4 * M_{\text{pl,1,Rd}}}{m / 10} = 1180,21 \text{ kN}$$

$$F_{\text{T,2,Rd}} = \frac{2 * M_{\text{pl,2,Rd}} + (n_e / 10) * 2 * F_{\text{t,Rd}}}{(m + n_e) / 10} = 551,84 \text{ kN}$$

$$F_{\text{T,3,Rd}} = 2 * F_{\text{t,Rd}} = 508,32 \text{ kN}$$

$$F_{\text{T,Rd}} = \text{MIN}(F_{\text{T,1,Rd}}; F_{\text{T,2,Rd}}; F_{\text{T,3,Rd}}) = \mathbf{508,32 \text{ kN}}$$

**Nachweis Zug T-Stummel 1.+2. Schraubenreihe**

$$\frac{F_{\text{t,1,Ed}} + F_{\text{t,2,Ed}}}{F_{\text{T,Rd}}} = \mathbf{0,31 < 1}$$

### Stützenflansch mit Biegebeanspruchung:



### obere, 1. Schraubenreihe

$$n_e = \text{MIN}(e_{\text{min}}; 1,25 * m) = 41,13 \text{ mm}$$

Beiwert  $k_2 = 0,63$  für Senkschrauben, sonst  $k_2 = 0,9$

$$k_2 = 0,90$$

$$F_{\text{t,Rd}} = \frac{f_{\text{u,b,k}}}{\gamma_{\text{M2}}} * k_2 * A_s = 127,08 \text{ kN}$$



Beanspruchbarkeit der Lagerplatte auf der Seite der Zugschrauben:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m / 10} = 805,24 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + (n_e / 10) * 2 * F_{t,Rd}}{(m + n_e) / 10} = 363,31 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = 2 * F_{t,Rd} = 254,16 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \text{MIN}(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \mathbf{254,16 \text{ kN}}$$

**Nachweis Zug T-Stummel 1. Schraubenreihe**

$$\frac{F_{t,1,Ed}}{F_{T,Rd}} = \mathbf{0,36 < 1}$$

## 2. Schraubenreihe von oben



innere Schraubenreihe neben Trägerzugflansch

Beiwert  $k_2 = 0,63$  für Senkschrauben, sonst  $k_2 = 0,9$

$$k_2 = 0,90$$

$$F_{t,Rd} = \frac{f_{u,b,k}}{\gamma_{M2}} * k_2 * A_s = 127,08 \text{ kN}$$

Beanspruchbarkeit der Lagerplatte auf der Seite der Zugschrauben:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m / 10} = 805,24 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + (n_e / 10) * 2 * F_{t,Rd}}{(m + n_e) / 10} = 363,31 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = 2 * F_{t,Rd} = 254,16 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \text{MIN}(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \mathbf{254,16 \text{ kN}}$$

**Nachweis Zug T-Stummel 2. Schraubenreihe**

$$\frac{F_{t,2,Ed}}{F_{T,Rd}} = \mathbf{0,26 < 1}$$



### 1. und 2. Schraubenreihe von oben

innere Schraubenreihe neben Trägerzugflansch

Wirksame Längen für Schraubengruppen

$$l_{\text{eff,nc}} = l_{\text{eff,nc1}} + l_{\text{eff,nc2}} = 400,00 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,cp}} = l_{\text{eff,cp1}} + l_{\text{eff,cp2}} = 800,00 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,1}} = \text{MIN}(l_{\text{eff,nc}}; l_{\text{eff,cp}}) = 400,00 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,2}} = l_{\text{eff,nc}} = 400,00 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl,1,Rd}} = \frac{l_{\text{eff,1}}}{4} * t_{\text{f,c}}^2 * \frac{f_{\text{y,k}}}{\gamma_{\text{M0}}} * 10^{-3} = 1281,55 \text{ kNcm}$$

$$M_{\text{pl,2,Rd}} = \frac{l_{\text{eff,2}}}{4} * t_{\text{f,c}}^2 * \frac{f_{\text{y,k}}}{\gamma_{\text{M0}}} * 10^{-3} = 1281,55 \text{ kNcm}$$

$$n_e = \text{MIN}(e_{\text{min}}; 1,25 * m) = 41,13 \text{ mm}$$

Beiwert  $k_2 = 0,63$  für Senkschrauben, sonst  $k_2 = 0,9$

$$k_2 = 0,90$$

$$F_{\text{t,Rd}} = \frac{f_{\text{u,b,k}}}{\gamma_{\text{M2}}} * k_2 * A_s * 2 = 254,16 \text{ kN}$$

Beanspruchbarkeit der Lagerplatte auf der Seite der Zugschrauben:

$$F_{\text{T,1,Rd}} = \frac{4 * M_{\text{pl,1,Rd}}}{m / 10} = 1558,12 \text{ kN}$$

$$F_{\text{T,2,Rd}} = \frac{2 * M_{\text{pl,2,Rd}} + (n_e / 10) * 2 * F_{\text{t,Rd}}}{(m + n_e) / 10} = 628,64 \text{ kN}$$

$$F_{\text{T,3,Rd}} = 2 * F_{\text{t,Rd}} = 508,32 \text{ kN}$$

$$F_{\text{T,Rd}} = \text{MIN}(F_{\text{T,1,Rd}}; F_{\text{T,2,Rd}}; F_{\text{T,3,Rd}}) = \mathbf{508,32 \text{ kN}}$$

### Nachweis Zug T-Stummel 1.+2. Schraubenreihe

$$\frac{F_{\text{t,1,Ed}} + F_{\text{t,2,Ed}}}{F_{\text{T,Rd}}} = \underline{\underline{0,31 < 1}}$$



#### Steifen zur Krafteinleitung in den Stützensteg:

Druckkraft in der unteren Stielsteife

$$F_{s1} = 2 \cdot (F_{t,1,Ed} + F_{t,2,Ed} + F_{t,3,Ed} + F_{t,4,Ed}) + N_{b,Ed} = 407,14 \text{ kN}$$

#### Aufteilung der einzuleitenden Kraft auf Steifen und Steg

$$F_s = F_{s1} \cdot 2 \cdot \frac{b_{s1} - c_{s1}}{2 \cdot b_{s1} + t_{w,c}} = 270,14 \text{ kN}$$

Kraft auf eine Steife (Rippe)

$$F_{s,1} = F_s / 2 = 135,07 \text{ kN}$$

Kraft auf den Steg

$$F_{w,c,s} = F_{s1} - 2 \cdot F_{s,1} = 137,00 \text{ kN}$$

$$A_s = (b_{s1} - c_{s1}) \cdot t_{s1} / 100 = 10,50 \text{ cm}^2$$

$$N_{c,Rd} = A_s \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = 372,75 \text{ kN}$$

#### Nachweis Druckbeanspruchung der Steife

$$\frac{|F_{s,1}|}{N_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,36 < 1}}$$

#### Nachweis der Steifennähte $a_1$ (Flansch):



#### Nachweis der Steifennähte $a_2$ (Steg):

$$M_s = \frac{b_{s1} + c_{s1}}{4 \cdot 10} \cdot F_s = 877,96 \text{ kNcm}$$

$$A_{w2} = 2 \cdot a_2 \cdot (l_{s2} - c_{s2}) / 100 = 27,84 \text{ cm}^2$$

$$W_{w2} = 2 \cdot a_2 \cdot (l_{s2} - c_{s2})^2 / (6 \cdot 1000) = 161,47 \text{ cm}^3$$

$$\tau_{II,Ed} = \frac{F_s}{A_{w2}} = 9,70 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{orth,Ed} = \frac{M_s / \sqrt{2}}{W_{w2}} = 3,84 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{orth,Ed} = \tau_{orth,Ed} = 3,84 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\sigma_{orth,Ed}^2 + 3 \cdot (\tau_{II,Ed}^2 + \tau_{orth,Ed}^2)} = 18,47 \text{ kN/cm}^2$$

#### Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,41 < 1}}$$

$$\frac{\sigma_{orth,Ed}}{0,9 \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2}} = \underline{\underline{0,10 < 1}}$$



#### Steifen zur Krafteinleitung in den Trägersteg:

Druckkraft in der Riegelsteife

$$F_{s2} = \frac{D}{\sqrt{2}} = 334,46 \text{ kN}$$

**Aufteilung der einzuleitenden Kraft auf Steifen und Steg**

$$F_s = F_{s2} \cdot 2 \cdot \frac{b_{s2} - c_{s2}}{2 \cdot b_{s2} + t_{w,b}} = 224,72 \text{ kN}$$

Kraft auf eine Steife (Rippe)

$$F_{s,1} = F_s / 2 = 112,36 \text{ kN}$$

Kraft auf den Steg

$$F_{w,c,s} = F_{s2} - 2 \cdot F_{s,1} = 109,74 \text{ kN}$$

$$A_s = (b_{s2} - c_{s2}) \cdot t_{s2} / 100 = 9,00 \text{ cm}^2$$

$$N_{c,Rd} = A_s \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = 319,50 \text{ kN}$$

#### Nachweis der Steifennähte $a_3$ (Flansch):



#### Nachweis der Steifennähte $a_4$ (Steg):

$$F_s = F_{s2} \cdot 2 \cdot \frac{b_{s2} - c_{s2}}{2 \cdot b_{s2} + t_{w,b}} = 224,72 \text{ kN}$$

$$M_s = \frac{b_{s2} + c_{s2}}{4 \cdot 10} \cdot F_s = 617,98 \text{ kNcm}$$

$$A_{w4} = 2 \cdot a_4 \cdot (l_{s2} - c_{s2}) / 100 = 27,84 \text{ cm}^2$$

$$W_{w4} = 2 \cdot a_4 \cdot (l_{s2} - c_{s2})^2 / (6 \cdot 1000) = 161,47 \text{ cm}^3$$

$$\tau_{II,Ed} = \frac{F_s}{A_{w4}} = 8,07 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{orth,Ed} = \frac{M_s / \sqrt{2}}{W_{w4}} = 2,71 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{orth,Ed} = \tau_{orth,Ed} = 2,71 \text{ kN/cm}^2$$

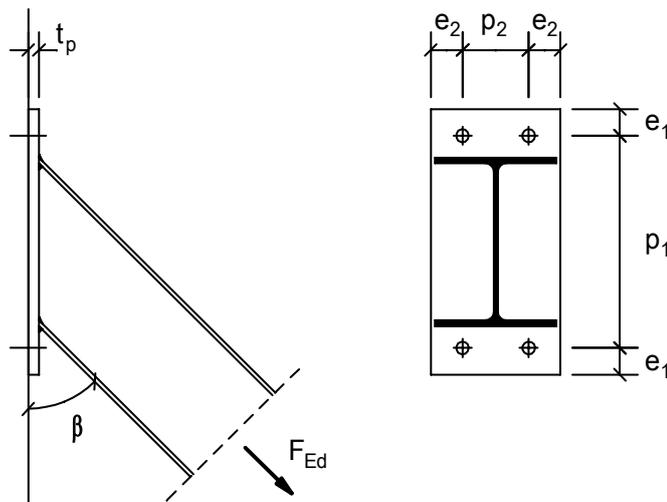
$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\sigma_{orth,Ed}^2 + 3 \cdot (\tau_{II,Ed}^2 + \tau_{orth,Ed}^2)} = 14,99 \text{ kN/cm}^2$$

**Nachweis der Schweißnaht:**

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,33 < 1}}$$

$$\frac{\sigma_{orth,Ed}}{0,9 \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2}} = \underline{\underline{0,07 < 1}}$$

### Geschraubter Schräganschluss



#### System:

Plattendicke $t_p$ =	15,0 mm
Schraubenabstand $e_1$ =	35,0 mm
Schraubenabstand $p_1$ =	220,0 mm
Schraubenabstand $e_2$ =	30,0 mm
Schraubenabstand $p_2$ =	70,0 mm
Lastwinkel $\beta$ =	35,0 °

#### Schrauben:

Schr =	GEW("EC3_de/Schra"; SG; )	=	M 20
FK =	GEW("EC3_de/FK"; FK; )	=	8.8
Schraubengewinde liegt <u>nicht</u> in der Scherebene (ref = 0), sonst (ref = 1)			
Gewinde in Fuge ref =		=	0
Schaftdurchmesser $d$ =	TAB("EC3_de/Schra";d;SG=Schr)	=	20,00 mm
Nennlochspiel $\Delta d$ =	TAB("EC3_de/Schra"; $\Delta d$ ;SG=Schr;)	=	2,0 mm
Lochdurchmesser $d_0$ =	$d + \Delta d$	=	22,00 mm
Schaftquerschnitt $A$ =	TAB("EC3_de/Schra";A;SG=Schr;)	=	3,14 cm <sup>2</sup>
Spannungsquer. $A_s$ =	TAB("EC3_de/Schra";As;SG=Schr;)	=	2,45 cm <sup>2</sup>

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 355
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{y,k}$ ; ID=Stahl)	=	355,00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{u,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{u,k}$ ; ID=Stahl)	=	510,00 N/mm <sup>2</sup>
Schrauben			
$f_{u,b,k}$ =	TAB("EC3_de/FK"; $f_{ubk}$ ; FK=FK)	=	800,00 N/mm <sup>2</sup>

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0}$ =	1,00
$\gamma_{M2}$ =	1,25

#### Belastung:

$F_{Ed}$ =	400,0 kN		
$V_{Ed}$ =	$\text{COS}(\beta) * F_{Ed}$	=	327,66 kN
$N_{Ed}$ =	$\text{SIN}(\beta) * F_{Ed}$	=	229,43 kN

**Kraft pro Schraube:**

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = 57,36 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = 81,92 \text{ kN}$$

**Grenzzugkraft der Schrauben:**

$$F_{t,Rd} = 0,9 \cdot \frac{f_{u,b,k} \cdot A_s}{\gamma_{M2} \cdot 10} = 141,12 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \underline{0,41 < 1}$$

**Grenzabscherkraft der Schrauben:****Nachweis der Lochleibung:**

$$\alpha_b = \text{MIN}\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{u,b,k}}{f_{u,k}}; 1,0\right) = 0,53$$

$$k_1 = \text{MIN}\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = 2,1$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t_p \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2} / 1000 = 136,23 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \underline{0,60 < 1}$$

**Prüfung der Rand- und Lochabstände:**

kleinste Abstände:

$$1,2 \cdot d_0 / e_1 = \underline{0,75 \leq 1}$$

$$1,2 \cdot d_0 / e_2 = \underline{0,88 \leq 1}$$

$$2,2 \cdot d_0 / p_1 = \underline{0,22 \leq 1}$$

$$2,4 \cdot d_0 / p_2 = \underline{0,75 \leq 1}$$

größte Abstände:

$$t = t_p = 15,00 \text{ mm}$$

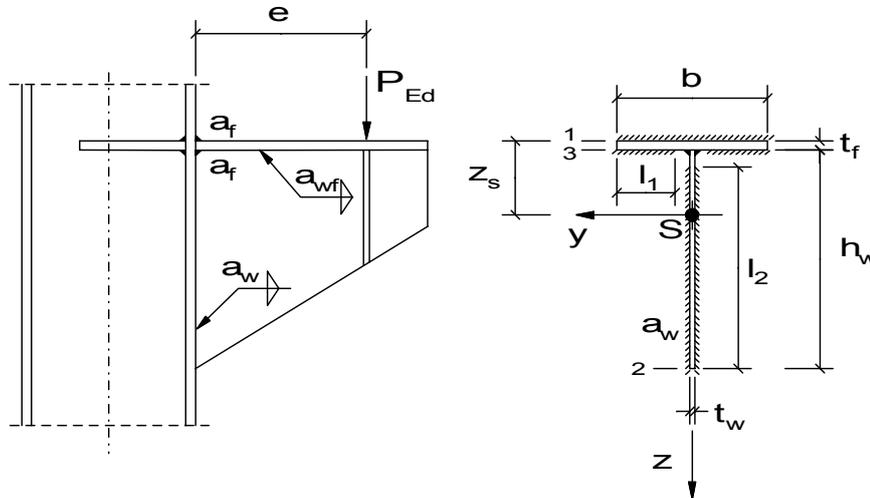
$$e_{\max} = 4 \cdot t + 40 = 100,00 \text{ mm}$$

$$e_1 / e_{\max} = \underline{0,35 \leq 1}$$

$$e_2 / e_{\max} = \underline{0,30 \leq 1}$$

## Kapitel Schweißverbindungen

### Konsole mit T-Querschnitt



#### Material:

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID; ) = S 235

#### Querschnitte / Geometrie:

Querschnitt:  
 Flanschbreite  $b = 120,00$  mm  
 Flanschdicke  $t_f = 10,00$  mm  
 Steghöhe  $h_w = 110,00$  mm  
 Stegdicke  $t_w = 8,00$  mm  
 Schweißnähte:  
 Flanschnähte  $a_f = 4,00$  mm  
 Stegnähte  $a_w = 4,00$  mm  
 Halskehlnähte  $a_{wf} = 3,00$  mm  
 Länge  $l_1 = 50,00$  mm  
 Länge  $l_2 = 105,00$  mm

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} = 1,0$   
 $\gamma_{M1} = 1,1$   
 $\gamma_{M2} = 1,25$

#### Materialkennwerte:

$f_{y,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{y,k}; \text{ID=Stahl})/10 = 23,50$  kN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{u,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{u,k}; \text{ID=Stahl})/10 = 36,00$  kN/cm<sup>2</sup>  
 $\epsilon = \sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}} = 1,00$   
 $E = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } E; \text{ID=Stahl})/10 = 21000$  kN/cm<sup>2</sup>  
 $\beta_w = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } \beta_w; \text{ID=Stahl}) = 0,80$   
 $f_{w,Rd} = \frac{f_{u,k}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 36,00$  kN/cm<sup>2</sup>  
 Poissonzahl  $\nu = 0,3$



#### Querschnittswerte:

$$A = (b \cdot t_f + h_w \cdot t_w) / 100 = 20,80 \text{ cm}^2$$

(Oberkante des Flansches als Bezug)

$$W_1 = I_y / (z_s / 10) = 89,70 \text{ cm}^3$$

$$W_2 = \frac{I_y \cdot 10}{h_w + t_f - z_s} = 30,41 \text{ cm}^3$$

$$W_3 = \frac{I_y \cdot 10}{z_s - t_f} = 133,71 \text{ cm}^3$$

$$S_y = \left( t_w \cdot \frac{(z_s - t_f)^2}{2} + b \cdot t_f \cdot \left( z_s - \frac{t_f}{2} \right) \right) \cdot 10^{-3} = 32,12 \text{ cm}^3$$

$$S_3 = b \cdot t_f \cdot \left( z_s - \frac{t_f}{2} \right) \cdot 10^{-3} = 30,46 \text{ cm}^3$$

Schweißnahtbild:

$$A_w = (a_f \cdot (b + 2 \cdot l_1) + 2 \cdot a_w \cdot l_2) / 100 = 17,20 \text{ cm}^2$$

$$A_{wf} = a_f \cdot (b + 2 \cdot l_1) / 100 = 8,80 \text{ cm}^2$$

$$A_{ww} = 2 \cdot a_w \cdot l_2 / 100 = 8,40 \text{ cm}^2$$

$$W_{w,1} = \frac{I_{y,w}}{z_{s,w} / 10} = 70,75 \text{ cm}^3$$

$$W_{w,2} = \frac{I_{y,w} \cdot 10}{t_f + h_w - z_{s,w}} = 29,47 \text{ cm}^3$$

#### Einwirkungen:

$$\text{Einzellast } P_{Ed} = 15,00 \text{ kN}$$

$$\text{Lastangriff } e = 250,00 \text{ mm}$$

#### Auswirkungen der Einwirkungen:

$$V_{z,Ed} = P_{Ed} = 15,00 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -P_{Ed} \cdot \frac{e}{10} = -375,00 \text{ kNcm}$$

#### Einstufung des Querschnitts in Querschnittsklasse:

Flansch auf Zug beansprucht, wird nicht weiter untersucht

**Steg:** einseitig gestützt, druckbeansprucht

$$c = h_w - 2 \cdot a_f \cdot \sqrt{2} = 98,69 \text{ mm}$$

Für elastische Spannungsverteilung ist

$$\psi = \frac{-z_s + t_f + a_f \cdot \sqrt{2}}{h_w + t_f - z_s} = -0,164$$

$$1 \geq \psi \geq -3$$

$$\text{Beulwert } k_\sigma = 0,57 - 0,21 \cdot \psi + 0,07 \cdot \psi^2 = 0,61$$

$$\frac{c/t_w}{21 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \underline{\underline{0,75 < 1}}$$

⇒ Steg: Klasse 3

Für plastische Spannungsverteilung steht der ganze Steg unter Druck

Kriterium für Querschnittsklasse 2:

$$\frac{c/t_w}{10 \cdot \varepsilon} = \underline{\underline{1,23 \text{ nicht } < 1}}$$

⇒ **Querschnitt: Klasse 3**

**Momententragfähigkeit:**

- für Querschnitte nach Klasse 3:

$$W_{el,min} = \text{MIN}(W_1; W_2; W_3) = 30,41 \text{ cm}^3$$

$$M_{y,c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} * W_{el,min} = 714,63 \text{ kNcm}$$

**Nachweis Biegebeanspruchung:**

$$\frac{|M_{y,Ed}|}{M_{y,c,Rd}} = \underline{\underline{0,52 < 1}}$$

**Prüfung ob Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche erforderlich:**

$$\frac{\eta = \frac{h_w}{t_w}}{72 * \varepsilon / \eta} = \underline{\underline{0,23 < 1}}$$

⇒ kein Nachweis gegen Schubbeulen erforderlich.

**Querkrafttragfähigkeit:****Beanspruchung aus Biegung und Querkraft:**

$$a = e = 250,00 \text{ mm}$$

$$b = l_2 = 105,00 \text{ mm}$$

$$\eta = 1,20$$

$$k_\tau = \text{WENN}(a/b < 1; 4 + 5,34 * \left(\frac{b}{a}\right)^2; 5,34 + 4 * \left(\frac{b}{a}\right)^2) = 6,046$$

Schlankheitsgrad für die Schubbeanspruchung

$$\lambda_{\text{quer,w}} = \frac{b/t_w}{\sqrt{\frac{E * \pi^2 * \sqrt{3}}{235 * 12 * (1 - \nu^2)} * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}}} = 0,451$$

$$\chi_w = \text{WENN}(\lambda_{\text{quer,w}} < 0,83 * \eta; \eta; 0,83 / \lambda_{\text{quer,w}}) = 1,20$$

Beitrag des Steges:

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w * f_{y,k} * b * t_w}{\sqrt{3} * \gamma_{M1} * 100} = 124,33 \text{ kN}$$

$$\eta_{\text{quer,3}} = \frac{V_{z,Ed}}{V_{bw,Rd}} = \underline{\underline{0,12 < 0,5}}$$

Einfluss der Schubkräfte auf die Beanspruchbarkeit für Biegemoment darf vernachlässigt werden.



**Nachweis der Schweißnaht  $a_w$ :**

$$\tau_{2,II,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{A_{w,w}} = 1,79 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{2,orth,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{w,2}} = -12,72 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = \sqrt{\sigma_{2,orth,Ed}^2 + 3 * (\tau_{2,II,Ed}^2)} = 13,09 \text{ kN/cm}^2$$

**Nachweis der Schweißnaht  $a_w$ :**

$$\frac{\sigma_{2,w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,36 < 1}}$$

$$\frac{|\sigma_{2,orth,Ed}|}{0,9 * f_{u,k} / \gamma_{M2}} = \underline{\underline{0,49 < 1}}$$

**Nachweis der Schweißnaht  $a_f$ :**



**Nachweis der Halskehlnaht  $a_{wf}$ :**

$$\tau_{3,II,Ed} = \frac{V_{z,Ed} * S_3}{I_y * 2 * a_{wf} / 10} = 2,79 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{3,orth,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_3} = -2,80 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{3,w,Ed} = \sqrt{\sigma_{3,orth,Ed}^2 + 3 * (\tau_{3,II,Ed}^2)} = 5,59 \text{ kN/cm}^2$$

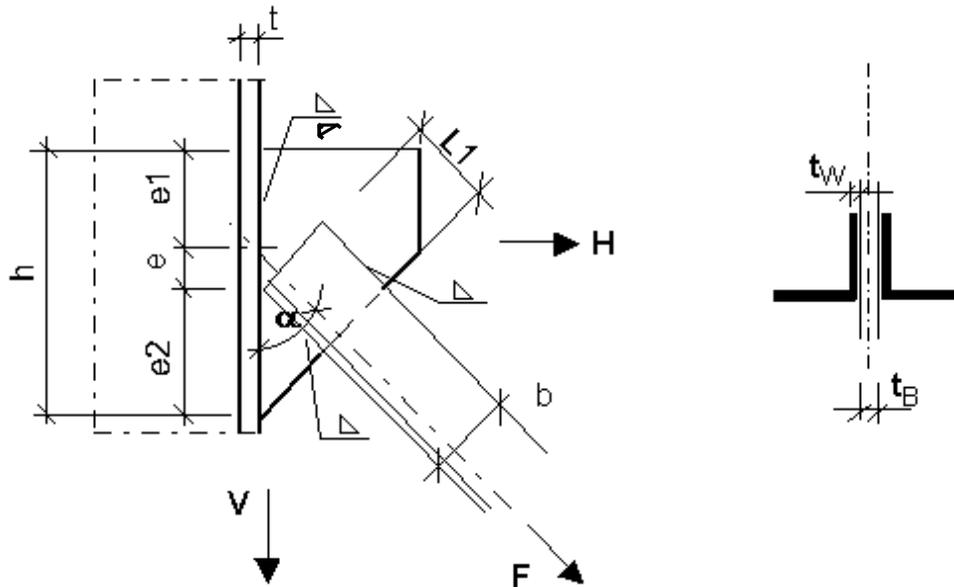
**Nachweis der Schweißnaht  $a_{wf}$ :**

$$\frac{\sigma_{3,w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,16 < 1}}$$

$$\frac{|\sigma_{3,orth,Ed}|}{0,9 * f_{u,k} / \gamma_{M2}} = \underline{\underline{0,11 < 1}}$$

### Knotenblechanschluß geschweißt

Kehlناhtnachweis nach dem vereinfachten Verfahren



#### **Belastung / Geometrie:**

Zugkraft $F_{Ed}$ =	300,00 kN
Kehlناht $a$ =	4,0 mm
Winkel $\alpha$ =	30,0 °

#### Knotenblech:

Blechdicke $t_B$ =	10,0 mm
Außermittigkeit $e$ =	50,0 mm
$e1$ =	120,0 mm
$e2$ =	170,0 mm
$b$ =	100,0 mm
$h = e + e1 + e2$ =	340,0 mm

Flanschdicke  $t_w$  = 12,0 mm

#### Schweißnähte:

Schweißnahtlänge $L1$ =	50,0 mm
Außermittigkeit $e$ =	50,0 mm

#### **Material:**

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID; ) = S 235

#### **Teilsicherheitsbeiwerte:**

$\gamma_{M0}$ =	1,0
$\gamma_{M1}$ =	1,1
$\gamma_{M2}$ =	1,25

#### **Materialkennwerte:**

$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\beta_w$ =	TAB("EC3_de/mat"; $\beta_{w_i}$ ; ID=Stahl)	=	0,80



#### Anschluß Knotenblech an Stützenprofil:

Schnittgrößen in Anschlussebene:

$$\begin{aligned} H_d &= F_{Ed} \cdot \sin(\alpha) &= & 150,0 \text{ kN} \\ V_d &= F_{Ed} \cdot \cos(\alpha) &= & 259,8 \text{ kN} \\ M_{y,Ed} &= H_d \cdot e/10 &= & 750,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Beanspruchung pro Längeneinheit am oberen Endpunkt der Naht:

$$\begin{aligned} V_{II,Ed} &= V_d / h \cdot 10 &= & 7,64 \text{ kN/cm} \\ N_{senk,Ed} &= H_d \cdot \frac{10}{h} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{(h/10)^2}{6}} &= & 8,30 \text{ kN/cm} \\ F_{w,Ed} &= \sqrt{V_{II,Ed}^2 + N_{senk,Ed}^2} &= & 11,28 \text{ kN/cm} \end{aligned}$$

Grenzkraft pro Längeneinheit (2 Kehlnähte):

$$F_{w,Rd} = f_{u,k} \cdot \frac{a \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \cdot 10^{-1} = 16,63 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} / F_{w,Rd} = \underline{\underline{0,68 \leq 1}}$$

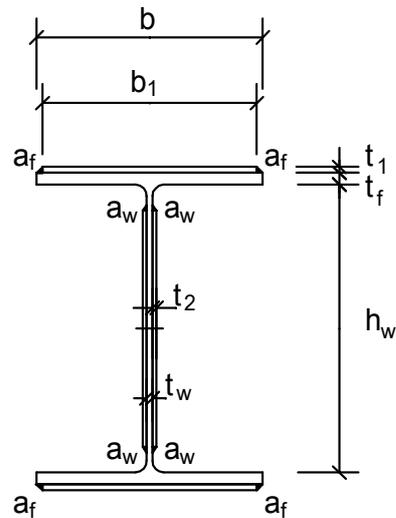
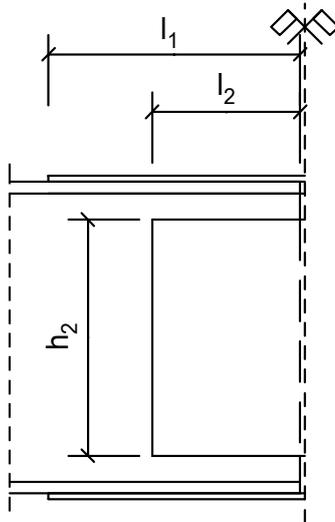
#### Anschluß Stab - Knotenblech:



#### Nachweis der Kehlnähte a:

$$\begin{aligned} l_{min} &= \text{MAX}(6 \cdot a; 30) &= & 30,0 \text{ mm} \\ 3/a &= &= & \underline{\underline{0,75 \leq 1}} \\ \frac{l_{min}}{l_{eff}} &= &= & \underline{\underline{0,16 \leq 1}} \end{aligned}$$

### Geschweißter Biegeträger



#### Maße:

Blechdicke $d_1$ =	20,0 mm
Blechdicke $d_2$ =	8,0 mm
Blechbreite $b_1$ =	160,00 mm
Blechhöhe $h_2$ =	280,00 mm
Schweißnahtlänge $l_1$ =	240,00 mm
Schweißnahtlänge $l_2$ =	200,00 mm



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

#### Belastung:

$M_{Ed}$ =	157,95 kNm
$V_{Ed}$ =	60,75 kN

#### Material und Sicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0}$ =	1,00	
$\gamma_{M2}$ =	1,25	
Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	= S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	= 23,5 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	= 36,0 kN/cm <sup>2</sup>
$\epsilon$ =	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	= 1,00
$\beta_w$ =	TAB("EC3_de/mat"; $\beta_{w}$ ; ID=Stahl)	= 0,80



#### Berechnung des Profils:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_{y,k}}{\gamma_{M0} * 10^2} = 310,76 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,51 < 1}}$$

wirksame Schubfläche:

$$\eta = 1,0$$

- für gewalzte Profile mit I- und H-Querschnitt, Lastrichtung parallel zum Steg:

$$A_v = \frac{\text{MAX}(A * 100 - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_f ; \eta * h_w * t_w)}{100} = 42,73 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 579,7 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \underline{\underline{0,10 < 1}}$$

#### Nachweis der Flanschnähte:



Bemessungsnormalkraft des Flansches

$$N_{Ed} = \frac{M_f}{h + d_1} * 10^3 = 340,74 \text{ kN}$$

Grenzscherfestigkeit der Flanschnähte:

$$f_{vw,Rd} = \frac{f_{u,k} / \sqrt{3}}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

Bemessungsspannung:

$$f_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{l_{wf} * a_f} * 10^2 = 11,83 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{f_{Ed}}{f_{vw,Rd}} = \underline{\underline{0,57 < 1}}$$



#### Nachweis der Stegnähte:

Schwerpunkt

$$e = \frac{2 \cdot I_2 \cdot \frac{I_2}{2} \cdot a_w}{I_{ww} \cdot a_w} = 58,82 \text{ mm}$$

$$I_x = \left( a_w \cdot \frac{h_2^3}{12} + 2 \cdot I_2 \cdot \left( \frac{h_2}{2} \right)^2 \cdot a_w \right) \cdot 10^{-4} = 3867,73 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \frac{h_2 \cdot a_w \cdot e^2 + \frac{2}{12} \cdot a_w \cdot I_2^3 + 2 \cdot I_2 \cdot a_w \cdot \left( \frac{I_2}{2} - e \right)^2}{10^4} = 1192,16 \text{ cm}^4$$

Bemessungsmoment



Maximale Schubspannung

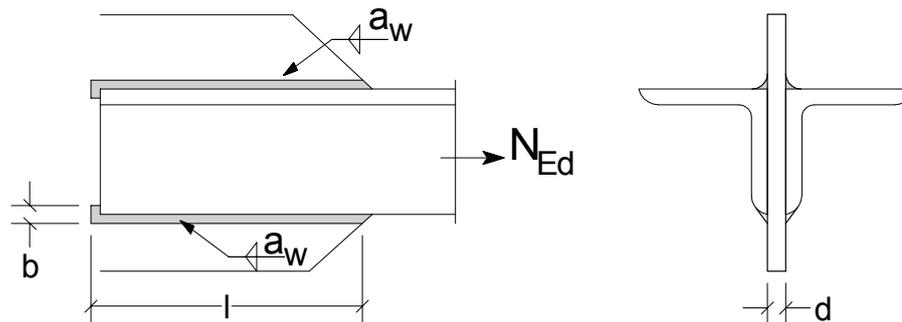
$$f_{Ex} = \frac{10 \cdot M_{Ew} \cdot h_2}{4 \cdot (I_x + I_y)} = 3,24 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{Ey} = \frac{V_{Ed} \cdot \frac{100 \cdot M_{Ew} \cdot \frac{I_2 - e}{10}}{I_{ww} \cdot \frac{a_w}{100}}}{2 \cdot (I_x + I_y)} = 5,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_E = \sqrt{f_{Ex}^2 + f_{Ey}^2} = 6,38 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{f_E}{f_{vw,Rd}} = \underline{\underline{0,31 < 1}}$$

### Doppel-Winkel an Knotenblech



#### Einwirkung:

$$N_{Ed} = 300,00 \text{ kN}$$

#### Maße:

$$\begin{aligned} \text{Umschweißungslänge } b &= 16,00 \text{ mm} \\ \text{Schweißnahtlänge } l &= 100,00 \text{ mm} \\ \text{Knotenblechdicke } d &= 10,00 \text{ mm} \\ \text{Schweißnahtstärke } a_w &= 4,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Verbindungswinkel } P &= \text{GEW}(\text{"EC3\_de/WG"; ID;}) &= & \text{L 60x6} \\ \text{Winkelfläche } A &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/WG"; A; ID=P}) &= & 6,91 \text{ cm}^2 \\ \text{Winkelbreite } h &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/WG"; h; ID=P}) &= & 60,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Material und Sicherheitsbeiwerte:

$$\begin{aligned} \gamma_{M0} &= 1,00 \\ \gamma_{M2} &= 1,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Stahl} &= \text{GEW}(\text{"EC3\_de/mat"; ID;}) &= & \text{S 235} \\ f_{y,k} &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{y,k}; \text{ID=Stahl})/10 &= & 23,5 \text{ kN/cm}^2 \\ f_{u,k} &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{u,k}; \text{ID=Stahl})/10 &= & 36,0 \text{ kN/cm}^2 \\ \beta_w &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } \beta_w; \text{ID=Stahl}) &= & 0,80 \end{aligned}$$

#### Plastische Grenzzugkraft (Winkel):

$$N_{Rd} = 2 * A * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = 324,77 \text{ kN}$$

#### Beanspruchbarkeit der Schweißnaht:

$$\begin{aligned} 3/a_w &= & \underline{\underline{0,75 \leq 1}} \\ l_{min} &= \text{MAX}(6*a_w; 30) &= & 30,00 \text{ mm} \\ l_{min}/l &= & \underline{\underline{0,30 \leq 1}} \\ l_{eff} &= l - 2 * a_w &= & 92,00 \text{ mm} \\ \text{Reduktionsfaktor} & & & \\ \beta_{Lw} &= 1,2 - 0,2 * \frac{l}{150 * a_w} &= & 1,17 \\ \beta_{Lw} &= \text{MIN}(1; \beta_{Lw}) &= & 1,00 \\ l &= \beta_{Lw} * l &= & 100,00 \text{ mm} \\ F_{w,Rd} &= 4 * l * a_w * \frac{f_{u,k}}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} * 10^{-2} &= & 332,55 \text{ kN} \end{aligned}$$



**Beanspruchbarkeit des Knotenbleches:**



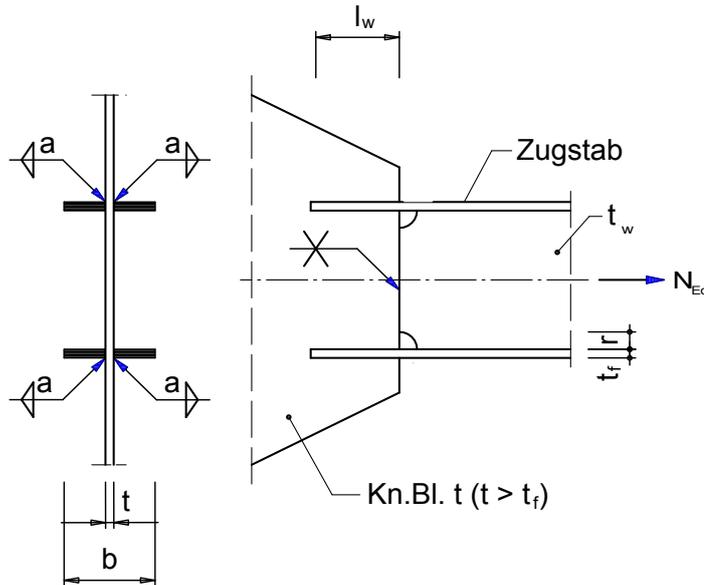
**Maximal zulässige Bemessungsnormalkraft :**

$$N_{Rd} = \text{MIN}(N_{Rd}; F_{w,Rd}; N_{Rdp}) = \underline{\underline{324,77 \text{ kN}}}$$

**Nachweis:**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \underline{\underline{0,92 \leq 1}}$$

### Zugstabanschluss an Knotenblech



#### Material:

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID; ) = S 355

#### Querschnitte / Geometrie:

Träger:  
 Träger Typ1 = GEW("EC3\_de/Profile"; ID;) = IPE  
 Träger-Profil ID1 = GEW("EC3\_de/"Typ1"; ID; ) = IPE 360  
 Ausrundungsradius r = 30,00 mm  
 Knotenblech:  
 Blechdicke t = 14,00 mm  
 Schweißnähte:  
 Kehlnähte a = 5,00 mm  
 Kehlnahtlänge  $l_w$  = 125,00 mm

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0}$  = 1,0  
 $\gamma_{M1}$  = 1,1  
 $\gamma_{M2}$  = 1,25

#### Materialkennwerte:

$f_{y,k}$  = TAB("EC3\_de/mat";  $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10 = 35,50 kN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{u,k}$  = TAB("EC3\_de/mat";  $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10 = 51,00 kN/cm<sup>2</sup>  
 $\varepsilon$  =  $\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$  = 0,81  
 $\beta_w$  = TAB("EC3\_de/mat";  $\beta_{w}$ ; ID=Stahl) = 0,90

#### Querschnittswerte:

Zugstab:  
 Höhe h = TAB("EC3\_de/"Typ1"; h; ID=ID1;) = 360,00 mm  
 Breite b = TAB("EC3\_de/"Typ1"; b; ID=ID1;) = 170,00 mm  
 Steg  $t_w$  = TAB("EC3\_de/"Typ1";  $t_w$ ; ID=ID1;) = 8,00 mm  
 Flansch  $t_f$  = TAB("EC3\_de/"Typ1";  $t_f$ ; ID=ID1;) = 12,70 mm  
 Stegfläche  $A_w$  =  $t_w \cdot (h - 2 \cdot (t_f + r)) / 100$  = 21,97 cm<sup>2</sup>  
 Flanschfläche  $A_f$  =  $t_f \cdot (b - t) / 100$  = 19,81 cm<sup>2</sup>



$$\begin{aligned} \text{Nettofläche } A_n &= A_w + 2 * A_f &= & 61,59 \text{ cm}^2 \\ \text{Steghöhe } h_w &= h - 2*t_f &= & 334,60 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Einwirkungen:

$$\text{Zugkraft } N_{Ed} = 1800,00 \text{ kN}$$

#### Einstufung des Querschnitts in Querschnittsklasse:

$$\begin{aligned} \text{Einseitig gestützter Flansch, auf Druck beansprucht} \\ c = (b - t_w - 2 * r) / 2 &= 51,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\frac{c/t_f}{9 * \epsilon} = \underline{\underline{0,55 < 1}}$$

⇒ Flansch: Klasse 1

Beidseitig gestützter Steg, auf Biegung beansprucht:

$$c = h_w - 2 * r = 274,60 \text{ mm}$$

$$\frac{c/t_w}{72 * \epsilon} = \underline{\underline{0,59 < 1}}$$

⇒ Steg: Klasse 1

⇒ **Querschnitt: Klasse 1**

#### Zugbeanspruchung:



#### Nachweis der Schweißnähte:

anteilige Steg- und Flanschkräfte:

$$F_{f,Ed} = \frac{A_f}{A_n} * N_{Ed} = 578,96 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} = \frac{A_w}{A_n} * N_{Ed} = 642,08 \text{ kN/cm}$$

#### Nachweis der Kehlnähte a:

$$\text{Mindestnahtdicke } a_{min} = 3,00 \text{ mm}$$

$$\frac{a_{min}}{a} = \underline{\underline{0,60 \leq 1}}$$

$$l_{min} = \text{MAX}(6*a;30) = 30,00 \text{ mm}$$

$$\frac{l_{min}}{l_w} = \underline{\underline{0,24 \leq 1}}$$

$$l_{eff} = l_w - 2 * a = 115,00 \text{ mm}$$

$$f_{vw,Rd} = \frac{f_{u,k} / \sqrt{3}}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 26,17 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{vw,Rd} = f_{vw,Rd} * a * l_{eff} / 100 = 150,48 \text{ kN/cm}$$



Resultierende der auf eine Kehlnahtfläche einwirkenden Kräfte

$$F_{vw,Ed} = F_{f,Ed} / 4 = 144,74 \text{ kN/cm}$$

**Nachweis der Schweißnaht a:**

$$\frac{F_{vw,Ed}}{F_{vw,Rd}} = \underline{\underline{0,96 < 1}}$$

**Nachweis der Stumpfnah:**

Nahtdicke (Nahtgüte nachgewiesen!!)

$$a = t_f = 12,70 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = h_w - 2 * r - 2 * a = 249,20 \text{ mm}$$

$$F_{vw,Rd} = f_{vw,Rd} * a * l_{eff} / 100 = 828,24 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} = F_{w,Ed} = 642,08 \text{ kN/cm}$$

**Nachweis der Schweißnaht:**

$$\frac{F_{vw,Ed}}{F_{vw,Rd}} = \underline{\underline{0,78 < 1}}$$

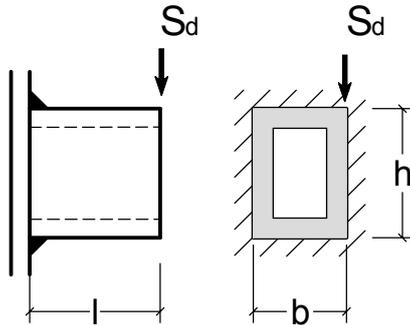
**Zugbeanspruchung im Flansch:**

$$N_{t,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} * A_f = 703,3 \text{ kN}$$

**Nachweis Zugbeanspruchung**

$$\frac{|F_{f,Ed}|}{N_{t,Rd}} = \underline{\underline{0,82 < 1}}$$

### Geschweißter Anschluss Rechteckquerschnitt



#### System:

Länge $l =$	200,00 mm
Breite $b =$	80,00 mm
Höhe $h =$	140,00 mm
Schweißnahtdicke $a_w =$	6,00 mm

#### Belastung:

$S_d =$	100,00 kN
---------	-----------

#### Teilsicherheitsbeiwert:

$\gamma_{M2} =$	1,25
-----------------	------

#### Material:

Stahl:			
Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$f_{u,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,0 kN/cm <sup>2</sup>
$\beta_w =$	TAB("EC3_de/mat"; $\beta_{aw}$ ; ID=Stahl)	=	0,80
$f_{w,Rd} =$	$\frac{f_{u,k}}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}}$	=	20,78 kN/cm <sup>2</sup>

#### Berechnung:

Querschnittswerte der Schweißnaht:



$$A = 0,02 * a_w * (b+h) = 26,40 \text{ cm}^2$$

Bemessungsschnittgrößen in Bezug auf den Schwerpunkt der Schweißnaht:

$S_{dz} =$	$S_d$	=	100,00 kN
$M_{y,Ed} =$	$S_d * l / 10$	=	2000,00 kNcm
$M_{t,Ed} =$	$S_d * b / 20$	=	400,00 kNcm



Spannungsermittlung am ungünstigsten Punkt:

$$\sigma_A = \frac{M_{y,Ed}}{I_y} * \frac{h}{20} = 18,80 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_1 = \frac{M_{t,Ed}}{I_p} * \frac{h}{20} = 2,63 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_2 = \frac{M_{t,Ed}}{I_p} * \frac{b}{20} + \frac{S_{dz}}{A} = 5,29 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Rightarrow \sigma_{res} = \sqrt{\sigma_A^2 + \tau_1^2 + \tau_2^2} = 19,71 \text{ kN/cm}^2$$

**Nachweis der Schweißnaht:**

$$\frac{\sigma_{res}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,95 < 1}}$$

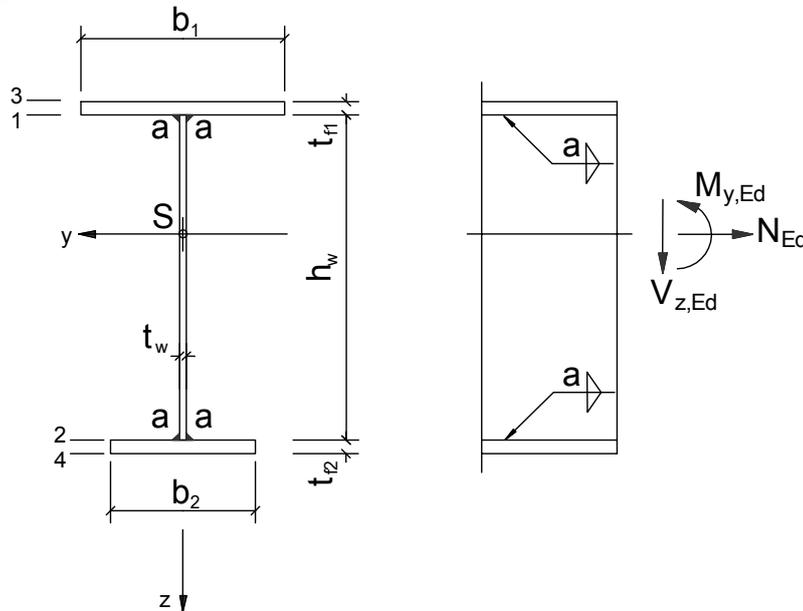
### Geschweißter Biegeträger (vereinfacht)

Beispiel eines seitlich gehaltenen, einfeldrigen, geschweißten, doppelsymmetrischen Biegeträgers  
 Querschnittsklasse 1, Beanspruchung  $M_{y,Ed}$ ,  $V_{z,Ed}$ ,  $N_{Ed}$

Nachweis der Schweißnähte nach {EC3-1-8: 4.5.3.3} (vereinfachtes Verfahren)

#### System / Geometrie:

Einfeldträger



Flansch oben $b_1 =$	250,0 mm
Flanschdicke oben $t_{f1} =$	20,0 mm
Steg $h_w =$	365,0 mm
Stegdicke $t_w =$	8,0 mm
Flansch unten $b_2 =$	150,0 mm
Flanschdicke unten $t_{f2} =$	15,0 mm
Kehlnaht $a =$	4,0 mm

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} =$	1,0
$\gamma_{M2} =$	1,25

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\epsilon =$	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	=	1,00
$\beta_w =$	TAB("EC3_de/mat"; $\beta_{w}$ ; ID=Stahl)	=	0,80
$f_{vw,Rd} =$	$\frac{f_{u,k}/\sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$	=	20,8 kN/cm <sup>2</sup>

**Einwirkungen (E):**

Moment $M_{y,Ed}$ =	125,00 kNm
Normalkraft $N_{Ed}$ =	-90,00 kN
Querkraft $V_{z,Ed}$ =	170,00 kN

**Querschnittswerte:****Einstufung des Querschnitts in Querschnittsklasse:**

Steg: Beanspruchung: Biegung und Druck

$$d = h_w - 2 * a * \sqrt{2} = 353,69 \text{ mm}$$

$$n = \frac{|N_{Ed}|}{A * f_{y,k} / \gamma_{M0}} = 0,04$$

$$\alpha = \left( \frac{n * A * 100}{d * t_w} + 1 \right) * \frac{1}{2} = 0,57$$

$$c = h_w - 2 * a * \sqrt{2} = 353,69 \text{ mm}$$

$$\text{WENN}(\alpha > 0,5; \frac{c/t_w}{396 * \epsilon / (13 * \alpha - 1)}; \frac{c/t_w}{36 * \epsilon / \alpha}) = \underline{0,72 < 1}$$

**⇒ Steg: Klasse 1**

Einseitig gestützter Flansch, auf Druck beansprucht:

$$c = (b_1 - t_w - 2 * a * \sqrt{2}) / 2 = 115,34 \text{ mm}$$

$$\frac{c/t_{f1}}{9 * \epsilon} = \underline{0,64 < 1}$$

**⇒ Flansch: Klasse 1****⇒ Gesamtquerschnitt: Klasse 1**



#### Momententragfähigkeit:

- für Querschnitte nach Klasse 1:  $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}}$

$$M_{y,pl,Rd} = W_{pl} \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \cdot 10^{-2} = 333,73 \text{ kNm}$$

$$M_{y,c,Rd} = M_{y,pl,Rd} = 333,73 \text{ kNm}$$

#### Nachweis Biegebeanspruchung:



#### Querkrafttragfähigkeit:

$$\eta = 1,0$$
$$A_{v,z} = \eta \cdot (h_w \cdot t_w) / 100 = 29,20 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 396,18 \text{ kN}$$

#### Nachweis Querkraftbeanspruchung:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,43 < 1}}$$

Außerdem ist

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,43 < 0,5}}$$

⇒ Momententragfähigkeit braucht nicht abgemindert werden

#### Nachweis der Schweißnähte a:

Tragfähigkeit der Schweißnaht (Doppelkehlnaht)

$$F_{vw,Rd} = f_{vw,Rd} \cdot 2 \cdot a / 10 = 16,64 \text{ kN/cm}$$

statisches Moment des im Betrachtungspunkt wegfallenden Querschnittsanteils:

$$S_{y1} = b_1 \cdot t_{f1} \cdot \frac{h_w + t_{f1}}{2} \cdot 10^{-3} = 962,50 \text{ cm}^3$$

maximaler Schubfluss zwischen Steg und Flansch

$$F_{vw,Ed} = \frac{V_{z,Ed} \cdot S_{y1}}{I_y} = 6,04 \text{ kN/cm}$$

#### Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{F_{vw,Ed}}{F_{vw,Rd}} = \underline{\underline{0,36 < 1}}$$

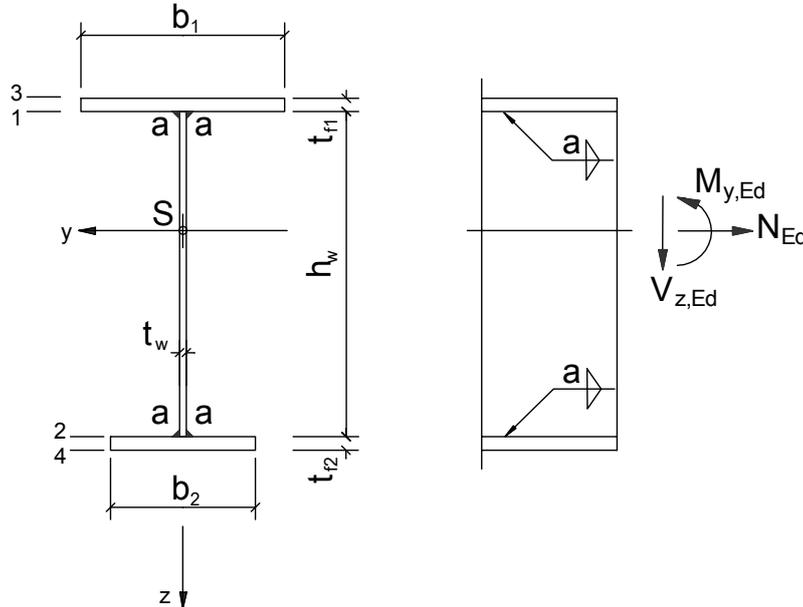
### Geschweißter Biegeträger (richtungsbezogen)

Seitlich gehaltener Biegeträger, Querschnittsklasse 1

Nachweis der Schweißnähte nach {EC3-1-8: 4.5.3.2} (richtungsbezogenes Verfahren)

#### System / Geometrie:

Einfeldträger, geschweißt, einfach symmetrisch



Flansch oben $b_1 =$	250,0 mm
Flanschdicke oben $t_{f1} =$	20,0 mm
Steg $h_w =$	365,0 mm
Stegdicke $t_w =$	8,0 mm
Flansch unten $b_2 =$	150,0 mm
Flanschdicke unten $t_{f2} =$	15,0 mm
Kehlnaht $a =$	4,0 mm

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} =$	1,0
$\gamma_{M2} =$	1,25

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon =$	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	=	1,00
$\beta_w =$	TAB("EC3_de/mat"; $\beta_{w}$ ; ID=Stahl)	=	0,80
$f_{w,Rd} =$	$\frac{f_{u,k}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>

#### Einwirkungen (E):

Moment $M_{y,Ed} =$	125,00 kNm
Normalkraft $N_{Ed} =$	-90,00 kN
Querkraft $V_{z,Ed} =$	180,00 kN



### Querschnittswerte:



### Einstufung des Querschnitts in Querschnittsklasse:

#### **Steg:**

$$d = h_w - 2 * a * \sqrt{2} = 353,69 \text{ mm}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} * A = 2390 \text{ kN}$$

$$n = \frac{|N_{Ed}|}{N_{pl,Rd}} = 0,04$$

$$\alpha = \left( \frac{n * A * 100}{d * t_w} + 1 \right) * \frac{1}{2} = 0,57$$

$$c = h_w - 2 * a * \sqrt{2} = 353,69 \text{ mm}$$

Kriterium für Querschnittsklasse 1:

$$\text{WENN}(\alpha > 0,5; \frac{c/t_w}{396 * \epsilon / (13 * \alpha - 1)}; \frac{c/t_w}{36 * \epsilon / \alpha}) = \underline{\underline{0,72 < 1}}$$

⇒ **Steg: Klasse 1**

Einseitig gestützter Flansch, auf Druck beansprucht:

$$c = (b_1 - t_w - 2 * a * \sqrt{2}) / 2 = 115,34 \text{ mm}$$

$$\frac{c/t_{f1}}{9 * \epsilon} = \underline{\underline{0,64 < 1}}$$

⇒ **Flansch: Klasse 1**

⇒ **Gesamtquerschnitt: Klasse 1**



#### Momententragfähigkeit:

- für Querschnitte nach Klasse 1 oder 2:  $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}}$

$$M_{y,pl,Rd} = W_{pl} \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \cdot 10^{-2} = 333,73 \text{ kNm}$$

$$M_{y,c,Rd} = M_{y,pl,Rd} = 333,73 \text{ kNm}$$

#### **Nachweis Biegebeanspruchung:**



$$\sigma_3 = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z_3 \cdot 10 = -7,80 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_4 = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z_4 \cdot 10 = 10,65 \text{ kN/cm}^2$$

Querschnittsfaser mit der maximalen Normalspannung hier

$$z_{maxs} = z_4 = 250,11 \text{ mm}$$

$$W_{eff,min} = \frac{I_y \cdot 10}{z_{maxs}} = 1083,48 \text{ cm}^3$$

$$M_{y,c,Rd} = W_{eff,min} \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \cdot 10^{-2} = 254,62 \text{ kNm}$$

#### **Nachweis Biegebeanspruchung:**

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}} = \underline{\underline{0,49 < 1}}$$



#### Querkrafttragfähigkeit:

$$\eta = 1,0$$
$$A_{v,z} = \eta * (h_w * t_w) / 100 = 29,20 \text{ cm}^2$$
$$V_{c,Rd} = A_{v,z} * \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 396,18 \text{ kN}$$

#### **Nachweis Querkraftbeanspruchung:**

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd}} = \underline{0,45 < 1}$$

Außerdem ist

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd}} = \underline{0,45 < 0,5}$$

⇒ Momenten Tragfähigkeit braucht nicht abgemindert werden

#### Nachweis der Schweißnähte a:

statisches Moment des im Betrachtungspunkt wegfallenden Querschnittsanteils:

$$S_{y1} = b_1 * t_{f1} * \frac{h_w + t_{f1}}{2} * 10^{-3} = 962,50 \text{ cm}^3$$

maximaler Schubfluss zwischen Steg und Flansch (Doppelkehlnaht)

$$\tau_{1,II,Ed} = \frac{V_{z,Ed} * S_{y1}}{I_y * 2 * a / 10} = 7,99 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = \sqrt{3 * (\tau_{1,II,Ed}^2)} = 13,84 \text{ kN/cm}^2$$

#### **Nachweis der Schweißnaht a:**

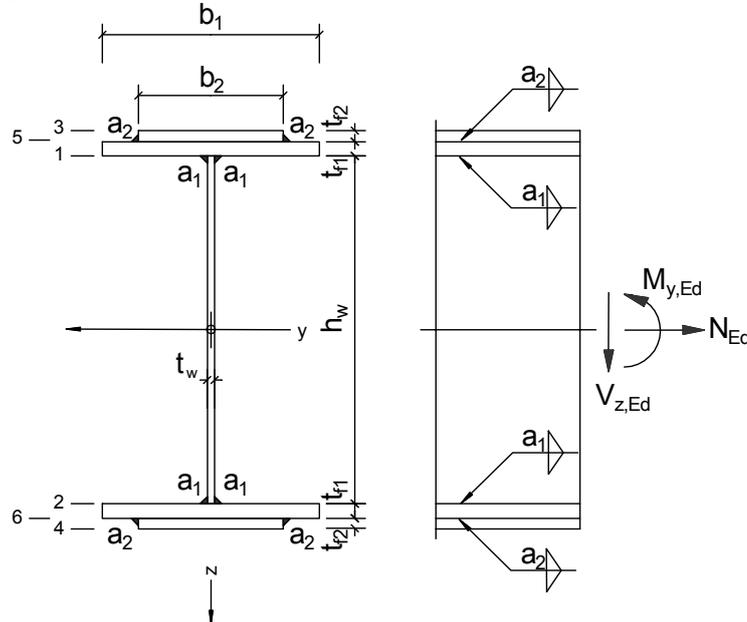
$$\frac{\sigma_{1,w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{0,38 < 1}$$

### Geschweißter Biegeträger mit Verstärkungslamellen (Klasse 1)

Seitlich gehaltener doppelsymmetrischer Biegeträger mit aufgeschweißten Verstärkungslamellen, Klasse 1

#### System / Geometrie:

Einfeldträger, geschweißt, doppelsymmetrisch



Steg $h_w$ =	340,0 mm
Steg $t_w$ =	8,0 mm
Flansch $b_1$ =	160,0 mm
Flansch $t_{f1}$ =	12,0 mm
Verstärkung $b_2$ =	80,0 mm
Verstärkung $t_{f2}$ =	8,0 mm
Schweißnaht $a_1$ =	3,0 mm
Schweißnaht $a_2$ =	3,0 mm

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0}$ =	1,0
$\gamma_{M2}$ =	1,25

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\epsilon$ =	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	=	1,00
$\beta_w$ =	TAB("EC3_de/mat"; $\beta_{w}$ ; ID=Stahl)	=	0,80
$f_{w,Rd}$ =	$\frac{f_{u,k}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{vw,Rd}$ =	$\frac{f_{u,k} / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$	=	20,78 kN/cm <sup>2</sup>

**Einwirkungen (E):**

Moment $M_{y,Ed}$ =	161,25 kNm
Normalkraft $N_{Ed}$ =	0,00 kN
Querkraft $V_{z,Ed}$ =	65,00 kN

**Einstufung des Querschnitts in Querschnittsklasse:**

Einseitig gestützter Flansch, auf Druck beansprucht

$$c = \frac{(b_1 - t_w - 2 * a_1 * \sqrt{2})}{2} = 71,76 \text{ mm}$$

$$\frac{c/t_{f1}}{9 * \epsilon} = \underline{\underline{0,66 < 1}}$$

⇒ Flansch: Klasse 1

Beidseitig gestützter Steg, auf Biegung beansprucht:

$$c = \frac{h_w - 2 * a_1 * \sqrt{2}}{2} = 331,51 \text{ mm}$$

Kriterium für Querschnittsklasse 1:

$$\frac{c/t_w}{72 * \epsilon} = \underline{\underline{0,58 < 1}}$$

⇒ Steg: Klasse 1

**⇒ Querschnitt: Klasse 1****Querschnittswerte:****Momententragfähigkeit:**- für Querschnitte nach Klasse 1 und Klasse 2:  $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd}$ 

$$M_{y,c,Rd} = 2 * S_y * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} * 10^{-2} = 269,10 \text{ kNm}$$

**Nachweis Biegebeanspruchung:**

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}} = \underline{\underline{0,60 < 1}}$$

**Querkrafttragfähigkeit:**

$$\eta = 1,0$$
$$A_{v,z} = \eta * (h_w * t_w) / 100 = 27,20 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = A_{v,z} * \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 369,04 \text{ kN}$$

**Nachweis Querkraftbeanspruchung:**

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,18 < 1}}$$

Außerdem ist

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,18 < 0,5}}$$

⇒ Momententragfähigkeit braucht nicht abgemindert werden

**Nachweis der Schweißnaht a<sub>1</sub>:**

$$F_{vw,Rd} = f_{vw,Rd} * 2 * a_1 / 10 = 12,47 \text{ kN/cm}$$

$$S_{y1} = \left( b_1 * t_{f1} * \frac{h_w + t_{f1}}{2} + b_2 * t_{f2} * \left( \frac{h_w}{2} + t_{f1} + \frac{t_{f2}}{2} \right) \right) * 10^{-3} = 456,96 \text{ cm}^3$$

$$F_{vw,Ed} = \frac{V_{z,Ed} * S_{y1}}{I_y} = 1,57 \text{ kN/cm}$$

**Nachweis der Schweißnaht a<sub>1</sub>:**

$$\frac{F_{vw,Ed}}{F_{vw,Rd}} = \underline{\underline{0,13 < 1}}$$

**Nachweis der Schweißnähte a<sub>2</sub>:**

$$S_{y2} = b_2 * t_{f2} * \left( \frac{h_w}{2} + t_{f1} + \frac{t_{f2}}{2} \right) * 10^{-3} = 119,04 \text{ cm}^3$$

$$\tau_{2,II,Ed} = \frac{V_{z,Ed} * S_{y2}}{I_y * a_2 / 10} = 1,36 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{2,w,Ed} = \sqrt{3 * (\tau_{2,II,Ed}^2)} = 2,36 \text{ kN/cm}^2$$

**Nachweis der Schweißnaht a<sub>2</sub>:**

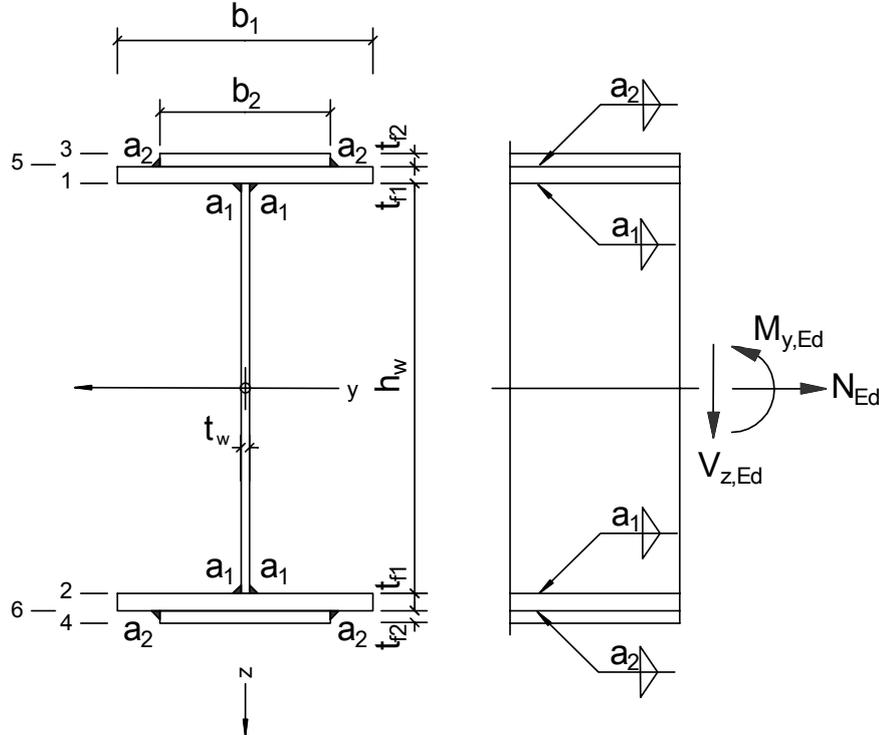
$$\frac{\sigma_{2,w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,07 < 1}}$$

### Geschweißter Biegeträger mit Verstärkungslamellen (Klasse 4)

Seitlich gehaltener doppelsymmetrischer Biegeträger mit aufgeschweißten Verstärkungslamellen, Klasse 4

#### System / Geometrie:

Einfeldträger, geschweißt, doppelsymmetrisch



Steg $h_w$ =	1400,0 mm
Steg $t_w$ =	10,0 mm
Flansch $b_1$ =	330,0 mm
Flansch $t_{f1}$ =	20,0 mm
Verstärkung $b_2$ =	300,0 mm
Verstärkung $t_{f2}$ =	18,0 mm
Schweißnaht $a_1$ =	4,0 mm
Schweißnaht $a_2$ =	4,0 mm

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\epsilon$ =	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	=	1,00
$\beta_w$ =	TAB("EC3_de/mat"; $\beta_{w}$ ; ID=Stahl)	=	0,80
$f_{w,Rd}$ =	$\frac{f_{u,k}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{vw,Rd}$ =	$\frac{f_{u,k} / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$	=	20,78 kN/cm <sup>2</sup>

#### Einwirkungen (E):

Moment $M_{y,Ed}$ =	4107,00 kNm
Normalkraft $N_{Ed}$ =	0,00 kN
Querkraft $V_{z,Ed}$ =	740,00 kN



#### Einstufung des Querschnitts in Querschnittsklasse:

Beidseitig gestützter Steg, auf Biegung beansprucht:

$$c = \frac{h_w - 2 \cdot a_1}{\sqrt{2}} = 1388,69 \text{ mm}$$

Kriterium für Querschnittsklasse 3:

$$\frac{c/t_w}{124 \cdot \epsilon} = \underline{\underline{1,12 \text{ nicht} < 1}}$$

⇒ Steg: Klasse 4

⇒ **Querschnitt: Klasse 4**



#### Querkrafttragfähigkeit:

$$\eta = 1,0$$
$$A_{v,z} = \eta \cdot (h_w \cdot t_w) / 100 = 140,00 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 1899,48 \text{ kN}$$

#### Nachweis Querkraftbeanspruchung:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,39 < 1}}$$

Außerdem ist

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,39 < 0,5}}$$

⇒ Momententragfähigkeit braucht nicht abgemindert werden

#### Nachweis der Schweißnaht a<sub>1</sub>:

$$S_{y1} = \left( b_1 \cdot t_{f1} \cdot \frac{h_w + t_{f1}}{2} + b_2 \cdot t_{f2} \cdot \left( \frac{h_w}{2} + t_{f1} + \frac{t_{f2}}{2} \right) \right) \cdot 10^{-3} = 8622,60 \text{ cm}^3$$

$$\tau_{1,II,Ed} = \frac{V_{z,Ed} \cdot S_{y1}}{I_y \cdot 2 \cdot a_1 / 10} = 5,43 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{1,w,Ed} = \sqrt{3 \cdot (\tau_{1,II,Ed})^2} = 9,41 \text{ kN/cm}^2$$

#### Nachweis der Schweißnaht a<sub>1</sub>:

$$\frac{\sigma_{1,w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,26 < 1}}$$



### Nachweis der Schweißnähte a<sub>2</sub>:

$$F_{vw,Rd} = f_{vw,Rd} * a_2 / 10 = 8,31 \text{ kN/cm}$$

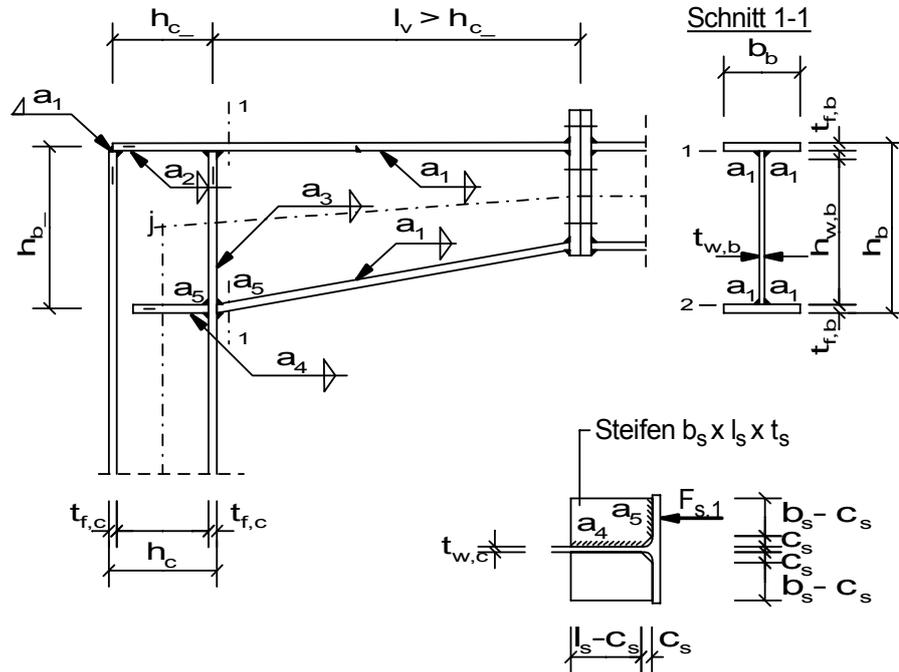
$$S_{y2} = b_2 * t_{f2} * \left( \frac{h_w}{2} + t_{f1} + \frac{t_{f2}}{2} \right) * 10^{-3} = 3936,60 \text{ cm}^3$$

$$F_{vw,Ed} = \frac{V_{z,Ed} * S_{y2}}{I_y} = 1,98 \text{ kN/cm}$$

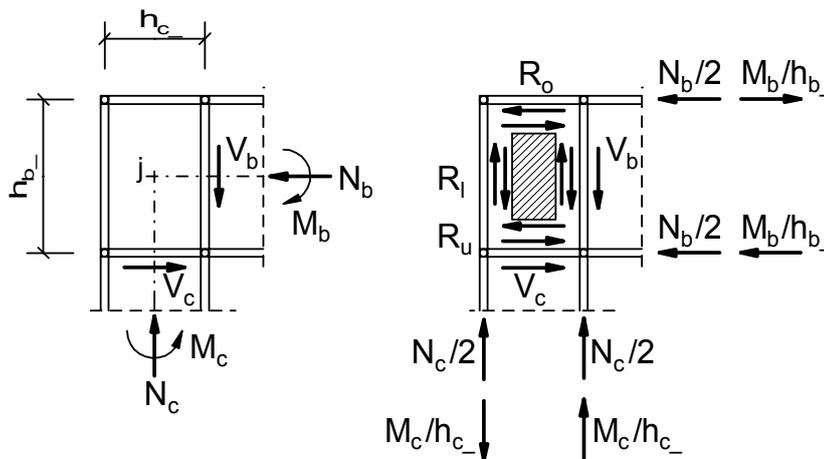
### Nachweis der Schweißnaht a<sub>2</sub>:

$$\frac{F_{vw,Ed}}{F_{vw,Rd}} = \underline{\underline{0,24 < 1}}$$

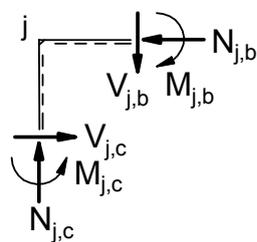
### Biegesteife Rahmenecke mit Voute



### Berechnungsmodell



### Knotenschnittgrößen



positive Knotenschnittgrößen  
Index "j": Systemknoten

### Querschnitte / Geometrie:

Stütze:

Stütze Typ1 = GEW("EC3\_de/Profile"; ID;) = HEA

Stützen-Profil ID1 = GEW("EC3\_de/Typ1; ID;) = HEA 600



Voutenabmessungen:

Voutenflanschbreite $b_b$ =	300,00 mm
Flanschdicke $t_{f,b}$ =	20,00 mm
Voutenhöhe $h_b$ =	1000,00 mm
Stegdicke $t_{w,b}$ =	10,00 mm

Steifen:

Steifenbreite $b_s$ =	140,00 mm
Länge $l_s$ =	450,00 mm
Dicke $t_s$ =	20,00 mm
Eckverschnitt $c_s$ =	30,00 mm

Schweißnähte:

Halskehlnaht Voute $a_1$ =	4,00 mm
Stegnaht V.-flansch-Stiel $a_2$ =	4,00 mm
Stegnaht Rahmenriegel $a_3$ =	3,00 mm
Steifennaht $a_4$ =	8,00 mm
Steifennaht $a_5$ =	8,00 mm

**Teilsicherheitsbeiwerte:**

$\gamma_{M0}$ =	1,0
$\gamma_{M1}$ =	1,1
$\gamma_{M2}$ =	1,25

**Material:**

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,50 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
$\epsilon$ =	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	=	1,00
E =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)	=	210000,00 N/mm <sup>2</sup>
$\beta_w$ =	TAB("EC3_de/mat"; $\beta_{w}$ ; ID=Stahl)	=	0,80
$f_{w,Rd}$ =	$\frac{f_{u,k}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{vw,Rd}$ =	$\frac{f_{u,k} / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$	=	20,78 kN/cm <sup>2</sup>

**Querschnittswerte:**

Stiel (c):

Höhe $h_c$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; h; ID=ID1;)	=	590,00 mm
Breite $b_c$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; b; ID=ID1;)	=	300,00 mm
Steg $t_{w,c}$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; $t_w$ ; ID=ID1;)	=	13,00 mm
Flansch $t_{f,c}$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; $t_f$ ; ID=ID1;)	=	25,00 mm
Radius $r_c$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; r; ID=ID1;)	=	27,00 mm
Fläche $A_c$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; A; ID=ID1)	=	226,00 cm <sup>2</sup>
Trägheitsmoment $I_{y,c}$ =	TAB("EC3_de/"Typ1; $I_y$ ; ID=ID1;)	=	141200,00 cm <sup>4</sup>
$h_{c-}$ =	$h_c - t_{f,c}$	=	565,00 mm
gerader Stegteil $d_c$ =	$h_c - 2 \cdot t_{f,c} - 2 \cdot r_c$	=	486,00 mm
$h_{w,c}$ =	$h_c - 2 \cdot t_{f,c}$	=	540,00 mm



Voute (b):

$$\begin{aligned}h_{w,b} &= h_b - 2 * t_{f,b} &= & 960,00 \text{ mm} \\A_b &= (t_{w,b} * h_{w,b} + 2 * b_b * t_{f,b}) / 100 &= & 216,00 \text{ cm}^2 \\A_{bz} &= t_{w,b} * h_{w,b} / 100 &= & 96,00 \text{ cm}^2 \\I_{y,b} &= \left( t_{w,b} * \frac{h_{w,b}^3}{12} + 2 * \left( b_b * \frac{t_{f,b}^3}{12} + b_b * t_{f,b} * \frac{(h_{w,b} + t_{f,b})^2}{4} \right) \right) * 10^{-4} &= & 361888,00 \text{ cm}^4 \\W_{y,b} &= 2 * \frac{I_{y,b}}{h_b} * 10 &= & 7237,76 \text{ cm}^3 \\W_{y,1} &= 2 * \frac{I_{y,b}}{h_{w,b}} * 10 &= & 7539,33 \text{ cm}^3 \\W_{y,2} &= 2 * \frac{I_{y,b}}{h_{w,b}} * 10 &= & 7539,33 \text{ cm}^3 \\S_{y,a1} &= b_b * t_{f,b} * \frac{h_{w,b} + t_{f,b}}{2} * 10^{-3} &= & 2940,00 \text{ cm}^3 \\h_{b\_} &= h_b - t_{f,b} &= & 980,00 \text{ mm} \\gerader Stegteil d_b &= h_b - 2 * t_{f,b} - 2 * a_1 * \sqrt{2} &= & 948,69 \text{ mm}\end{aligned}$$

### Einwirkungen



### Einstufung des Trägerquerschnitts in Querschnittsklasse:

**Steg:**  
Beanspruchung: Biegung und Druck

$$\begin{aligned}c &= h_{w,b} - 2 * a_1 * \sqrt{2} &= & 948,69 \text{ mm} \\N_{pl,Rd} &= A_b * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} &= & 5076 \text{ kN} \\n_b &= \frac{|N_{b,Ed}|}{N_{pl,Rd}} &= & 0,02 \\alpha &= \left( \frac{n_b * A_b * 100}{d_b * t_{w,b}} + 1 \right) * \frac{1}{2} &= & 0,52\end{aligned}$$

Kriterium für Querschnittsklasse 2:

$$\text{WENN}(\alpha > 0,5; \frac{c/t_{w,b}}{456 * \epsilon / (13 * \alpha - 1)}; \frac{c/t_{w,b}}{41,5 * \epsilon / \alpha}) = \underline{\underline{1,20 \text{ nicht} < 1}}$$

**Prüfung, ob Steg der Querschnittsklasse 3 angehört:**

Annahme: Elastische Spannungsverteilung

$$e_{z1} = (h_b - 2 \cdot t_{f,b}) / 2 = 480,00 \text{ mm}$$

Spannung am oberen Stegrand (Zug):

$$\sigma_1 = \frac{N_{b,Ed}}{A_b} - \frac{M_{b,Ed}}{I_{y,b}} \cdot e_{z1} \cdot 10 = -10,39 \text{ kN/cm}^2$$

Spannung am unteren Stegrand (Druck):

$$\sigma_2 = \frac{N_{b,Ed}}{A_b} + \frac{M_{b,Ed}}{I_{y,b}} \cdot e_{z1} \cdot 10 = 11,38 \text{ kN/cm}^2$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -1,10$$

$$c = h_{w,b} - 2 \cdot a_1 \cdot \sqrt{2} = 948,69 \text{ mm}$$

Kriterium für Querschnittsklasse 3:

$$\text{WENN}(\psi > -1; \frac{c/t_{w,b}}{42 \cdot \epsilon / (0,67 + 0,33 \cdot \psi)}; \frac{c/t_{w,b}}{62 \cdot \epsilon \cdot (1 - \psi) \cdot \sqrt{|\psi|}}) = \underline{\underline{0,69 < 1}}$$

**⇒ Steg: Klasse 3****Flansch:**

$$c = (b_b - t_{w,b} - 2 \cdot a_1 \cdot \sqrt{2}) / 2 = 139,34 \text{ mm}$$

$$\frac{c/t_{f,b}}{9 \cdot \epsilon} = \underline{\underline{0,77 < 1}}$$

**⇒ Flansch: Klasse 1****⇒ Gesamtquerschnitt Träger: Klasse 3****Einstufung des Stützenquerschnitts in Querschnittsklasse:****Steg:**

Beanspruchung: Biegung und Druck

$$c = d_c = 486,00 \text{ mm}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \cdot A_c = 5311,00 \text{ kN}$$

$$n_c = \frac{|N_{c,Ed}|}{N_{pl,Rd}} = 0,05$$

$$\alpha = \left( \frac{n_c \cdot A_c \cdot 100}{d_c \cdot t_{w,c}} + 1 \right) \cdot \frac{1}{2} = 0,59$$

$$\text{WENN}(\alpha > 0,5; \frac{c/t_{w,c}}{396 \cdot \epsilon / (13 \cdot \alpha - 1)}; \frac{c/t_{w,c}}{36 \cdot \epsilon / \alpha}) = \underline{\underline{0,63 < 1}}$$

**⇒ Steg: Klasse 1****Flansch:**

$$c = (b_c - t_{w,c} - 2 \cdot r_c) / 2 = 116,50 \text{ mm}$$

$$\frac{c/t_{f,c}}{9 \cdot \epsilon} = \underline{\underline{0,52 < 1}}$$

**⇒ Flansch: Klasse 1****⇒ Gesamtquerschnitt Stütze: Klasse 1**



#### Nachweise für den Voutenquerschnitt:

Trägerobergurt mit Zugbeanspruchung

$$F_{t,fb,Rd} = \frac{t_{f,b} \cdot b_b \cdot f_{y,k}}{100 \cdot \gamma_{M0}} = 1410,00 \text{ kN}$$

Trägeruntergurt mit Druckbeanspruchung

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{t_{f,b} \cdot b_b \cdot f_{y,k}}{100 \cdot \gamma_{M0}} = 1410,00 \text{ kN}$$

Trägersteg mit Schubbeanspruchung

$$A_{v,b} = t_{w,b} \cdot h_{w,b} / 100 = 96,00 \text{ cm}^2$$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot A_{v,b} = 1302,50 \text{ kN}$$

#### Nachweis des Trägerquerschnitts am Anschnitt:

$$\frac{|F_{b,1}|}{F_{t,fb,Rd}} = \underline{0,56 < 1}$$

$$\frac{|F_{b,2}|}{F_{c,fb,Rd}} = \underline{0,63 < 1}$$

$$\frac{|V_{w,b}|}{V_{z,pl,Rd}} = \underline{0,20 < 1}$$

#### Nachweis der Schweißnaht a<sub>1</sub>:



#### Stützensteg mit Schubbeanspruchung:

$$\frac{d_c / t_{w,c}}{69 \cdot \epsilon} = \underline{0,54 < 1}$$

$$\eta = 1,0$$
$$A_{v,c} = \frac{\text{MAX}(A_c \cdot 100 - 2 \cdot b_c \cdot t_{f,c} + (t_{w,c} + 2 \cdot r_c) \cdot t_{f,c}; \eta \cdot h_{w,c} \cdot t_{w,c})}{100} = 92,75 \text{ cm}^2$$

$$V_{wpl,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot 0,9 \cdot A_{v,c} = 1132,57 \text{ kN}$$

$$F_{wp,Ed} = \text{MAX}(\text{ABS}(R_o); \text{ABS}(R_r)) = 1360,37 \text{ kN}$$

#### Nachweis des Stützenstegs mit Schubbeanspruchung:

$$\frac{|F_{wp,Ed}|}{V_{wpl,Rd}} = \underline{1,20 \text{ nicht } < 1}$$

⇒ Aussteifen des Stützenstegs erforderlich (siehe unten)



#### Stützensteg mit Druckbeanspruchung:

$$f_{y,wc} = f_{y,k} = 23,50 \text{ kN/cm}^2$$

#### Reduktionsfaktor $\omega$ für Schub:

$$s = r_c = 27,00 \text{ mm}$$

$$a_b = a_5 = 8,00 \text{ mm}$$

- für einen geschweißten Anschluss

$$b_{\text{eff},c,wc} = t_{f,b} + 2 * \sqrt{2} * a_b + 5 * (t_{f,c} + s) = 302,63 \text{ mm}$$

$$\text{Übertragungsparameter } \beta = 1,00$$

$$\Rightarrow \omega = \omega_1$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 * (b_{\text{eff},c,wc} * t_{w,c} / (A_{v,c} * 100))^2}} = 0,90$$

#### Reduktionsfaktor $k_{wc}$ für gleichzeitig wirkende Druckspannungen im Stützensteg infolge Biegemoment und Normkraft in der Stütze:



#### Reduktionsfaktor $\rho$ für Stegbeulen:

- bei einer Stütze mit gewalztem I- oder H-Querschnitt

$$d_{wc} = h_c - 2 * (t_{f,c} + r_c) = 486,00 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\text{quer},p} = 0,932 * \sqrt{\frac{b_{\text{eff},c,wc} * d_{wc} * f_{y,wc}}{E * t_{w,c}^2}} = 0,29$$

$$\rho = \text{WENN}(\lambda_{\text{quer},p} > 0,72; \frac{\lambda_{\text{quer},p}^{-0,2}}{2}; 1) = 1,00$$

$$H_{c,wc,Rd} = \omega * k_{wc} * b_{\text{eff},c,wc} * t_{w,c} / 100 = 35,20 \text{ cm}^2$$

$$F_{c,wc,Rd} = \text{MIN}(H_{c,wc,Rd} * \rho * \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M1}}; H_{c,wc,Rd} * \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}) = 752,00 \text{ kN}$$

#### Nachweis Einleitung der Untergurtkraft des Trägers in den Stützensteg:

$$\frac{|F_{b,2}|}{F_{c,wc,Rd}} = \underline{\underline{1,18 \text{ nicht} < 1}}$$

⇒ Aussteifen des Stützenstegs erforderlich (siehe unten)



#### Stützenflansch mit Biegebeanspruchung:

$$\begin{aligned} s &= r_c &= & 27,00 \text{ mm} \\ \text{Streckgrenze des Flansches des I- oder H-Querschnitts} & & & \\ f_{y,f} &= f_{y,k} &= & 23,50 \text{ kN/cm}^2 \\ \text{Streckgrenze des angeschweißten Trägers} & & & \\ f_{y,b} &= f_{y,k} &= & 23,50 \text{ kN/cm}^2 \\ k &= \text{MIN}\left(\frac{t_{f,c}}{t_{f,b}} \cdot \frac{f_{y,f}}{f_{y,b}}; 1\right) &= & 1,00 \\ b_{\text{eff},b,fc} &= t_{w,c} + 2 \cdot s + 7 \cdot k \cdot t_{f,c} &= & 242,00 \text{ mm} \\ \text{angeschweißter Träger} & & & \\ f_{u,p} &= f_{u,k} &= & 36,00 \text{ kN/cm}^2 \\ f_{y,p} &= f_{y,k} &= & 23,50 \text{ kN/cm}^2 \\ b_p &= b_b &= & 300,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Nachweis des Stützengurtes für die Zug- und Druckbeanspruchung:



#### Trägeruntergurt mit Druckbeanspruchung:

$$F_{c,fb,Rd} = t_{f,b} \cdot b_b / 100 \cdot f_{y,k} / \gamma_{M0} = 1410,00 \text{ kN}$$

#### Nachweis des Trägergurtes mit Druckbeanspruchung:

$$\frac{|F_{b,2}|}{F_{c,fb,Rd}} = \underline{\underline{0,63 < 1}}$$

#### Träger mit Querkraftbeanspruchung:

$$A_{v,b} = t_{w,b} \cdot h_{w,b} / 100 = 96,00 \text{ cm}^2$$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot A_{v,b} = 1302,50 \text{ kN}$$

#### Nachweis Träger mit Querkraftbeanspruchung:

$$\frac{|V_{w,b}|}{V_{z,pl,Rd}} = \underline{\underline{0,20 < 1}}$$

#### Prüfung ob Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche erforderlich:

$$\eta = 1,20$$

$$\frac{h_{w,c} / t_{w,c}}{72 \cdot \varepsilon / \eta} = \underline{\underline{0,69 < 1}}$$

⇒ kein Nachweis gegen Schubbeulen erforderlich.



#### Nachweis der Verlängerung des Zuggurtes und der Anschlussnähte:

Trägergurt:

$$A_{f,b} = b_b \cdot t_{f,b} / 100 = 60,00 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \cdot A_{f,b} = 1410,00 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = R_o = 784,30 \text{ kN}$$

#### Nachweis Zugbeanspruchung des Trägergurtes

$$\frac{|N_{Ed}|}{N_{t,Rd}} = \underline{0,56 < 1}$$

#### Kehlnähte a<sub>1</sub>:



#### Nachweis der Stegnähte a<sub>3</sub>:

$$\frac{a_{\min}}{a_3} = \underline{1,00 \leq 1}$$

$$l_{\min} = \text{MAX}(6 \cdot a_3; 30) = 30,00 \text{ mm}$$

$$l_{w3} = h_b - 2 \cdot t_{f,b} - 2 \cdot a_1 \cdot \sqrt{2} = 948,69 \text{ mm}$$

$$\frac{l_{\min}}{l_{w3}} = \underline{0,03 \leq 1}$$

$$l_{\text{eff}} = l_{w3} - 2 \cdot a_3 = 942,69 \text{ mm}$$

$$F_{vw,Rd} = f_{vw,Rd} \cdot a_3 \cdot l_{\text{eff}} / 100 = 587,67 \text{ kN}$$

$$F_{vw,Ed} = V_{b,Ed} / 2 = 132,30 \text{ kN}$$

#### Nachweis der Schweißnaht a<sub>3</sub>:

$$\frac{F_{vw,Ed}}{F_{vw,Rd}} = \underline{0,23 < 1}$$



### Steifen zur Krafteinleitung der Untergurtkraft des Trägers in den Stützensteg:

#### **Aufteilung der einzuleitenden Kraft auf Steifen und Steg**

Ein Teil der Kraft  $F_{b,2}$  wird direkt in den Stielsteg eingeleitet. Die Restkraft  $F_s$  wird von den Lasteinleitungsrippen übernommen.

$$F_s = \frac{b_s - c_s}{2 * b_s + t_{w,c}} * 2 * F_{b,2} = 668,78 \text{ kN}$$

$$M_s = \frac{b_s + c_s}{4 * 10} * F_s = 2842,32 \text{ kNcm}$$

Kraft auf eine Steife (Rippe)

$$F_{s,1} = F_s / 2 = 334,39 \text{ kN}$$

Kraft auf den Steg

$$F_{w,c,s} = F_{b,2} - 2 * F_{s,1} = 221,92 \text{ kN}$$

$$A_s = (b_s - c_s) * t_s / 100 = 22,00 \text{ cm}^2$$

Tragfähigkeit Druckbeanspruchung einer Steife

$$N_{c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} * A_s = 517,00 \text{ kN}$$

#### **Nachweis Druckbeanspruchung der Steife**

$$\frac{|F_{s,1}|}{N_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,65 < 1}}$$

#### **Nachweis Einleitung der Untergurtkraft des Trägers in den Stützensteg:**

$$\frac{|F_{w,c,s}|}{F_{c,w,c,Rd}} = \underline{\underline{0,30 < 1}}$$

#### **Nachweis der Steiffnähte $a_5$ :**

$$\frac{a_{\min}}{a_5} = \underline{\underline{0,38 \leq 1}}$$

$$l_{\min} = \text{MAX}(6 * a_5; 30) = 48,00 \text{ mm}$$

$$l_{w5} = 2 * b_s - c_s - 2 * a_5 = 234,00 \text{ mm}$$

$$\frac{l_{\min}}{l_{w5}} = \underline{\underline{0,21 \leq 1}}$$

$$l_{\text{eff}} = l_{w5} - 2 * a_5 = 218,00 \text{ mm}$$

$$F_{vw,Rd} = f_{vw,Rd} * a_5 * l_{\text{eff}} / 100 = 362,40 \text{ kN}$$

Ein Teil der Kraft  $F_{b,2}$  wird direkt in den Stielsteg eingeleitet. Die Restkraft  $F_s$  wird von den Lasteinleitungsrippen übernommen.

$$F_s = \frac{b_s - c_s}{2 * b_s + t_{w,c}} * 2 * F_{b,2} = 668,8 \text{ kN}$$

Resultierende der auf eine Kehlnahtfläche einwirkenden Kräfte

$$F_{vw,Ed} = F_s / 2 = 334,4 \text{ kN}$$

#### **Nachweis der Schweißnaht $a_5$ :**

$$\frac{F_{vw,Ed}}{F_{vw,Rd}} = \underline{\underline{0,92 < 1}}$$



### Nachweis der Trägernäht a<sub>5</sub>:

$$\frac{a_{\min}}{a_5} = \underline{0,38 \leq 1}$$



### Nachweis der Schweißnaht a<sub>5</sub>:

$$\frac{F_{vw,Ed}}{F_{vw,Rd}} = \underline{0,47 < 1}$$

### Nachweis der Steifennähte a<sub>4</sub>:

Ein Teil der Kraft  $F_{b,2}$  wird direkt in den Stielsteg eingeleitet. Die Restkraft  $F_s$  wird von den Lasteinleitungsrippen übernommen.

$$F_s = F_{b,2} \cdot 2 \cdot \frac{b_s - c_s}{2 \cdot b_s + t_{w,c}} = 668,78 \text{ kN}$$

$$M_s = \frac{b_s + c_s}{4 \cdot 10} \cdot F_s = 2842,32 \text{ kNcm}$$

$$A_{w4} = 2 \cdot a_4 \cdot (l_s - c_s) / 100 = 67,20 \text{ cm}^2$$

$$W_{w4} = 2 \cdot a_4 \cdot (l_s - c_s)^2 / (6 \cdot 1000) = 470,40 \text{ cm}^3$$

$$\tau_{II,Ed} = \frac{F_s}{A_{w4}} = 9,95 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{orth,Ed} = \frac{M_s / \sqrt{2}}{W_{w4}} = 4,27 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{orth,Ed} = \tau_{orth,Ed} = 4,27 \text{ kN/cm}^2$$

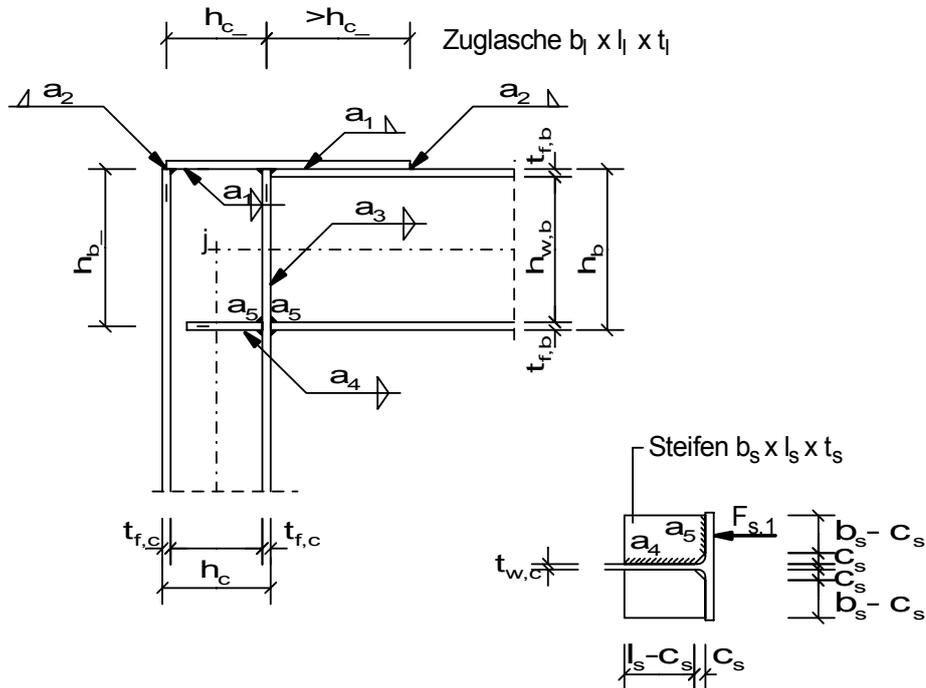
$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\sigma_{orth,Ed}^2 + 3 \cdot (\tau_{II,Ed}^2 + \tau_{orth,Ed}^2)} = 19,23 \text{ kN/cm}^2$$

### Nachweis der Schweißnaht:

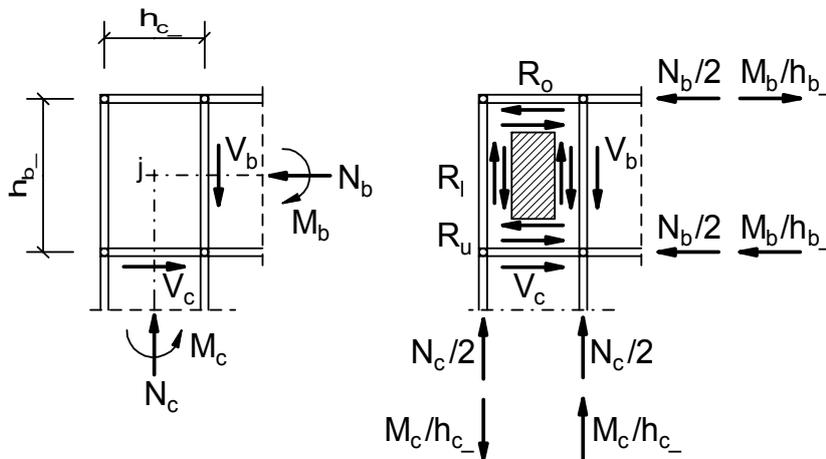
$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{0,53 < 1}$$

$$\frac{\sigma_{orth,Ed}}{0,9 \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2}} = \underline{0,16 < 1}$$

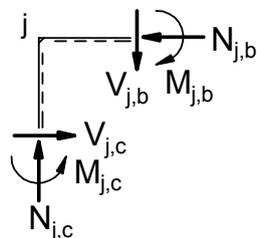
### Biegesteife Rahmenecke mit Zuglasche



#### Berechnungsmodell



#### Knotenschnittgrößen



positive Knotenschnittgrößen  
Index "j": Systemknoten

#### Querschnitte / Geometrie:

Träger:		
Träger Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	= IPE
Träger-Profil ID1 =	GEW("EC3_de"/"Typ1; ID; )	= IPE 270
Stütze:		
Stütze Typ2 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	= HEB
Stützen-Profil ID2 =	GEW("EC3_de"/"Typ2; ID; )	= HEB 180



# Stahlbau nach EN 1993

## Kapitel Schweißverbindungen

DIN  
EN 1993

Seite: 205

Zuglasche:  
 Zuglaschenbreite  $b_l =$  150,0 mm  
 Länge  $l_l =$  450,0 mm  
 Dicke  $t_l =$  10,0 mm

Steifen:  
 Steifenbreite  $b_s =$  65,0 mm  
 Länge  $l_s =$  130,0 mm  
 Dicke  $t_s =$  10,0 mm  
 Eckverschnitt  $c_s =$  15,0 mm

Schweißnähte:  
 Kehlnaht Zuglasche längs  $a_1 =$  5,0 mm  
 Kehlnaht Zuglasche quer  $a_2 =$  3,0 mm  
 Steгнаht Rahmenriegel  $a_3 =$  3,0 mm  
 Steifennaht  $a_4 =$  5,0 mm  
 Steifennaht  $a_5 =$  5,0 mm

### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} =$  1,0  
 $\gamma_{M1} =$  1,1  
 $\gamma_{M2} =$  1,25

### Material:

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID; ) = S 235  
 $f_{y,k} =$  TAB("EC3\_de/mat";  $f_{y,k}$ ; ID=Stahl)/10 = 23,50 kN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{u,k} =$  TAB("EC3\_de/mat";  $f_{u,k}$ ; ID=Stahl)/10 = 36,00 kN/cm<sup>2</sup>  
 $\epsilon =$   $\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$  = 1,00  
 $E =$  TAB("EC3\_de/mat"; E; ID=Stahl) = 210000 N/mm<sup>2</sup>  
 $\beta_w =$  TAB("EC3\_de/mat";  $\beta_w$ ; ID=Stahl) = 0,80  
 $f_{w,Rd} =$   $\frac{f_{u,k}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$  = 36,00 kN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{vw,Rd} =$   $\frac{f_{u,k} / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$  = 20,8 kN/cm<sup>2</sup>

### Querschnittswerte:

Riegel:  
 Höhe  $h_b =$  TAB("EC3\_de/"Typ1; h; ID=ID1;) = 270,00 mm  
 Breite  $b_b =$  TAB("EC3\_de/"Typ1; b; ID=ID1;) = 135,00 mm  
 Steg  $t_{w,b} =$  TAB("EC3\_de/"Typ1;  $t_w$ ; ID=ID1;) = 6,60 mm  
 Flansch  $t_{f,b} =$  TAB("EC3\_de/"Typ1;  $t_f$ ; ID=ID1;) = 10,20 mm  
 Radius  $r_b =$  TAB("EC3\_de/"Typ1; r; ID=ID1;) = 15,00 mm  
 Fläche  $A_b =$  TAB("EC3\_de/"Typ1; A; ID=ID1) = 45,90 cm<sup>2</sup>  
 Trägheitsmoment  $I_{y,b} =$  TAB("EC3\_de/"Typ1;  $I_y$ ; ID=ID1;) = 5790,00 cm<sup>4</sup>  
 gerader Stegteil  $d_b =$   $h_b - 2 \cdot t_{f,b} - 2 \cdot r_b$  = 219,60 mm  
 $h_{w,b} =$   $h_b - 2 \cdot t_{f,b}$  = 249,60 mm  
 $h_{b-} =$   $h_b - t_{f,b}$  = 259,80 mm



Stiel:			
Höhe $h_c$ =	TAB("EC3_de/"Typ2; h;ID=ID2;)	=	180,00 mm
Breite $b_c$ =	TAB("EC3_de/"Typ2; b;ID=ID2;)	=	180,00 mm
Steg $t_{w,c}$ =	TAB("EC3_de/"Typ2; t_w;ID=ID2;)	=	8,50 mm
Flansch $t_{f,c}$ =	TAB("EC3_de/"Typ2; t_f;ID=ID2;)	=	14,00 mm
Radius $r_c$ =	TAB("EC3_de/"Typ2; r;ID=ID2;)	=	15,00 mm
Fläche $A_c$ =	TAB("EC3_de/"Typ2; A; ID=ID2)	=	65,30 cm <sup>2</sup>
Trägheitsmoment $I_{y,c}$ =	TAB("EC3_de/"Typ2; I_y;ID=ID2;)	=	3830,00 cm <sup>4</sup>
gerade Stegteilhöhe $d_c$ =	$h_c - 2*t_{f,c} - 2*r_c$	=	122,00 mm
$h_{w,c}$ =	$h_c - 2*t_{f,c}$	=	152,00 mm
$h_{c-}$ =	$h_c - t_{f,c}$	=	166,00 mm

### Einwirkungen

(Indizes: Systemknoten j, Träger bzw. Riegel b, Stütze bzw. Stiel c, oben 1, unten 2)

#### am Knotenpunkt:

$N_{j,c,Ed}$ =	57,00 kN
$V_{j,c,Ed}$ =	36,00 kN
$M_{j,c,Ed}$ =	45,00 kNm
$N_{j,b,Ed}$ =	36,00 kN
$V_{j,b,Ed}$ =	57,00 kN
$M_{j,b,Ed}$ =	45,00 kNm

#### am Anschnitt:

$N_{c,Ed}$ =	$N_{j,c,Ed}$	=	57,00 kN
$V_{c,Ed}$ =	$V_{j,c,Ed}$	=	36,00 kN
$M_{c,Ed}$ =	$M_{j,c,Ed} - V_{j,c,Ed} * h_{b-} / (2*1000)$	=	40,32 kNm
$N_{b,Ed}$ =	$N_{j,b,Ed}$	=	36,00 kN
$V_{b,Ed}$ =	$V_{j,b,Ed}$	=	57,00 kN
$M_{b,Ed}$ =	$M_{j,b,Ed} - V_{j,b,Ed} * h_{c-} / (2*1000)$	=	40,27 kNm

#### Normalkräfte im Trägergurt:

$F_{b,1}$ =	$\frac{N_{b,Ed}}{2} - \frac{M_{b,Ed}}{h_{b-}} * 10^3$	=	-137,00 kN
$F_{b,2}$ =	$\frac{N_{b,Ed}}{2} + \frac{M_{b,Ed}}{h_{b-}} * 10^3$	=	173,00 kN
$\max F_b$ =	$\text{MAX}(\text{ABS}(F_{b,1}); \text{ABS}(F_{b,2}))$	=	173,00 kN

#### Querkräfte in den Stegen:

$V_{w,b}$ =	$V_{b,Ed}$	=	57,00 kN
$V_{w,c}$ =	$V_{c,Ed}$	=	36,00 kN

### Einstufung des Trägerquerschnitts in Querschnittsklasse:

**Steg:** Beanspruchung: Biegung und Druck

$c$ =	$d_b$	=	219,60 mm	
$n_b$ =	$\frac{ N_{b,Ed} }{A_b * f_{y,k} / \gamma_{M0}}$	=	0,03	
$\alpha$ =	$\frac{1}{2} * \left( \frac{n_b * A_b}{d_b * t_{w,b}} + 1 \right)$	=	0,50	
WENN( $\alpha > 0,5$ ;	$\frac{c/t_{w,b}}{396 * \epsilon / (13 * \alpha - 1)}$ ;	$\frac{c/t_{w,b}}{36 * \epsilon / \alpha}$ )	=	<u>0,46 &lt; 1</u>

⇒ **Steg: Klasse 1**



**Flansch:** einseitig gestützt, auf Druck beansprucht:

$$c = \frac{(b_b - t_{w,b} - 2 * r_b)}{2} = 49,20 \text{ mm}$$

$$\frac{c/t_{f,b}}{9 * \epsilon} = \underline{0,54 < 1}$$

⇒ **Flansch: Klasse 1**

⇒ **Gesamtquerschnitt Träger: Klasse 1**

#### Einstufung des Stützenquerschnitts in Querschnittsklasse:



#### Stützeneckfeld:

Dicke des Eckbleches = Stegdicke des Stiels

Einleitungskräfte bzw. Schubkräfte: ( $R_o = R_u$ ,  $R_l = R_r$ )

$$R_o = \frac{M_{b,Ed}}{h_{b,-}} * 1000 - \frac{N_{b,Ed}}{2} = 137,00 \text{ kN}$$

$$R_r = \frac{M_{c,Ed}}{h_{c,-}} * 1000 - \frac{N_{c,Ed}}{2} = 214,39 \text{ kN}$$

Konstante Schubspannungen:

$$\tau_p = \frac{R_o * 100}{h_{c,-} * t_{w,c}} = 9,71 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{pr} = \frac{R_r * 100}{h_{b,-} * t_{w,c}} = 9,71 \text{ kN/cm}^2$$

#### Stützensteg mit Schubbeanspruchung:

$$\frac{d_c/t_{w,c}}{69 * \epsilon} = \underline{0,21 < 1}$$

$$A_{v,c} = \frac{\text{MAX}(A_c * 100 - 2 * b_c * t_{f,c} + (t_{w,c} + 2 * r_c) * t_{f,c}; \eta * h_{w,c} * t_{w,c})}{100} = 20,29 \text{ cm}^2$$

$$V_{wpl,Rd} = 0,9 * A_{v,c} * \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 247,8 \text{ kN}$$

$$F_{wp,Ed} = \text{MAX}(ABS(R_o); ABS(R_r)) = 214,4 \text{ kN}$$

**Nachweis des Stützenstegs mit Schubbeanspruchung:**

$$\frac{|F_{wp,Ed}|}{V_{wpl,Rd}} = \underline{0,87 < 1}$$

**Stützensteg mit Druckbeanspruchung:**

$$f_{y,wc} = f_{y,k} = 23,50 \text{ kN/cm}^2$$

**Reduktionsfaktor  $\omega$  für Schub:**

$$s = r_c = 15,00 \text{ mm}$$

$$a_b = a_5 = 5,00 \text{ mm}$$

- für einen geschweißten Anschluss

$$b_{\text{eff},c,wc} = t_{f,b} + 2 * \sqrt{2} * a_b + 5 * (t_{f,c} + s) = 169,34 \text{ mm}$$

$$\text{Übertragungsparameter } \beta = 1,00$$

$$\Rightarrow \omega = \omega_1$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 * (b_{\text{eff},c,wc} * t_{w,c} / (A_{v,c} * 100))^2}} = 0,78$$

**Reduktionsfaktor  $k_{wc}$  für gleichzeitig wirkende Druckspannungen im Stützensteg infolge Biegemoment und Normkraft in der Stütze:****Reduktionsfaktor  $\rho$  für Stegbeulen:**

- bei einer Stütze mit gewalztem I- oder H-Querschnitt

$$d_{wc} = h_c - 2 * (t_{f,c} + r_c) = 122,00 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\text{quer},p} = 0,932 * \sqrt{\frac{b_{\text{eff},c,wc} * d_{wc} * f_{y,wc}}{E * t_{w,c}^2}} = 0,17$$

$$\rho = \text{WENN}(\lambda_{\text{quer},p} > 0,72; \frac{\lambda_{\text{quer},p}^{-0,2}}{2}; 1) = 1,00$$

$$H_{c,wc,Rd} = \omega * k_{wc} * b_{\text{eff},c,wc} * t_{w,c} / 100 = 11,23 \text{ cm}^2$$

$$F_{c,wc,Rd} = \text{MIN}(H_{c,wc,Rd} * \rho * \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M1}}; H_{c,wc,Rd} * \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}) = 239,91 \text{ kN}$$

**Nachweis Einleitung der Untergurkraft des Trägers in den Stützensteg:**

$$\frac{|F_{b,2}|}{F_{c,wc,Rd}} = \underline{\underline{0,72 < 1}}$$



#### Stützenflansch mit Biegebeanspruchung:

- für gewalzte I- oder H-Querschnitte

$$s = r_c = 15,00 \text{ mm}$$

Streckgrenze des Flansches des I- oder H-Querschnitts

$$f_{y,f} = f_{y,k} = 23,50 \text{ kN/cm}^2$$

Streckgrenze des angeschweißten Trägers

$$f_{y,b} = f_{y,k} = 23,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$k = \text{MIN}\left(\frac{t_{f,c}}{t_{f,b}} \cdot \frac{f_{y,f}}{f_{y,b}}; 1\right) = 1,00$$

$$b_{\text{eff},b,fc} = t_{w,c} + 2 \cdot s + 7 \cdot k \cdot t_{f,c} = 136,50 \text{ mm}$$

Zugfestigkeit des angeschweißten Trägers

$$f_{u,p} = f_{u,k} = 36,00 \text{ kN/cm}^2$$

Streckgrenze des angeschweißten Trägers

$$f_{y,p} = f_{y,k} = 23,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$b_p = b_b = 135,00 \text{ mm}$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

#### Trägeruntergurt mit Druckbeanspruchung:

$$F_{c,fb,Rd} = t_{f,b} \cdot b_b / 100 \cdot f_{y,k} / \gamma_{M0} = 323,60 \text{ kN}$$

**Nachweis des Trägergurtes mit Druckbeanspruchung:**

$$\frac{|F_{b,2}|}{F_{c,fb,Rd}} = \underline{0,53 < 1}$$

#### Träger mit Querkraftbeanspruchung:

$$A_{v,b} = t_{w,b} \cdot h_{w,b} / 100 = 16,47 \text{ cm}^2$$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot A_{v,b} = 223,46 \text{ kN}$$

**Nachweis Träger mit Querkraftbeanspruchung:**

$$\frac{|V_{w,b}|}{V_{z,pl,Rd}} = \underline{0,26 < 1}$$

#### Prüfung ob Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche erforderlich:

$$\eta = 1,20$$

$$\frac{h_{w,c} / t_{w,c}}{72 \cdot \varepsilon / \eta} = \underline{0,30 < 1}$$

⇒ kein Nachweis gegen Schubbeulen erforderlich.



#### Nachweis der Zuglasche und Anschlußnähte:

$$A_l = b_l \cdot t_l / 100 = 15,00 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \cdot A_l = 352,50 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = R_o = 137,00 \text{ kN}$$

#### Nachweis Zugbeanspruchung der Zuglasche

$$\frac{|N_{Ed}|}{N_{t,Rd}} = \underline{0,39 < 1}$$

#### Nachweis der Kehlnähte $a_1$ :



#### Nachweis der Kehlnähte $a_2$ :

$$\frac{a_{min}}{a_2} = \underline{1,00 \leq 1}$$

$$l_{min} = \text{MAX}(6 \cdot a_1; 30) = 30,00 \text{ mm}$$

$$\frac{l_{min}}{b_l} = \underline{0,20 \leq 1}$$

⇒ Naht konstruktiv!

#### Nachweis der Stegnähte $a_3$ :

$$\frac{a_{min}}{a_3} = \underline{1,00 \leq 1}$$

$$l_{min} = \text{MAX}(6 \cdot a_3; 30) = 30,00 \text{ mm}$$

$$l_{w3} = h_b - 2 \cdot t_{f,b} - 2 \cdot r_b = 219,60 \text{ mm}$$

$$\frac{l_{min}}{l_{w3}} = \underline{0,14 \leq 1}$$

$$l_{eff} = l_{w3} - 2 \cdot a_3 = 213,60 \text{ mm}$$

$$F_{vw,Rd} = f_{vw,Rd} \cdot a_3 \cdot l_{eff} / 100 = 133,29 \text{ kN}$$

Resultierende der auf eine Kehlnahtfläche einwirkenden Kräfte

$$F_{vw,Ed} = V_{b,Ed} / 2 = 28,50 \text{ kN}$$

#### Nachweis der Schweißnaht $a_3$ :

$$\frac{F_{vw,Ed}}{F_{vw,Rd}} = \underline{0,21 < 1}$$



#### Steifen zur Krafteinleitung der Untergurtkraft des Trägers in den Stützensteg:

##### **Aufteilung der einzuleitenden Kraft auf Steifen und Steg**

Ein Teil der Kraft  $F_{b,2}$  wird direkt in den Stielsteg eingeleitet. Die Restkraft  $F_s$  wird von den Lasteinleitungsrippen übernommen.

$$F_s = \frac{F_{b,2} \cdot 2 \cdot \frac{b_s - c_s}{2 \cdot b_s + t_{w,c}}}{1} = 124,9 \text{ kN}$$

$$M_s = \frac{b_s + c_s}{4 \cdot 10} \cdot F_s = 249,80 \text{ kNcm}$$

Kraft auf eine Steife (Rippe)

$$F_{s,1} = \frac{F_s}{2} = 62,45 \text{ kN}$$

Kraft auf den Steg

$$F_{w,c,s} = F_{b,2} - 2 \cdot F_{s,1} = 48,10 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{(b_s - c_s) \cdot t_s}{100} = 5,00 \text{ cm}^2$$

Tragfähigkeit Druckbeanspruchung einer Steife

$$N_{c,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \cdot A_s = 117,50 \text{ kN}$$

##### **Nachweis Druckbeanspruchung der Steife**



#### Nachweis der Steifennähte $a_5$ :

$$\frac{a_{\min}}{a_5} = \underline{0,60 \leq 1}$$

$$l_{\min} = \text{MAX}(6 \cdot a_5; 30) = 30,00 \text{ mm}$$

$$l_{w5} = 2 \cdot b_s - c_s - 2 \cdot a_5 = 105,00 \text{ mm}$$

$$\frac{l_{\min}}{l_{w5}} = \underline{0,29 \leq 1}$$

$$l_{\text{eff}} = l_{w5} - 2 \cdot a_5 = 95,00 \text{ mm}$$

$$F_{vw,Rd} = f_{vw,Rd} \cdot a_5 \cdot l_{\text{eff}} / 100 = 98,80 \text{ kN}$$

Resultierende der auf eine Kehlnahtfläche einwirkenden Kräfte

$$F_{vw,Ed} = F_{b,2} / 2 = 86,50 \text{ kN}$$

##### **Nachweis der Schweißnaht $a_5$ :**

$$\frac{F_{vw,Ed}}{F_{vw,Rd}} = \underline{0,88 < 1}$$

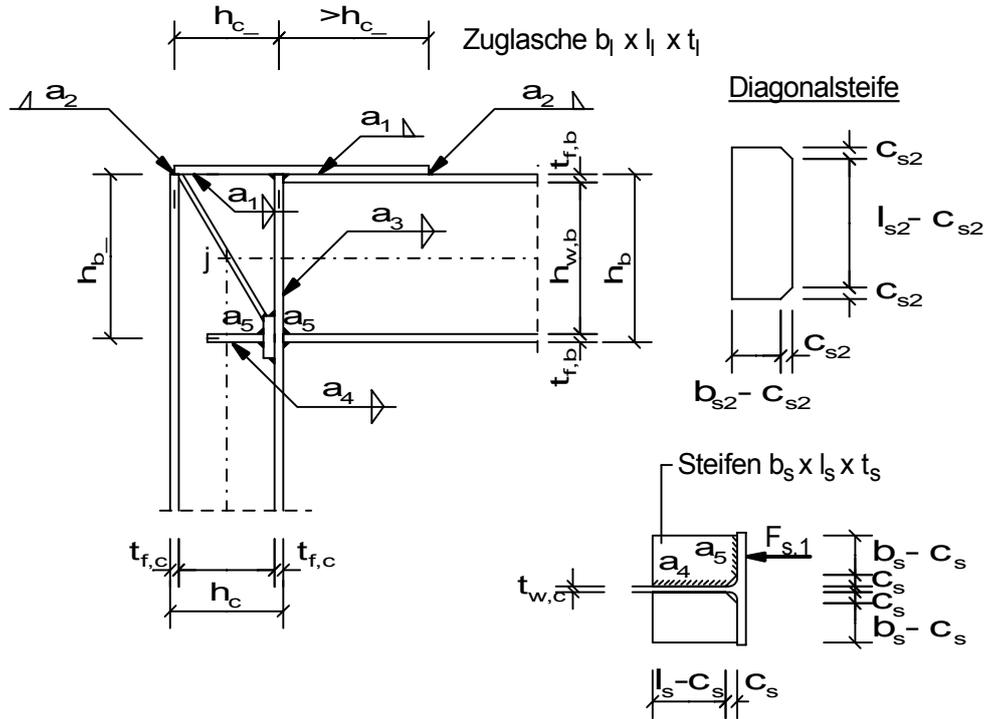
**Nachweis der Steifennähte  $a_4$ :**

$$\begin{aligned}A_{w4} &= 2 * a_4 * (l_s - c_s) / 100 &= & 11,50 \text{ cm}^2 \\W_{w4} &= 2 * a_4 * (l_s - c_s)^2 / (6 * 1000) &= & 22,04 \text{ cm}^3 \\ \tau_{II,Ed} &= \frac{F_s}{A_{w4}} &= & 10,86 \text{ kN/cm}^2 \\ \tau_{orth,Ed} &= \frac{M_s / \sqrt{2}}{W_{w4}} &= & 8,01 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{orth,Ed} &= \tau_{orth,Ed} &= & 8,01 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{w,Ed} &= \sqrt{\sigma_{orth,Ed}^2 + 3 * (\tau_{II,Ed}^2 + \tau_{orth,Ed}^2)} &= & 24,71 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

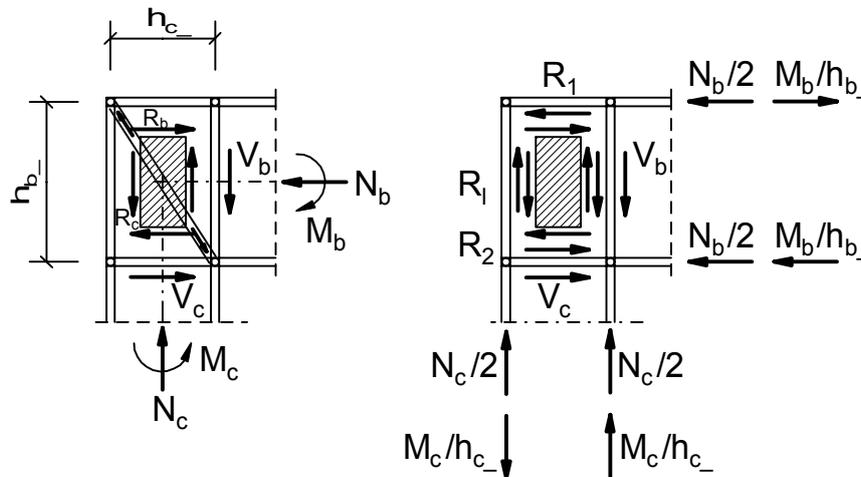
**Nachweis der Schweißnaht:**

$$\begin{aligned}\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} &= \underline{\underline{0,69 < 1}} \\ \frac{\sigma_{orth,Ed}}{0,9 * f_{u,k} / \gamma_{M2}} &= \underline{\underline{0,31 < 1}}\end{aligned}$$

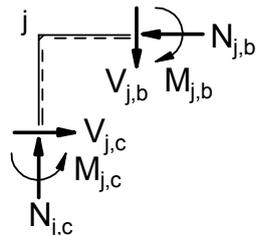
### Biegesteife Rahmenecke mit Zuglasche und Schrägsteife



#### Berechnungsmodell



#### Knotenschnittgrößen



positive Knotenschnittgrößen  
Index "j": Systemknoten

#### Querschnitt / Geometrie:

Träger:			
Träger Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	IPE
Träger-Profil ID1 =	GEW("EC3_de/Typ1; ID; )	=	IPE 270
Stütze:			
Stütze Typ2 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	HEB
Stütze-Profil ID2 =	GEW("EC3_de/Typ2; ID; )	=	HEB 180



Zuglasche:  
Zuglaschenbreite  $b_l =$  150,00 mm  
Länge  $l_l =$  450,00 mm  
Dicke  $t_l =$  10,00 mm

Steifen:  
Steifenbreite  $b_{s1} =$  65,00 mm  
Länge  $l_{s1} =$  110,00 mm  
Dicke  $t_{s1} =$  10,00 mm  
 $c_{s1} =$  15,00 mm

Diagonalsteifen:  
Diagonalst.-Breite  $b_{s2} =$  80,00 mm  
Dicke  $t_{s2} =$  10,00 mm  
Eckverschnitt  $c_{s2} =$  15,00 mm

Schweißnähte:  
Kehlnaht Zuglasche längs  $a_1 =$  3,00 mm  
Kehlnaht Zuglasche quer  $a_2 =$  6,00 mm  
Stegnaht Rahmenriegel  $a_3 =$  3,00 mm  
Steifennaht  $a_4 =$  5,00 mm  
Steifennaht  $a_5 =$  7,00 mm  
Steifennaht  $a_6 =$  8,00 mm

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} =$  1,0  
 $\gamma_{M1} =$  1,1  
 $\gamma_{M2} =$  1,25

#### Material:

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID; ) = S 235  
 $f_{y,k} =$  TAB("EC3\_de/mat";  $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10 = 23,50 kN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{u,k} =$  TAB("EC3\_de/mat";  $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10 = 36,00 kN/cm<sup>2</sup>  
 $\varepsilon = \sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}} = 1,00$   
 $E =$  TAB("EC3\_de/mat"; E; ID=Stahl)/10 = 21000,00 kN/cm<sup>2</sup>  
 $\beta_w =$  TAB("EC3\_de/mat";  $\beta_{w}$ ; ID=Stahl) = 0,80  
 $f_{w,Rd} = \frac{f_{u,k}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 36,00$  kN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{vw,Rd} = \frac{f_{u,k} / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 20,78$  kN/cm<sup>2</sup>

#### Querschnittswerte:

Träger:  
Höhe  $h_b =$  TAB("EC3\_de/"Typ1; h; ID=ID1;) = 270,00 mm  
Breite  $b_b =$  TAB("EC3\_de/"Typ1; b; ID=ID1;) = 135,00 mm  
Steg  $t_{w,b} =$  TAB("EC3\_de/"Typ1;  $t_w$ ; ID=ID1;) = 6,60 mm  
Flansch  $t_{f,b} =$  TAB("EC3\_de/"Typ1;  $t_f$ ; ID=ID1;) = 10,20 mm  
Radius  $r_b =$  TAB("EC3\_de/"Typ1; r; ID=ID1;) = 15,00 mm  
Fläche  $A_b =$  TAB("EC3\_de/"Typ1; A; ID=ID1) = 45,90 cm<sup>2</sup>  
Trägheitsmoment  $I_{y,b} =$  TAB("EC3\_de/"Typ1;  $I_y$ ; ID=ID1;) = 5790,00 cm<sup>4</sup>  
gerader Stegteil  $d_b =$   $h_b - 2 \cdot t_{f,b} - 2 \cdot r_b =$  219,60 mm



$h_{b\_} =$	$h_b - t_{f,b} / 2$	=	264,90 mm
$h_{w,b} =$	$h_b - 2 * t_{f,b}$	=	249,60 mm
$N_{b,pl,Rd} =$	$A_b * f_{y,k} / \gamma_{M0}$	=	1078,65 kN
<b>Stütze:</b>			
Höhe $h_c =$	TAB("EC3_de/"Typ2; h; ID=ID2;)	=	180,00 mm
Breite $b_c =$	TAB("EC3_de/"Typ2; b; ID=ID2;)	=	180,00 mm
Steg $t_{w,c} =$	TAB("EC3_de/"Typ2; t_w; ID=ID2;)	=	8,50 mm
Flansch $t_{f,c} =$	TAB("EC3_de/"Typ2; t_f; ID=ID2;)	=	14,00 mm
Radius $r_c =$	TAB("EC3_de/"Typ2; r; ID=ID2;)	=	15,00 mm
Fläche $A_c =$	TAB("EC3_de/"Typ2; A; ID=ID2)	=	65,30 cm <sup>2</sup>
Trägheitsmoment $I_{y,c} =$	TAB("EC3_de/"Typ2; I_y; ID=ID2;)	=	3830,00 cm <sup>4</sup>
gerade Stegteilhöhe $d_c =$	$h_c - 2 * t_{f,c} - 2 * r_c$	=	122,00 mm
$h_{c\_} =$	$h_c - t_{f,c}$	=	166,00 mm
$h_{w,c} =$	$h_c - 2 * t_{f,c}$	=	152,00 mm
$N_{c,pl,Rd} =$	$A_c * f_{y,k} / \gamma_{M0}$	=	1534,55 kN

### Einwirkungen

(Indizes: Systemknoten j, Träger bzw. Riegel b, Stütze bzw. Stiel c)

#### **am Knotenpunkt:**

$N_{j,c,Ed} =$	75,00 kN
$V_{j,c,Ed} =$	46,00 kN
$M_{j,c,Ed} =$	86,00 kNm
$N_{j,b,Ed} =$	46,00 kN
$V_{j,b,Ed} =$	75,00 kN
$M_{j,b,Ed} =$	86,00 kNm

#### **am Anschnitt:**

$N_{c,Ed} =$	$N_{j,c,Ed}$	=	75,00 kN
$V_{c,Ed} =$	$V_{j,c,Ed}$	=	46,00 kN
$M_{c,Ed} =$	$M_{j,c,Ed} - V_{j,c,Ed} * h_{b\_} / (2 * 1000)$	=	79,91 kNm
$N_{b,Ed} =$	$N_{j,b,Ed}$	=	46,00 kN
$V_{b,Ed} =$	$V_{j,b,Ed}$	=	75,00 kN
$M_{b,Ed} =$	$M_{j,b,Ed} - V_{j,b,Ed} * h_{c\_} / (2 * 1000)$	=	79,78 kNm

**Schubkräfte im Stützeneckfeld:** ( $R_1 = R_2$ ,  $R_l = R_r$ )



#### **Querkraft Trägersteg (b) bzw. Stützensteg (c):**

$V_{w,b} =$	$V_{b,Ed}$	=	75,00 kN
$V_{w,c} =$	$V_{c,Ed}$	=	46,00 kN



### Einstufung des Trägerquerschnitts in Querschnittsklasse:

**Steg:**

$$c = d_b = 219,60 \text{ mm}$$

$$n_b = \frac{|N_{b,Ed}|}{N_{b,pl,Rd}} = 0,04$$

$$\alpha = \left( \frac{n_b \cdot A_b \cdot 100}{d_b \cdot t_{w,b}} + 1 \right) \cdot \frac{1}{2} = 0,56$$

$$\text{WENN}(\alpha > 0,5; \frac{c/t_{w,b}}{396 \cdot \varepsilon / (13 \cdot \alpha - 1)}; \frac{c/t_{w,b}}{36 \cdot \varepsilon / \alpha}) = \underline{0,53 < 1}$$

⇒ **Steg: Klasse 1**

**Flansch:**

einseitig gestützt, auf Druck beansprucht:

$$c = (b_b - t_{w,b} - 2 \cdot r_b) / 2 = 49,20 \text{ mm}$$

$$\frac{c/t_{f,b}}{9 \cdot \varepsilon} = \underline{0,54 < 1}$$

⇒ **Flansch: Klasse 1**

⇒ **Gesamtquerschnitt Träger: Klasse 1**

### Einstufung des Stützenquerschnitts in Querschnittsklasse:



### Stützensteg mit Schubbeanspruchung:

$$\frac{d_c/t_{w,c}}{69 \cdot \varepsilon} = \underline{0,21 < 1}$$

$$\eta = 1,0$$
$$A_{v,c} = \text{MAX}(A_c \cdot 100 - 2 \cdot b_c \cdot t_{f,c} + (t_{w,c} + 2 \cdot r_c) \cdot t_{f,c}; \eta \cdot h_{w,c} \cdot t_{w,c}) / 100 = 20,29 \text{ cm}^2$$

plastische Schubtragfähigkeit des nicht ausgesteiften Stützenstegfeldes

$$V_{wpl,Rd} = 0,9 \cdot A_{v,c} \cdot \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 247,76 \text{ kN}$$

$$F_{wp,Ed} = \text{ABS}(R_1) = 278,17 \text{ kN}$$

**Nachweis Stützensteg mit Schubbeanspruchung:**

$$\frac{|F_{wp,Ed}|}{V_{wpl,Rd}} = \underline{1,12 \text{ nicht } < 1}$$

⇒ **Aussteifung des Stützenstegs erforderlich (siehe unten)**



#### Prüfung Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche:

$$\eta = \frac{h_{w,c} / t_{w,c}}{72 \cdot \varepsilon / \eta} = 1,20$$
$$= \underline{0,30 < 1}$$

⇒ kein Nachweis gegen Schubbeulen erforderlich.

#### Kräfte auf Steifen und Steg

Konstante Schubspannungen:

$$\tau_{p1} = \frac{R_1 \cdot 100}{h_{c-} \cdot t_{w,c}} = 19,71 \text{ kN/cm}^2$$
$$\tau_{pr} = \frac{R_r \cdot 100}{h_{b-} \cdot t_{w,c}} = 19,71 \text{ kN/cm}^2$$

Normalspannungen am Beginn der Ausrundung



Von Eckblech aufnehmbare Schubspannung  $\tau_{p-}$  ergibt sich aus Vergleichsspannungsnachweis:

$$\sigma_v = f_{y,k} = 23,50 \text{ kN/cm}^2$$
$$\tau_{p-} = \sqrt{\frac{\sigma_v^2 + \sigma_x^2 - \sigma_z^2 - \sigma_x^2 - \sigma_z^2}{3}} = 10,38 \text{ kN/cm}^2$$

Aufnehmbare Schubkräfte:

$$R_b = \tau_{p-} \cdot t_{w,c} \cdot h_{c-} / 100 = 146,46 \text{ kN}$$
$$R_c = \tau_{p-} \cdot t_{w,c} \cdot h_{b-} / 100 = 233,72 \text{ kN}$$
$$\Delta R_b = R_1 - R_b = 131,71 \text{ kN}$$
$$\Delta R_c = R_r - R_c = 210,17 \text{ kN}$$

$$l_{s2} = \sqrt{h_{c-}^2 + h_{b-}^2} = 312,61 \text{ mm}$$

**Druckkraft auf Diagonalsteifen:**

$$D = l_{s2} \cdot t_{w,c} / 100 \cdot (\tau_{p1} - \tau_{p-}) = 247,92 \text{ kN}$$

$$\alpha = \text{atan}\left(\frac{h_{c-}}{h_{b-}}\right) = 32,07^\circ$$

$$D_h = D \cdot \text{SIN}(\alpha) = 131,63 \text{ kN}$$

**Druckkraft auf eine Diagonalsteife:**

$$F_{s2} = D / 2 = 123,96 \text{ kN}$$



#### Aufteilung der einzuleitenden Kraft auf Steifen und Steg

Ein Teil der Kraft  $F_{b,2}$  wird direkt in den Stielsteg eingeleitet. Die Restkraft  $F_s$  wird von den Lasteinleitungsrippen übernommen.

$$F_s = F_{b,2} * 2 * \frac{b_{s1} - c_{s1}}{2 * b_{s1} + t_{w,c}} = 234,06 \text{ kN}$$

Kraftanteil auf eine Steife (Rippe)

$$F_{s1} = (F_s - D_h) / 2 = 51,22 \text{ kN}$$

$$M_{s1} = \frac{b_{s1} + c_{s1}}{4 * 10} * F_{s1} = 102,44 \text{ kNcm}$$

Kraftanteil auf den Steg

$$F_{w,c,s} = F_{b,2} - F_s = 90,11 \text{ kN}$$

#### Stützensteg mit Schubbeanspruchung (b):

plastische Schubtragfähigkeit des ausgesteiften Stützenstegfeldes

$$V_{wpl,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} * A_{v,c} = 275,29 \text{ kN}$$

$$F_{wp,Ed} = F_{w,c,s} + \text{MAX}(D_h; 2 * F_{s1}) = 221,74 \text{ kN}$$

**Nachweis Stützensteg mit Schubbeanspruchung:**

$$\frac{|F_{wp,Ed}|}{V_{wpl,Rd}} = \underline{\underline{0,81 < 1}}$$

#### Zuglasche und Anschlussnähte:

$$A_l = b_l * t_l / 100 = 15,00 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} * A_l = 352,50 \text{ kN}$$

**Nachweis Zugbeanspruchung der Zuglasche**

$$\frac{|R_1|}{N_{t,Rd}} = \underline{\underline{0,79 < 1}}$$

Annahme: Anteil  $\xi$  der Beanspruchung wird über die Schweißnaht  $a_1$  abgetragen, der restliche Teil über die Schweißnaht  $a_2$  zum Flansch.

$$\text{Naht-Anteil } a_1 \text{ (Rest } a_2) \xi = 0,60$$

**Kehlnähte  $a_1$ :**

$$\text{Mindestnahtdicke } a_{\min} = 3,00 \text{ mm}$$

$$a_{\min} / a_1 = \underline{\underline{1,00 \leq 1}}$$

$$l_{\min} = \text{MAX}(6 * a_1; 30) = 30,00 \text{ mm}$$

$$1 / \frac{h_c - 2 * t_{f,c}}{l_{\min}} = \underline{\underline{0,20 \leq 1}}$$

Wirksame Länge der Kehlnaht (Naht rundum geführt)

$$l_{\text{eff}} = h_c - 2 * t_{f,c} = 152,00 \text{ mm}$$

Tragfähigkeit einer Schweißnaht (Kehlnaht)

$$F_{vw,Rd} = f_{vw,Rd} * a_1 * l_{\text{eff}} / 100 = 94,76 \text{ kN}$$

Resultierende der auf eine Kehlnahtfläche einwirkenden Kräfte

$$F_{vw,Ed} = \xi * R_1 / 2 = 83,45 \text{ kN}$$

**Nachweis der Schweißnaht a<sub>1</sub>:**

$$\frac{F_{vw,Ed}}{F_{vw,Rd}} = \underline{0,88 < 1}$$

**Kehlnähte a<sub>2</sub>:**

$$\begin{aligned} a_{min}/a_2 &= \underline{0,50 \leq 1} \\ l_{min} &= \text{MAX}(6 \cdot a_2; 30) = 36,00 \text{ mm} \\ l_{min}/b_l &= \underline{0,24 \leq 1} \\ l_{eff} &= b_l - 2 \cdot a_2 = 138,00 \text{ mm} \\ F_{vw,Rd} &= f_{vw,Rd} \cdot a_2 \cdot l_{eff} / 100 = 172,06 \text{ kN} \\ F_{vw,Ed} &= (1-\xi) \cdot R_1 = 111,27 \text{ kN} \end{aligned}$$

**Nachweis der Schweißnaht a<sub>2</sub>:**

$$\frac{|F_{vw,Ed}|}{F_{vw,Rd}} = \underline{0,65 < 1}$$

**Steifen zur Kräfteinleitung der Untergurkraft des Trägers in den Stützensteg:****Nachweis der Steiffennähte a<sub>5</sub> (Flansch):**

$$\begin{aligned} a_{min}/a_5 &= \underline{0,43 \leq 1} \\ l_{min} &= \text{MAX}(6 \cdot a_5; 30) = 42,00 \text{ mm} \\ l_{w5} &= 2 \cdot (b_{s1} - c_{s1}) = 100,00 \text{ mm} \\ l_{min}/l_{w5} &= \underline{0,42 \leq 1} \\ l_{eff} &= l_{w5} - 2 \cdot a_5 = 86,00 \text{ mm} \\ A_w &= a_5 \cdot l_{eff} / 100 = 6,02 \text{ cm}^2 \\ \tau_{orth,Ed} &= \frac{F_{s1} / \sqrt{2}}{A_w} = 6,02 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{orth,Ed} &= \tau_{orth,Ed} = 6,02 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_{w,Ed} &= \sqrt{\sigma_{orth,Ed}^2 + 3 \cdot (\tau_{orth,Ed})^2} = 12,04 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

**Nachweis der Schweißnaht:**

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} &= \underline{0,33 < 1} \\ \frac{\sigma_{orth,Ed}}{0,9 \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2}} &= \underline{0,23 < 1} \end{aligned}$$



#### Nachweis der Steifennähte a<sub>4</sub> (Steg):

$$a_w = a_4 = 5,00 \text{ mm}$$

$$N_w = F_{s1} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{c_{s1} + b_{s1}}{c_{s1} + 2 \cdot l_{s1}} = 26,15 \text{ kN}$$

$$V_w = F_{s1} = 51,22 \text{ kN}$$

(Annahme: Dreieckförmige Spannungsverteilung mit  $\sigma_{orth}$  am unteren Rand gleich Null)

$$M_w = N_w \cdot (l_{s1} - c_{s1}) / (6 \cdot 10) = 41,40 \text{ kNcm}$$

$$A_w = 2 \cdot a_w \cdot (l_{s1} - c_{s1}) / 100 = 9,50 \text{ cm}^2$$

$$W_w = 2 \cdot a_w \cdot (l_{s1} - c_{s1})^2 / (6 \cdot 1000) = 15,04 \text{ cm}^3$$

$$\tau_{II,Ed} = V_w / A_w = 5,39 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{orth,Ed} = \frac{N_w / \sqrt{2}}{A_w} - \frac{V_w / \sqrt{2}}{A_w} + \frac{M_w / \sqrt{2}}{W_w} = 0,08 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{orth,Ed} = \frac{N_w / \sqrt{2}}{A_w} + \frac{V_w / \sqrt{2}}{A_w} + \frac{M_w / \sqrt{2}}{W_w} = 7,71 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\sigma_{orth,Ed}^2 + 3 \cdot (\tau_{II,Ed}^2 + \tau_{orth,Ed}^2)} = 12,11 \text{ kN/cm}^2$$

#### Nachweis der Schweißnaht:

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,34 < 1}}$$

$$\frac{\sigma_{orth,Ed}}{0,9 \cdot f_{u,k} / \gamma_{M2}} = \underline{\underline{0,30 < 1}}$$

#### Stützensteg mit Druckbeanspruchung:

$$f_{y,wc} = f_{y,k} = 23,50 \text{ kN/cm}^2$$

#### Reduktionsfaktor $\omega$ für Schub:

$$s = r_c = 15,00 \text{ mm}$$

$$a_b = a_5 = 7,00 \text{ mm}$$

- für einen geschweißten Anschluss

$$b_{eff,c,wc} = t_{f,b} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_b + 5 \cdot (t_{f,c} + s) = 175,00 \text{ mm}$$

$$\text{Übertragungsparameter } \beta = 1,00$$

$$\Rightarrow \omega = \omega_1$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot (b_{eff,c,wc} \cdot t_{w,c} / (A_{v,c} \cdot 100))^2}} = 0,77$$

#### Reduktionsfaktor $k_{wc}$ für gleichzeitig wirkende Druckspannungen im Stützensteg infolge

#### Biegemoment und Normalkraft in der Stütze:

maximale Längsdruckspannung im Steg (am Ende des Ausrundungsradius)

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{N_{j,c,Ed}}{A_c} + \frac{M_{j,c,Ed}}{I_{y,c}} \cdot \left( \frac{h_{w,c}}{2} - r_c \right) \cdot 10 = 14,85 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{wc} = \text{WENN} \left( \frac{\sigma_{com,Ed}}{0,7 \cdot f_{y,wc}} > 1; 1,7 - \frac{\sigma_{com,Ed}}{f_{y,wc}} ; 1,0 \right) = 1,00$$

**Reduktionsfaktor  $\rho$  für Stegbeulen:**

- bei einer Stütze mit gewalztem I- oder H-Querschnitt

$$d_{wc} = h_c - 2 \cdot (t_{f,c} + r_c) = 122,00 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\text{quer,p}} = 0,932 \cdot \sqrt{\frac{b_{\text{eff,c,wc}} \cdot d_{wc} \cdot f_{y,wc}}{E \cdot t_{w,c}^2}} = 0,54$$

$$\rho = \begin{cases} \text{WENN}(\lambda_{\text{quer,p}} > 0,72; \frac{\lambda_{\text{quer,p}} - 0,2}{2}; 1) \\ \lambda_{\text{quer,p}} \end{cases} = 1,00$$

$$H_{c,wc,Rd} = \omega \cdot k_{wc} \cdot b_{\text{eff,c,wc}} \cdot t_{w,c} / 100 = 11,45 \text{ cm}^2$$

$$F_{c,wc,Rd} = \text{MIN}(H_{c,wc,Rd} \cdot \rho \cdot \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M1}}; H_{c,wc,Rd} \cdot \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}) = 244,61 \text{ kN}$$

**Nachweis Einleitung der Untergurkraft des Trägers in den Stützensteg:**

$$\frac{|F_{w,c,s}|}{F_{c,wc,Rd}} = \underline{\underline{0,37 < 1}}$$

**Stützensteg mit Zugbeanspruchung:**

$$b_{\text{eff,t,wc}} = b_{\text{eff,c,wc}} = 175,00 \text{ mm}$$

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot b_{\text{eff,t,wc}} \cdot t_{w,c} / 100 \cdot f_{y,wc} / \gamma_{M0} = 269,16 \text{ kN}$$

**Nachweis Einleitung der Obergurkraft des Trägers in den Stützensteg:**

$$\frac{0,6 \cdot R_1}{F_{t,wc,Rd}} = \underline{\underline{0,62 < 1}}$$

**Stützenflansch mit Biegebeanspruchung:****Nachweis des Stützengurtes für die Zug- und Druckbeanspruchung:**

$$\frac{f_{y,p} \cdot b_p}{f_{u,p} \cdot b_{\text{eff,b,fc}}} = \underline{\underline{0,65 < 1}}$$

$$b_{\text{eff,b,fc}} = \text{MIN}(b_{\text{eff,b,fc}}; b_p) = 135,00 \text{ mm}$$

$$F_{fc,Rd} = \text{MIN}(b_{\text{eff,b,fc}} \cdot t_{f,b} / 100 \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}}; f_{u,p} \cdot b_b \cdot t_{f,b} / 100 \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}}) = 211,24 \text{ kN}$$

**Nachweis des Stützengurtes für Biegebeanspruchung aus dem Träger:**

$$\frac{|F_{s1}|}{F_{fc,Rd}} = \underline{\underline{0,24 < 1}}$$



#### Nachweis der Stegnähte a<sub>3</sub>:

$$\begin{aligned} a_{\min} / a_3 &= \underline{1,00} \leq 1 \\ l_{\min} &= \text{MAX}(6 \cdot a_3; 30) = 30,00 \text{ mm} \\ l_{w3} &= h_b - 2 \cdot t_{f,b} - 2 \cdot r_b = 219,60 \text{ mm} \\ l_{\min} / l_{w3} &= \underline{0,14} \leq 1 \\ l_{\text{eff}} &= l_{w3} - 2 \cdot a_3 = 213,60 \text{ mm} \\ F_{vw,Rd} &= f_{vw,Rd} \cdot a_3 \cdot l_{\text{eff}} / 100 = 133,16 \text{ kN} \\ F_{vw,Ed} &= V_{b,Ed} / 2 = 37,50 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### Nachweis der Schweißnaht a<sub>3</sub>:

$$\frac{F_{vw,Ed}}{F_{vw,Rd}} = \underline{0,28} < 1$$

#### Tragfähigkeit des Trägerquerschnitts am Anschnitt:



#### Tragfähigkeit des Stützenquerschnitts am Anschnitt:

$$\begin{aligned} &\text{Stützenobergurt mit Zugbeanspruchung} \\ F_{t,fc,Rd} &= \frac{t_{f,c} \cdot b_c \cdot f_{y,k}}{100 \cdot \gamma_{M0}} = 592,20 \text{ kN} \\ &\text{Stützenuntergurt mit Druckbeanspruchung} \\ F_{c,fc,Rd} &= \frac{t_{f,c} \cdot b_c \cdot f_{y,k}}{100 \cdot \gamma_{M0}} = 592,20 \text{ kN} \\ &\text{Stützensteg mit Schubbeanspruchung} \\ A_{v,c} &= t_{w,c} \cdot h_{w,c} / 100 = 12,92 \text{ cm}^2 \\ V_{c,z,pl,Rd} &= \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot A_{v,c} = 175,30 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### Nachweis des Stützenquerschnitts am Anschnitt:

$$\begin{aligned} \frac{|F_{c,1}|}{F_{t,fc,Rd}} &= \underline{0,75} < 1 \\ \frac{|F_{c,2}|}{F_{c,fc,Rd}} &= \underline{0,88} < 1 \\ \frac{|V_{w,c}|}{V_{c,z,pl,Rd}} &= \underline{0,26} < 1 \end{aligned}$$

**Diagonalsteifen:**

$$A_{s2} = (b_{s2} - c_{s2}) * t_{s2} / 100 = 6,50 \text{ cm}^2$$

$$N_{s2,pl,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} * A_{s2} = 152,75 \text{ kN}$$

**Tragfähigkeit Druckbeanspruchung der Diagonalsteife**

$$N_{c,Rd} = N_{s2,pl,Rd} = 152,8 \text{ kN}$$

$$\frac{|F_{s2}|}{N_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,81 < 1}}$$

**Prüfung Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche:**

$$\eta = \frac{l_{s2}}{t_{s2}} = 1,20$$

$$\frac{72 * \varepsilon / \eta}{\eta} = \underline{\underline{0,52 < 1}}$$

⇒ kein Nachweis gegen Schubbeulen erforderlich

**Nachweis der Schweißnaht a<sub>6</sub>:**

$$\sigma_{orth,Ed} = \frac{F_{s2} * 100}{a_6 * (b_{s2} - c_{s2})} = 23,8 \text{ kN/cm}^2$$

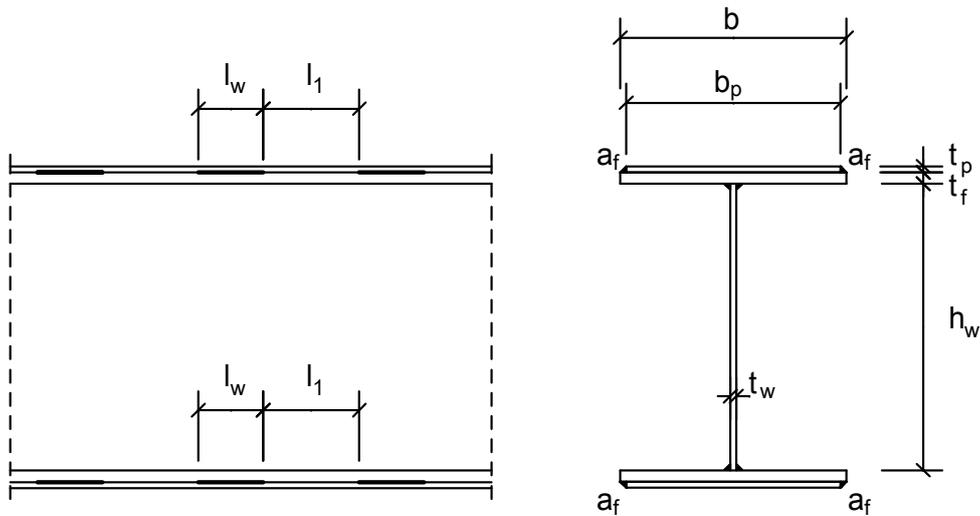
$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\sigma_{orth,Ed}^2} = 23,8 \text{ kN/cm}^2$$

**Nachweis der Schweißnaht:**

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{\underline{0,66 < 1}}$$

$$\frac{\sigma_{orth,Ed}}{0,9 * f_{u,k} / \gamma_{M2}} = \underline{\underline{0,92 < 1}}$$

### Biegeträger mit aufgeschweißtem Zusatzblech



#### System:

Flanschbreite $b =$	160,0 mm
Flanschdicke $t_f =$	12,0 mm
Steghöhe $h_w =$	340,0 mm
Stegdicke $t_w =$	8,0 mm
Zusatzblechdicke $t_p =$	8,0 mm
Schweißnahtdicke $a_f =$	3,0 mm
Schweißnahtabstand $l_1 =$	95,0 mm
gew. Schweißnahtlänge $l_w =$	40,0 mm ( $\geq 40$ mm!)
Breite $b_p$ des Zusatzflanschbleches:	
gew. Zusatzflanschbleche $b_p =$	75,0 mm

#### Belastung:

$M_{Ed} =$	241,90 kNm
$V_{Ed} =$	97,50 kN

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} =$	1,0
$\gamma_{M2} =$	1,25

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,5 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{uk}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,0 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon =$	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	=	1,00
$\beta_w =$	TAB("EC3_de/mat"; $\beta_{w}$ ; ID=Stahl)	=	0,80

#### Berechnung:

$$W_{pl} = \left( b \cdot t_f \cdot \frac{h_w + t_f}{2} + \frac{h_w}{2} \cdot t_w \cdot \frac{h_w}{4} \right) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 907,04 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl} = \frac{W_{pl} \cdot f_{y,k} \cdot 10^{-2}}{\gamma_{M0}} = 213,15 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_{y,k}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 369,04 \text{ kN}$$



#### Breite $b_p$ des Zusatzflanschbleches:

$$b_{p,\min} = \frac{\gamma_{M0} * 100 * \frac{M_{Ed}}{f_{y,k}} - W_{pl}}{2 * t_p * \left( \frac{h_w}{2} + t_f + \frac{t_p}{2} \right)} * 10^3 = 41,10 \text{ mm}$$

$$b_{p,\min} / b_p = \underline{0,55 \leq 1}$$

$$W_{pl} = W_{pl} + 2 * t_p * \left( \frac{h_w}{2} + t_f + \frac{t_p}{2} \right) * b_p * 10^{-3} = 1130,24 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} * 10^{-2} = 265,61 \text{ kNm}$$

#### **Nachweis:**

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \underline{0,91 \leq 1}$$

$$\frac{V_{Ed}}{\frac{1}{2} * V_{pl,Rd}} = \underline{0,53 \leq 1}$$

#### Bestimmung der Länge $l_w$ der unterbrochenen Schweißnaht:



$$I_y = I_{y1} + I_{y2} = 18671,18 \text{ cm}^4$$

$$T' = \frac{V_{Ed} * t_p * b_p * \left( \frac{h_w}{2} + t_f + \frac{t_p}{2} \right)}{I_y * 1000} = 0,58 \text{ kN/cm}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_{u,k} / \sqrt{3}}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{w,Rd} = 2 * a_f / 10 * f_{vw,d} = 12,47 \text{ kN/cm}$$

$$T = T' * (l_w + l_1) / 10 = 7,83 \text{ kN}$$

$$F_{w,Rd} = 0,2 * a_f / 10 * l_w * f_{vw,d} = 49,87 \text{ kN}$$

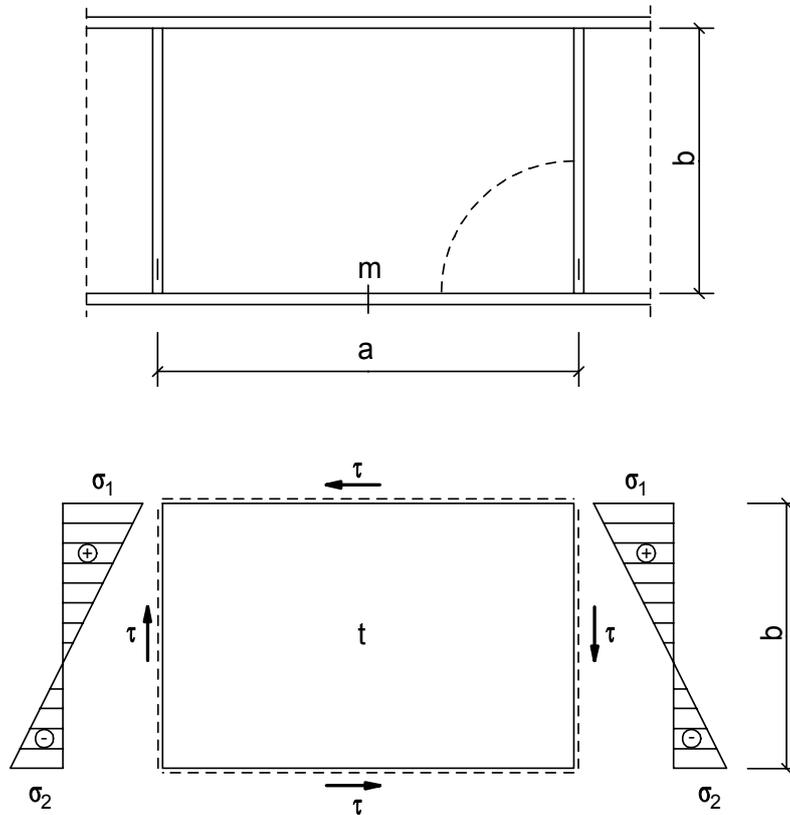
#### **Nachweis:**

$$\frac{T}{F_{w,Rd}} = \underline{0,16 \leq 1}$$

## Kapitel Stabilitätsnachweise

### Unversteiftes Beulfeld

Nachweis der Beulsicherheit eines nicht ausgesteiften Blechfeldes.



#### Geometrie:

Beulfeldlänge $a =$	200,0 mm
Beulfeldbreite $b =$	800,0 mm
Blechdicke $t_w =$	6,0 mm

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} =$	1,0
$\gamma_{M1} =$	1,1

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	=	S 355
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	35,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\epsilon =$	$\sqrt{\frac{235}{f_{y,k} * 10}}$	=	0,81
$E =$	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)	=	210000 N/mm <sup>2</sup>
Poissonzahl $\nu =$		=	0,3

#### Einwirkungen:

Spannungen:

$\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  und  $\tau$  sind die mit  $\gamma_F$ -fachen Schnittgrößen ermittelten Spannungen.

$\sigma_1$ : betragsmäßig größte Druckspannung (Druck positiv)

$\sigma_2$ : Spannung am gegenüberliegenden Rand (Zug negativ)

$\tau$ : Schubspannungen (immer positiv)



Spannung (max) $\sigma_1 =$	8,00 kN/cm <sup>2</sup>
Spannung $\sigma_2 =$	6,00 kN/cm <sup>2</sup>
Schubspannung $\tau =$	2,00 kN/cm <sup>2</sup>
Bestimmung der Einwirkungen aus den Spannungsangaben	
$V_{Ed} = \tau * b * t_w / 100$	= 96,00 kN
$N_{Ed} = 0,5 * (\sigma_1 + \sigma_2) * t_w * b / 100$	= 336,00 kN
$M_{Ed} = 0,5 * (\sigma_1 - \sigma_2) * t_w * b^2 / (6 * 1000)$	= 640,00 kNcm

### Schubbeulen

**Einfacher Nachweis** der Beulsicherheit gegen Schubbeulen **durch Prüfung**

$$\eta = 1,20$$

$$h_w = a = 200,00 \text{ mm}$$

$$\frac{h_w / t_w}{72 * \varepsilon / \eta} = \underline{0,69 < 1}$$

⇒ kein Nachweis gegen Schubbeulen erforderlich.

$$h_w = b = 800,00 \text{ mm}$$

$$\frac{h_w / t_w}{72 * \varepsilon / \eta} = \underline{2,74 \text{ nicht } < 1}$$

⇒ ausführlicher Nachweis erforderlich

**Ausführlicher Nachweis der Beulsicherheit gegen Schubbeulen:  
Methode der wirksamen Breiten**

$$k_\tau = \text{WENN}(a/b < 1; 4 + 5,34 * \left(\frac{b}{a}\right)^2; 5,34 + 4 * \left(\frac{b}{a}\right)^2) = 89,440$$

Schlankheitsgrad für die Schubbeanspruchung  
 $b/t_w$

$$\lambda_{\text{quer,w}} = \frac{b/t_w}{\sqrt{\frac{E * \pi^2 * \sqrt{3}}{235 * 12 * (1 - \nu^2)} * \varepsilon * \sqrt{k_\tau}}} = 0,465$$

$$\chi_w = \text{WENN}(\lambda_{\text{quer,w}} < (0,83/\eta); \eta; 0,83/\lambda_{\text{quer,w}}) = 1,20$$

Bemessungswert der Beanspruchbarkeit:

$$V_{b,Rd} = \text{MIN}\left(\frac{\chi_w * f_{y,k} * b * t_w}{\sqrt{3} * \gamma_{M1} * 100}; \frac{\eta * f_{y,k} * b * t_w}{\sqrt{3} * \gamma_{M1} * 100}\right) = 1073,24 \text{ kN}$$

**Nachweis Schubbeulen:**

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} = \underline{0,09 < 1}$$

$$\eta_{\text{quer,3}} = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} = \underline{0,09 < 0,5}$$

⇒ keine Abminderung der Momententragfähigkeit wegen Schubkräften



### Normalspannungsbeulen

#### plattenartiges Verhalten

$$\alpha = \frac{a}{b} = 0,250$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 0,750$$

Beulwert



$$\lambda_{\text{quer,p}} = \frac{b/t_w}{\sqrt{\frac{E \cdot \pi^2}{235 \cdot 12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \epsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}}} = 1,279$$

$$\rho = \text{WENN}(\lambda_{\text{quer,p}} > 0,673; \frac{\lambda_{\text{quer,p}}^{-0,055 \cdot (3 + \psi)}}{2}; 1) = 0,656$$

$$\rho = \text{MIN}(\rho; 1) = 0,656$$

#### knickstabähnliches Verhalten

$$\sigma_{\text{cr,c}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t_w^2}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot a^2} / 10 = 17,08 \text{ kN/cm}^2$$

Schlankheitsgrad für knickstabähnliches Verhalten

$$\lambda_{\text{quer,c}} = \frac{a/t_w}{\sqrt{\frac{E \cdot \pi^2}{235 \cdot 12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \epsilon}} = 1,448$$

$$\chi_c = \text{WENN}(\lambda_{\text{quer,c}} < 0,83 \cdot \eta; \eta; 0,83 / \lambda_{\text{quer,c}}) = 0,57$$

#### Interaktion zwischen plattenartigem und knickstabähnlichem Verhalten

$$\xi = \text{MAX}(0; \frac{\sigma_{\text{cr,p}}}{\sigma_{\text{cr,c}}} - 1) = 0,282$$

$$\xi = \text{MIN}(1; \xi) = 0,282$$

Abminderungsfaktor Interaktion

$$\rho_c = (\rho - \chi_c) \cdot \xi \cdot (2 - \xi) + \chi_c = 0,612$$



#### wirksame Querschnittswerte

$$b_{\text{eff}} = \text{WENN}(\psi < 0; \frac{\rho_c \cdot b}{1 - \psi}; \rho_c \cdot b) = 489,60 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = \text{WENN}(\psi < 0; 0,4 \cdot b_{\text{eff}}; \frac{2}{5 - \psi} \cdot b_{\text{eff}}) = 230,40 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_{\text{eff}} - b_{e1} = 259,20 \text{ mm}$$

$$A_{c,\text{eff}} = b_{\text{eff}} \cdot t_w / 100 = 29,38 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{eff}} = A_{c,\text{eff}} = 29,38 \text{ cm}^2$$

$$z_s = \frac{t_w \cdot \frac{b_{e1}^2}{2} + t_w \cdot b_{e2} \cdot \left(b - \frac{b_{e2}}{2}\right)}{A_{\text{eff}} \cdot 1000} = 40,91 \text{ cm}$$

Verschiebung der Schwerpunktschse

$$e_N = z_s - (b/10)/2 = 0,91 \text{ cm}$$

Trägheitsmoment um die Schwerpunktschse des wirksamen Querschnitts



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

#### Nachweis Plattenbeulen bei Längsspannungen

$$\eta_1 = \frac{N_{\text{Ed}}}{f_{y,k} \cdot A_{\text{eff}}} + \frac{M_{\text{Ed}} + N_{\text{Ed}} \cdot e_N}{f_{y,k} \cdot W_{\text{eff}}} = \underline{\underline{0,37 < 1}}$$

#### Interaktion Normalspannungs- und Schubbeulen

(keine Spannungen in Querrichtung)

$$\sigma_{x,\text{Ed}} = \frac{N_{\text{Ed}}}{A_{\text{eff}}} + \frac{M_{\text{Ed}} + N_{\text{Ed}} \cdot e_N}{W_{\text{eff}}} = 13,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\text{Ed}} = \frac{V_{\text{Ed}}}{A_{\text{eff}}} = 3,27 \text{ kN/cm}^2$$

$$\rho = \text{MIN}(\rho_c; \chi_w) = 0,612$$

#### Nachweis Normalspannungs- und Schubbeulen

$$\frac{1}{\rho^2} \cdot \left( \left( \frac{\sigma_{x,\text{Ed}}}{f_{y,k} / \gamma_{M1}} \right)^2 + 3 \cdot \left( \frac{\tau_{\text{Ed}}}{f_{y,k} / \gamma_{M1}} \right)^2 \right) = \underline{\underline{0,52 < 1}}$$



### Ermittlung der Querschnittsklasse von I-Profilen

unter Druck bzw. reiner Biegung

Träger Typ1 = GEW("EC3\_de/Profile"; ID;) = IPE  
Träger-Profil ID1 = GEW("EC3\_de/Typ1; ID; ) = IPE 450

#### Material:

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID; ) = S 235  
 $f_{y,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{y,k}; \text{ID=Stahl})/10 = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   
 $\varepsilon = \sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}} = 1,00$

#### Querschnittswerte:

Träger:  
Höhe h = TAB("EC3\_de/Typ1; h; ID=ID1;) = 450,00 mm  
Breite b = TAB("EC3\_de/Typ1; b; ID=ID1;) = 190,00 mm  
Steg  $t_w$  = TAB("EC3\_de/Typ1;  $t_w$ ; ID=ID1;) = 9,40 mm  
Flansch  $t_f$  = TAB("EC3\_de/Typ1;  $t_f$ ; ID=ID1;) = 14,60 mm  
Steghöhe d = TAB("EC3\_de/Typ1; d; ID=ID1;) = 378 mm

#### Einstufung des Querschnitts:

##### **Querschnittsklasse bei Druck:**

c = d = 378 mm

Steg:

$QK_{St} = \text{WENN}(c/t_w \leq 33 \cdot \varepsilon; 1; \text{WENN}(c/t_w \leq 38 \cdot \varepsilon; 2; \text{WENN}(c/t_w \leq 42 \cdot \varepsilon; 3; 4))) = 3$

Flansch:

$QK_{Fl} = \text{WENN}(c/t_f \leq 9 \cdot \varepsilon; 1; \text{WENN}(c/t_f \leq 10 \cdot \varepsilon; 2; \text{WENN}(c/t_f \leq 14 \cdot \varepsilon; 3; 4))) = 4$

**Querschnittsklasse QK = MAX(QK<sub>St</sub>; QK<sub>Fl</sub>) = 4**

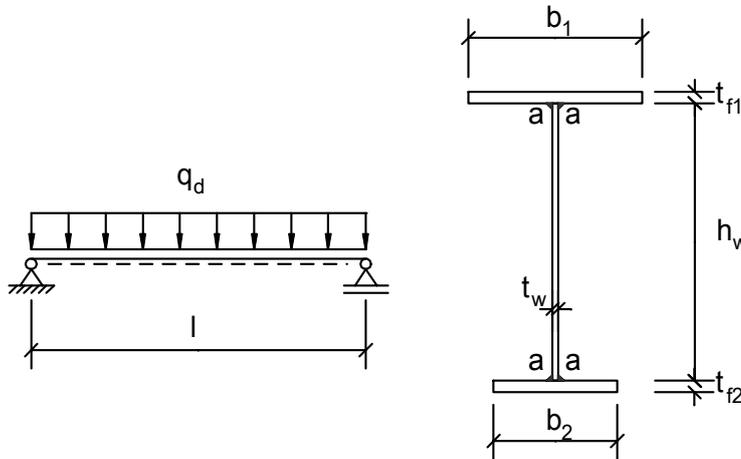
##### **Querschnittsklasse auf Biegung:**

Steg:

$QK_{St} = \text{WENN}(c/t_w \leq 72 \cdot \varepsilon; 1; \text{WENN}(c/t_w \leq 83 \cdot \varepsilon; 2; \text{WENN}(c/t_w \leq 124 \cdot \varepsilon; 3; 4))) = 1$

### Ideales Biegedrillknickmoment $M_{cr}$

Beispiel zur Berechnung des idealen Biegedrillknickmomentes  $M_{cr}$  nach der Elastizitätstheorie eines Trägers mit einfachsymmetrischem Querschnitt. Querschnitt unveränderlich, symmetrisch in Bezug auf die schwache Achse, Endauflager gabelgelagert.



#### Systemmaße:

Stützweite $l =$	3750,0 mm
Trägerbreite oben $b_1 =$	200,0 mm
Flanshdicke oben $t_{f1} =$	10,0 mm
Profilbreite unten $b_2 =$	100,0 mm
Flanshdicke unten $t_{f2} =$	10,0 mm
Stegdicke $t_w =$	6,5 mm
Trägerhöhe $h =$	162,0 mm
Nahtdicke $a_w =$	18,0 mm
Steghöhe $h_w =$	$h - t_{f1} - t_{f2} = 142,0$ mm

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 355
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{y,k}$ ; ID=Stahl)/10	=	35,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon =$	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	=	0,81
$E =$	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	=	21000,0 kN/cm <sup>2</sup>
$G =$	TAB("EC3_de/mat"; G; ID=Stahl)/10	=	8100,0 kN/cm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwerte:			
$\gamma_{M0} =$			1,0
$\gamma_{M1} =$			1,1

#### Querschnittswerte:

$$A = (b_1 \cdot t_{f1} + b_2 \cdot t_{f2} + h_w \cdot t_w) / 100 = 39,23 \text{ cm}^2$$

Lage des Schwerpunktes (bezogen auf oberen Flanschschwerpunkt):

$$e_s = \frac{b_2 \cdot t_{f2} \cdot \left( h_w + \frac{t_{f1}}{2} + \frac{t_{f2}}{2} \right) + h_w \cdot t_w \cdot \frac{(h_w + t_{f1})}{2}}{A \cdot 1000} = 5,66 \text{ cm}$$

Lage des Schubmittelpunktes:

$$z_M = \left( h_w + \frac{t_{f1} + t_{f2}}{2} \right) \cdot \frac{b_2^3}{b_1^3 + b_2^3} \cdot 10^{-1} = 1,69 \text{ cm}$$

$$z_S = -1 \cdot (z_M - e_s) = 3,97 \text{ cm}$$



Lage der plastischen Nulllinie:



$$I_z = \left( t_{f1} \cdot \frac{b_1^3}{12} + t_{f2} \cdot \frac{b_2^3}{12} \right) \cdot 10^{-4} = 750,00 \text{ cm}^4$$

**Ideales Biegedrillknickmoment (Verzweigungsmoment)  $M_{cr}$ :**

mit den Knicklängenbeiwerten:

$$\text{Endverdrehung } k_z = 1,00$$

$$\text{Endverwölbung } k_w = 1,00$$

Beiwert abhängig von Belastung und Lagerungsbedingungen

$$C_1 = 1,132$$

$$C_2 = 0,459$$

$$C_3 = 0,525$$

Koordinate des Lasteinleitungspunktes:

$$\text{Lasteinleitung } z_a = 0,00 \text{ cm}$$

Abstand des Lastangriffspunktes zum Schubmittelpunkt:

$$z_g = z_a - z_s = -3,97 \text{ cm}$$

Ungleiche Flansche:

$$\beta_f = \frac{b_1^3 \cdot t_{f1}}{b_1^3 \cdot t_{f1} + b_2^3 \cdot t_{f2}} = 0,889$$

$$h_s = \left( h_w + \frac{t_{f1}}{2} + \frac{t_{f2}}{2} \right) / 10 = 15,20 \text{ cm}$$

$$z_j = \text{WENN}(\beta_f > 0,5; 0,4 \cdot (2 \cdot \beta_f - 1) \cdot h_s; 0,5 \cdot (2 \cdot \beta_f - 1) \cdot h_s) = 4,73 \text{ cm}$$

$$I_w = \beta_f \cdot (1 - \beta_f) \cdot I_z \cdot \left( h_w + \frac{t_{f1} + t_{f2}}{2} \right)^2 \cdot 10^{-2} = 0,02 \cdot 10^6 \text{ cm}^6$$

$$\text{term}_1 = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k_z \cdot l)^2} \cdot 10^3 = 12513,06$$

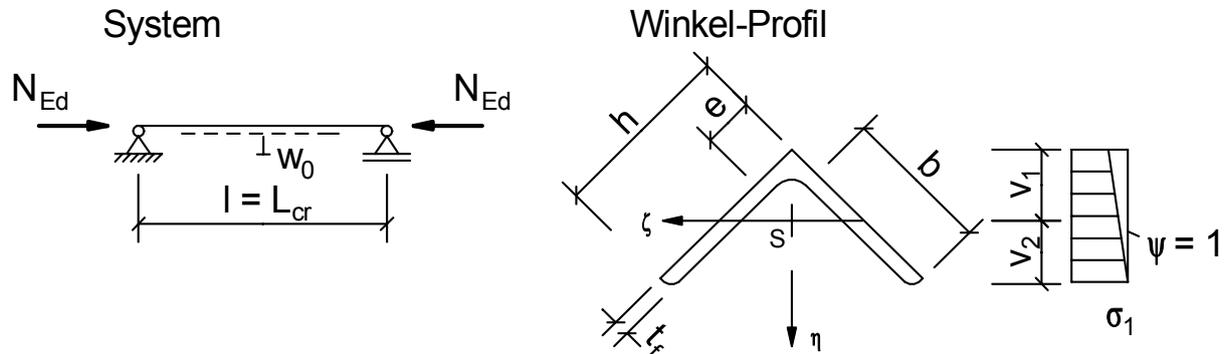
$$\text{term}_2 = \sqrt{\left( \frac{k_z}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z \cdot l / 10)^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2} = 11,31$$

$$\text{term}_3 = C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j = -4,31$$

$$M_{cr} = \text{term}_1 \cdot \frac{\text{term}_2 - \text{term}_3}{10} = \underline{\underline{19545 \text{ kNcm}}}$$

### Winkel-Profil als Druckstab

Beidseitig gelenkig gelagerter Druckstab mit einfach-symmetrischem Winkel-Profil-Querschnitt.



### Querschnitte / Geometrie:

Gleichschenkliger Winkel:

Typ = GEW("EC3\_de/WG"; ID;) = L 200x16  
 Knicklänge  $L_{cr}$  = 3000,00 mm

Abmessungen:

h = TAB("EC3\_de/WG"; h; ID=Typ) = 200,00 mm  
 t = TAB("EC3\_de/WG"; t; ID=Typ) = 16,00 mm  
 r<sub>1</sub> = TAB("EC3\_de/WG"; r1; ID=Typ) = 18,00 mm  
 r<sub>2</sub> = TAB("EC3\_de/WG"; r2; ID=Typ) = 9,00 mm  
 b = h - t - r<sub>1</sub> = 166,00 mm  
 e = TAB("EC3\_de/WG"; e; ID=Typ) = 5,52 cm  
 v<sub>1</sub> = TAB("EC3\_de/WG"; v1; ID=Typ) = 7,80 cm  
 v<sub>2</sub> = TAB("EC3\_de/WG"; v2; ID=Typ) = 7,09 cm  
 $z_M = \left( e - \frac{t}{2 \cdot 10} \right) \cdot \sqrt{2}$  = 6,68 cm

Fläche:

A = TAB("EC3\_de/WG"; A; ID=Typ) = 61,80 cm<sup>2</sup>

Trägheitsmomente, Trägheitsradien:

$I_{\zeta}$  = TAB("EC3\_de/WG"; Izeta; ID=Typ) = 943,00 cm<sup>4</sup>  
 $I_{\eta}$  = TAB("EC3\_de/WG"; Ieta; ID=Typ) = 3740,00 cm<sup>4</sup>  
 $i_{\zeta}$  = TAB("EC3\_de/WG"; izeta; ID=Typ) = 3,91 cm  
 $i_{\eta}$  = TAB("EC3\_de/WG"; ieta; ID=Typ) = 7,78 cm  
 $i_p = \sqrt{i_{\zeta}^2 + i_{\eta}^2}$  = 8,71 cm  
 $i_M = \sqrt{i_p^2 + z_M^2}$  = 10,98 cm

Drillwiderstand:

$\beta = 0,07 + 0,08 \cdot \frac{r_1}{t}$  = 0,1600  
 $D = 0,82843 \cdot ((r_1 + t) \cdot \sqrt{2} - r_1) / 10$  = 2,492 cm  
 $I_T = \frac{2}{3} \cdot (h - 0,815 \cdot t) \cdot t^3 \cdot 10^{-4} + \beta \cdot D^4$  = 57,22 cm<sup>4</sup>

verdrehweicher Querschnitt ( $I_w = 0$  cm<sup>6</sup>)

### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0}$  = 1,0  
 $\gamma_{M1}$  = 1,1



#### Einwirkungen:

Normalkraft (Druck positiv)  
Druckkraft  $N_{Ed} = 900,0 \text{ kN}$

#### Material:

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID;) = S 355  
 $f_{y,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{yk}; \text{ID=Stahl})/10 = 35,5 \text{ kN/cm}^2$   
 $f_{u,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{uk}; \text{ID=Stahl})/10 = 51,0 \text{ kN/cm}^2$   
 $\epsilon = \sqrt{\frac{235/10}{f_{y,k}}} = 0,81$   
 $E = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } E; \text{ID=Stahl})/10 = 21000 \text{ kN/cm}^2$   
 Poissonzahl  $\nu = 0,3$   
 $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$

#### Einstufung des Querschnitts:



#### Wirksamer Querschnitt

Spannungsverhältnis  $\psi = 1$   
 Beulwert  $k_{\sigma} = 0,43$   
 $\lambda_{\text{quer,p}} = \frac{b/t}{\sqrt{\frac{E \cdot \pi^2}{23,5 \cdot 12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \epsilon \cdot \sqrt{k_{\sigma}}}} = 0,687$   
 $\rho = \text{WENN}(\lambda_{\text{quer,p}} > 0,673; \frac{\lambda_{\text{quer,p}} - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{2}; 1) = 0,989$   
 $\rho = \text{MIN}(\rho; 1) = 0,989$   
 $b_{\text{eff}} = \text{WENN}(\psi < 0; \frac{\rho \cdot h}{1 - \psi}; \rho \cdot h) = 197,80 \text{ mm}$   
 $b_{\text{eff}} = b_{\text{eff}} + 0,5 \cdot (h - b_{\text{eff}}) = 198,90 \text{ mm}$   
 $A_{\text{eff}} = (2 \cdot b_{\text{eff}} \cdot t - t^2) \cdot 10^{-2} = 61,09 \text{ cm}^2$   
 Schwerpunkt des wirksamen Querschnitts:  
 $\eta_{s,\text{eff}} = \frac{2 \cdot b_{\text{eff}}^2 \cdot \frac{t}{2 \cdot \sqrt{2}} - t^2 \cdot \frac{t \cdot \sqrt{2}}{2}}{(2 \cdot b_{\text{eff}} \cdot t - t^2) \cdot 10} = 7,28 \text{ cm}$



Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts:

$$\eta_s = \frac{2 \cdot h^2 \cdot \frac{t}{2 \cdot \sqrt{2}} - t^2 \cdot \frac{t \cdot \sqrt{2}}{2}}{(2 \cdot h \cdot t - t^2) \cdot 10} = 7,32 \text{ cm}$$

Verschiebung der Schwerpunktschse

$$e_N = \eta_s - \eta_{s,eff} = 0,04 \text{ cm}$$

⇒ Beanspruchung durch zusätzliches Biegemoment

Trägheitsmoment des wirksamen Querschnitts



### Knickbeanspruchbarkeit:

#### Abminderungsbeiwerte für Biegeknicken $\chi_y \chi_z$

$$\text{Knicklinie b } \alpha = 0,34$$
$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E / 235 / 10} \cdot \varepsilon = 76,07$$

#### Knicken um die $\zeta$ -Achse:

$$I = I_\zeta = 943,00 \text{ cm}^4$$

$$i = i_\zeta = 3,91 \text{ cm}$$

$$N_{cr,\zeta} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(L_{cr} / 10)^2} = 2171,64 \text{ kN}$$

$$\lambda_{quer,\zeta} = \frac{L_{cr}}{i \cdot 10} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = 1,009$$

$$\lambda_{quer} = \frac{L_{cr}}{i \cdot 10} \cdot \frac{\sqrt{A_{eff}}}{\lambda_1} = 1,003$$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_{quer} - 0,2) + \lambda_{quer}^2) = 1,140$$

$$\chi_\zeta = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{quer}^2}} = 0,595$$

**Knicken um die  $\eta$ -Achse:**

$$I = I_{\eta} = 3740,00 \text{ cm}^4$$

$$i = i_{\eta} = 7,78 \text{ cm}$$

$$N_{cr,\eta} = \frac{\pi^2 * E * I}{(L_{cr} / 10)^2} = 8612,86 \text{ kN}$$

$$\lambda_{quer,\eta} = \frac{L_{cr}}{i * 10} * \frac{1}{\lambda_1} = 0,507$$

$$\lambda_{quer} = \frac{L_{cr}}{i * 10} * \frac{\sqrt{A_{eff}}}{\lambda_1} = 0,504$$

$$\Phi = 0,5 * (1 + \alpha * (\lambda_{quer} - 0,2) + \lambda_{quer}^2) = 0,679$$

$$\chi_{\eta} = \text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{quer}^2}}; 1,0\right) = 0,882$$

$$\lambda_{quer,max} = \text{MAX}(\lambda_{quer,\zeta}; \lambda_{quer,\eta}) = 1,009$$

$$N_{cr} = \text{MIN}(N_{cr,\zeta}; N_{cr,\eta}) = 2171,64 \text{ kN}$$

Abminderungsfaktor der maßgebenden Biegeknickrichtung

$$\chi_{min} = \text{MIN}(\chi_{\zeta}; \chi_{\eta}) = 0,595$$

**Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken  $\chi_{LT}$** 

Schlankheitsgrad für Drillknicken oder Biegedrillknicken:

$$\lambda_{quer,LT} = \sqrt{\frac{A_{eff} * f_{y,k} / \gamma_{M0}}{N_{cr}}} = 0,999$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

$$\chi_{LT} = \text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta * \lambda_{quer,LT}^2}}; 1,0; \frac{1}{\lambda_{quer,LT}^2}\right) = 0,560$$

**Imperfektionen:**L-Querschnitt, Ausweichen rechtwinklig zu jeder Achse  $\Rightarrow$  **Knicklinie b**

$$\chi = \chi_{min} = 0,595$$

$$\lambda_{quer} = \lambda_{quer,p} = 0,687$$

Vorkrümmung

$$e_{0,d} = \text{WENN}(\lambda_{quer} > 0,2; \alpha * (\lambda_{quer} - 0,2) * \frac{W_{eff}}{A_{eff}} * \frac{1 - \chi * \lambda_{quer}^2 / \gamma_{M1}}{1 - \chi * \lambda_{quer}^2}; 0) = 0,33 \text{ cm}$$

**Biegemoment**

$$M_{Ed} = N_{Ed} * (e_N + e_{0,d}) = 333,00 \text{ kNcm}$$



### Interaktionsfaktoren

offener Querschnitt  $\Rightarrow$  verdrehweiches Bauteil (ohne Verdrehbehinderung)



Grenzwert von  $\lambda_{\text{quer},0}$

$$\lambda_{q0} = 0,2 * \sqrt{C_1} * \left( \left( 1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,eta}} \right) * \left( 1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}} \right) \right)^{0,25} = 0,181$$

$$\frac{\lambda_{q0}}{\lambda_{\text{quer},0}} = \underline{\underline{0,18 < 1}}$$

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_\zeta} = 0,94$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} * \frac{A_{\text{eff}}}{W_{\text{eff}}} = 0,19$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) * \frac{\sqrt{\varepsilon_y} * a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} * a_{LT}} = 1,009$$

$$C_{mz} = C_{mz,0} = 1,003$$

$$C_{mLT} = \text{MAX} \left( C_{my}^2 * \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left( 1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,eta}} \right) * \left( 1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}} \right)}}; 1 \right) = 1,169$$



Interaktionsbeiwerte nach Anhang A  
- für Klasse 3, Klasse 4

$$k_{yy} = C_{my} * C_{mLT} * \frac{\mu_{\zeta}}{1 - N_{Ed}/N_{cr,zeta}} = 1,571$$

$$k_{zy} = C_{my} * C_{mLT} * \frac{\mu_{\eta}}{1 - N_{Ed}/N_{cr,eta}} = 1,304$$

### Nachweise Knickbeanspruchbarkeit:

$$\frac{|N_{Ed}|}{\chi_{\zeta} * A_{eff} * f_{y,k} / \gamma_{M1}} + k_{yy} * \frac{N_{Ed} * (e_N + e_{0,d})}{\chi_{LT} * W_{eff} * f_{y,k} / \gamma_{M1}} = \underline{1,01 < 1}$$

$$\frac{|N_{Ed}|}{\chi_{\eta} * A_{eff} * f_{y,k} / \gamma_{M1}} + k_{zy} * \frac{N_{Ed} * (e_N + e_{0,d})}{\chi_{LT} * W_{eff} * f_{y,k} / \gamma_{M1}} = \underline{0,72 < 1}$$

### Beanspruchbarkeit des Querschnitts

#### Nachweis Querschnittsbeanspruchung

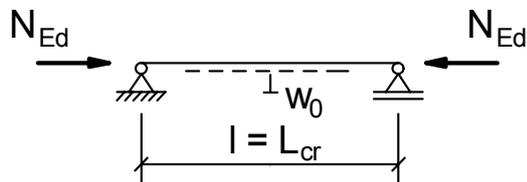
$$\frac{|N_{Ed}|}{A_{eff} * f_{y,k} / \gamma_{M0}} + \frac{|M_{Ed}|}{W_{eff} * f_{y,k} / \gamma_{M0}} = \underline{0,49 < 1}$$

### T-Profil als Druckstab

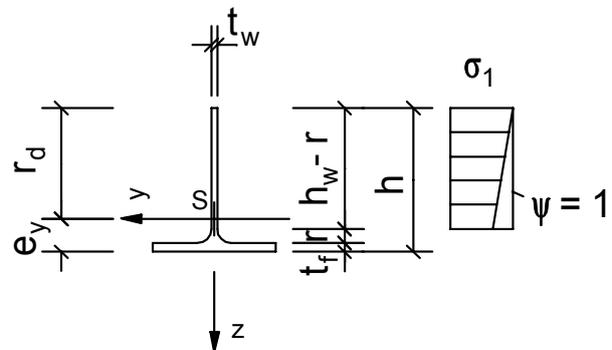
Beidseitig gelenkig gelagerter Druckstab mit Querschnitt aus geteiltem I-Profil.

ideales Biegedrillknickmoment  $M_{cr}$  aus externer Berechnung (siehe z. B. Vorlage Kippmoment\_Mcr.hed).

System



Profilquerschnitt



### Querschnitte / Geometrie:

Stahlprofil:

Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile";ID;)	=	HEA
Profil Typ =	GEW("EC3_de/Typ1; ID;)	=	HEA 200
Profilhöhe h =		=	162,00 mm
Knicklänge $L_{cr}$ =		=	3750,00 mm

Abmessungen:

b =	TAB("EC3_de/Typ1; b; ID=Typ)	=	200,00 mm
$t_f$ =	TAB("EC3_de/Typ1; $t_f$ ; ID=Typ)	=	10,00 mm
$t_w$ =	TAB("EC3_de/Typ1; $t_w$ ; ID=Typ)	=	6,50 mm
r =	TAB("EC3_de/Typ1; r; ID=Typ)	=	18,00 mm
$h_w$ =	$h - t_f$	=	152,00 mm

Fläche:

$A_1$ =	$t_w * h_w / 100$	=	9,88 cm <sup>2</sup>
$A_2$ =	$t_f * b / 100$	=	20,00 cm <sup>2</sup>
$A_3$ =	$0,4292 * r^2 / 100$	=	1,39 cm <sup>2</sup>
A =	$A_1 + A_2 + A_3$	=	31,27 cm <sup>2</sup>

Schwerpunkt:

S =	$0,5 * A_1 * h/10 + A_3 * (t_f/20 + 0,2234*r/10)$	=	81,28 cm <sup>3</sup>
$z_s$ =	$\frac{S}{A}$	=	2,60 cm
$e_y$ =	$z_s + \frac{t_f}{2 * 10}$	=	3,10 cm
$z_1$ =	$0,5 * h / 10 - z_s$	=	5,50 cm
$z_2$ =	$z_s$	=	2,60 cm
$z_3$ =	$z_s - 0,5 * t_f / 10 - 0,2234 * r / 10$	=	1,70 cm

Trägheitsmomente:

$I_{y1}$ =	$\left( \frac{t_w * h_w^3 + b * t_f^3}{12} + 0,015 * r^4 \right) * 10^{-4}$	=	192,05 cm <sup>4</sup>
$I_{y2}$ =	$A_1 * z_1^2 + A_2 * z_2^2 + A_3 * z_3^2$	=	438,09 cm <sup>4</sup>
$I_y$ =	$I_{y1} + I_{y2}$	=	630,14 cm <sup>4</sup>



$$I_{z1} = \frac{h_w \cdot t_w^3 + t_f \cdot b^3}{12} \cdot 10^{-4} = 667,01 \text{ cm}^4$$

$$I_{z2} = \left( 0,015 \cdot r^4 + A_3 \cdot 100 \cdot \left( \frac{t_w}{2} + 0,2234 \cdot r \right)^2 \right) \cdot 10^{-4} = 0,89 \text{ cm}^4$$

$$I_z = I_{z1} + I_{z2} = 667,90 \text{ cm}^4$$

Trägheitsradien:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 4,49 \text{ cm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 4,62 \text{ cm}$$

$$i_p = \sqrt{i_y^2 + i_z^2} = 6,44 \text{ cm}$$

$$i_M = \sqrt{i_p^2 + z_s^2} = 6,95 \text{ cm}$$

Drillwiderstand:



#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\gamma_{M0} = 1,0$$
$$\gamma_{M1} = 1,1$$

#### Einwirkungen:

Normalkraft (Druck positiv)  
Druckkraft  $N_{Ed} = 200,00 \text{ kN}$

#### Material:

$$\text{Stahl} = \text{GEW}(\text{"EC3\_de/mat"; ID;}) = \text{S 355}$$
$$f_{y,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{y,k}; \text{ID=Stahl)/10} = 35,5 \text{ kN/cm}^2$$
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235/10}{f_{y,k}}} = 0,81$$
$$E = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; E; ID=Stahl)/10} = 21000 \text{ kN/cm}^2$$
$$\text{Poissonzahl } \nu = 0,3$$
$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$



#### Einstufung des Querschnitts:

Flansch: einseitig gestützt, auf Druck beansprucht:

$$c = (b - t_w - 2 * r) / 2 = 78,75 \text{ mm}$$

$$QK_{Fl} = \text{WENN}(c/t_f \leq 9 * \epsilon; 1; \text{WENN}(c/t_f \leq 10 * \epsilon; 2; \text{WENN}(c/t_f \leq 14 * \epsilon; 3; 4))) = 2$$

Steg: einseitig gestützt, auf Druck beansprucht:

$$c = h - t_f - r = 134,00 \text{ mm}$$

$$QK_{St} = \text{WENN}(c/t_f \leq 9 * \epsilon; 1; \text{WENN}(c/t_f \leq 10 * \epsilon; 2; \text{WENN}(c/t_f \leq 14 * \epsilon; 3; 4))) = 4$$

$$\text{Querschnittsklasse } QK = \text{MAX}(QK_{St}; QK_{Fl}) = 4$$

#### Wirksamer Querschnitt:

einseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile

$$\text{Spannungsverhältnis } \psi = 1$$

$$\text{Beulwert } k_{\sigma} = 0,43$$

$$\lambda_{\text{quer},p} = \frac{c/t_w}{\sqrt{\frac{E * \pi^2}{23,5 * 12 * (1 - \nu^2)} * \epsilon * \sqrt{k_{\sigma}}}} = 1,366$$

Abminderungsfaktor Plattenbeulen

$$\rho = \text{WENN}(\lambda_{\text{quer},p} > 0,673; \frac{\lambda_{\text{quer},p}^{-0,055 * (3 + \psi)}}{2}; 1) = 0,614$$

$$\rho = \text{MIN}(\rho; 1) = 0,614$$

$$b_{\text{eff}} = \text{WENN}(\psi < 0; \frac{\rho * c}{1 - \psi}; \rho * c) = 82,28 \text{ mm}$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie  
Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

Verschiebung der Schwerpunktschwerachse:

$$e_N = z_s - z_{s,\text{eff}} = 1,27 \text{ cm}$$

⇒ zusätzliches Biegemoment

$$z_{1e} = 0,5 * h_{\text{eff}} / 10 - z_{s,\text{eff}} = 4,18 \text{ cm}$$

$$z_{2e} = z_{s,\text{eff}} = 1,33 \text{ cm}$$

$$z_{3e} = z_{s,\text{eff}} - 0,5 * t_f / 10 - 0,2234 * r / 10 = 0,43 \text{ cm}$$



### Knickbeanspruchbarkeit:



### Abminderungsbeiwerte für Biegeknicke $\chi_y \chi_z$

$$\text{Knicklinie c } \alpha = 0,49$$

$$\lambda_1 = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{\pi \sqrt{E/235/10} \cdot \varepsilon}{i} = 76,07$$

#### Knicke um die y-Achse:

$$l = l_y = 630,14 \text{ cm}^4$$

$$i = i_y = 4,49 \text{ cm}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(L_{cr}/10)^2} = 928,74 \text{ kN}$$

$$\lambda_{quer,y} = \frac{L_{cr}}{i \cdot 10} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = 1,098$$

$$\lambda_{quer} = \frac{L_{cr}}{i \cdot 10} \cdot \frac{\sqrt{A_{eff}/A}}{\lambda_1} = 1,037$$

$$\Phi = \frac{0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_{quer} - 0,2) + \lambda_{quer}^2)}{1} = 1,243$$

$$\chi_y = \frac{\text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{quer}^2}}; 1,0\right)}{1} = 0,519$$

#### Knicke um die z-Achse:

$$i = i_z = 4,62 \text{ cm}$$

$$l = l_z = 667,90 \text{ cm}^4$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(L_{cr}/10)^2} = 984,39 \text{ kN}$$

$$\lambda_{quer,z} = \frac{L_{cr}}{i \cdot 10} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = 1,067$$

$$\lambda_{quer} = \frac{L_{cr}}{i \cdot 10} \cdot \frac{\sqrt{A_{eff}/A}}{\lambda_1} = 1,008$$

$$\Phi = \frac{0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_{quer} - 0,2) + \lambda_{quer}^2)}{1} = 1,206$$

$$\chi_z = \frac{\text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{quer}^2}}; 1,0\right)}{1} = 0,535$$

$$N_{cr} = \text{MIN}(N_{cr,y}; N_{cr,z}) = 928,74 \text{ kN}$$

Abminderungsfaktor der maßgebenden Biegeknicke

$$\chi_{min} = \text{MIN}(\chi_y; \chi_z) = 0,519$$



#### Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken $\chi_{LT}$

$$\text{Ideales BDK-Moment } M_{cr} = 15216,00 \text{ kNcm}$$

- für Querschnitte nach Klasse 4:  $W_y = W_{eff,min}$

$$W_y = W_{eff} = 112,57 \text{ cm}^3$$

$$\lambda_{quer,LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{y,k} / \gamma_{M0}}{M_{cr}}} = 0,512$$

$$\text{Knicklinie d } \alpha_{LT} = 0,76$$

$$\frac{1}{\frac{1}{2} \lambda_{quer,LT}^2} = 3,815$$

$$\text{empfohlen max } 0,4 \lambda_{quer,LT,0} = 0,4$$

$$\text{empfohlen min } 0,75 \beta = 0,75$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left( 1 + \frac{\alpha_{LT} \cdot (\lambda_{quer,LT} - \lambda_{quer,LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{quer,LT}^2}{1} \right) = 0,641$$

$$\chi_{LT} = \text{MIN} \left( \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{quer,LT}^2}}, 1,0, \frac{1}{\lambda_{quer,LT}^2} \right) = 0,906$$

#### Imperfektionen:

$$L = L_{cr} = 3750,00 \text{ mm}$$

$$\text{Vorkrümmung } e_{0,d} = L/10 / 200 = 1,88 \text{ cm}$$

#### Biegemoment

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot (e_N + e_{0,d}) = 630,00 \text{ kNcm}$$

#### Interaktionsfaktoren



Software zur Dokumentation und Berechnung

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

verdrehweicher Querschnitt ( $I_w = 0 \text{ cm}^6$ ):

$$N_{cr,T} = \frac{G \cdot I_T}{i_0} = 1859,42 \text{ kN}$$

$$\lambda_{quer,0} = \lambda_{quer,LT} = 0,512$$

Grenzwert von  $\lambda_{quer,0}$

$$\lambda_{q0} = 0,2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \left( \left( 1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right) \cdot \left( 1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}} \right) \right)^{0,25} = 0,184$$

$$\frac{\lambda_{q0}}{\lambda_{quer,0}} = \underline{0,36 < 1}$$



$$a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} = 0,98$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{Ed} \cdot A_{eff}}{N_{Ed} \cdot W_{eff}} = 0,78$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}} = 1,003$$

$$C_{mz} = C_{mz,0} = 1,006$$

$$C_{mLT} = \text{MAX}\left(C_{my}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{(1 - N_{Ed}/N_{cr,z}) \cdot (1 - N_{Ed}/N_{cr,T})}}; 1\right) = 1,169$$

Interaktionsbeiwerte nach Anhang A

$$k_{yy} = C_{my} \cdot C_{mLT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - N_{Ed}/N_{cr,y}} = 1,315$$

$$k_{zy} = C_{my} \cdot C_{mLT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - N_{Ed}/N_{cr,y}} = 1,330$$

#### Nachweise Knickbeanspruchbarkeit:

$$\frac{|N_{Ed}|}{\chi_y \cdot A_{eff} \cdot f_{y,k} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{N_{Ed} \cdot (e_N + e_{0,d})}{\chi_{LT} \cdot W_{eff} \cdot f_{y,k} / \gamma_{M1}} = \underline{\underline{0,68 < 1}}$$

$$\frac{|N_{Ed}|}{\chi_z \cdot A_{eff} \cdot f_{y,k} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{N_{Ed} \cdot (e_N + e_{0,d})}{\chi_{LT} \cdot W_{eff} \cdot f_{y,k} / \gamma_{M1}} = \underline{\underline{0,67 < 1}}$$

#### Beanspruchbarkeit des Querschnitts

##### Nachweis Querschnittsbeanspruchung

$$\frac{|N_{Ed}|}{A_{eff} \cdot f_{y,k} / \gamma_{M0}} + \frac{|M_{Ed}|}{W_{eff} \cdot f_{y,k} / \gamma_{M0}} = \underline{\underline{0,36 < 1}}$$

### Stütze unter Drucknormalkraft

Ermittlung der max. Knicklast (I-Profile), Knicklänge über Beiwert



#### System:

Stützhöhe H =	8000 mm
Belastung:	
$N_d =$	2000 kN
Knicklängenbeiwerte (je nach Lagerung):	
$\beta_y =$	1,00
$\beta_z =$	0,70
Material:	
Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; ) = S 235
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10 = 23,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon =$	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$ = 1,00
E =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10 = 21000 kN/cm <sup>2</sup>
Bezugsschlankheitsgrad	
$\lambda_1 =$	$\pi \cdot \sqrt{E / 23,5 \cdot \varepsilon}$ = 93,91
Sicherheitsbeiwert	
$\gamma_{M1} =$	1,10

#### Profil:

Profilreihe Typ =	GEW("EC3_de/Profile"; ID; ) = HEB
Gewähltes Profil =	GEW("EC3_de/"Typ; ID; ) = HEB 300
Querschnittsfläche A =	TAB("EC3_de/"Typ; A; ID=Profil) = 149,00 cm <sup>2</sup>
Trägerhöhe h =	TAB("EC3_de/"Typ; h; ID=Profil) = 300,00 mm
Breite b =	TAB("EC3_de/"Typ; b; ID=Profil) = 300,00 mm
Stegdickte $t_w =$	TAB("EC3_de/"Typ; $t_w$ ; ID=Profil) = 11,00 mm
Flanschdicke $t_f =$	TAB("EC3_de/"Typ; $t_f$ ; ID=Profil) = 19,00 mm
Radius r =	TAB("EC3_de/"Typ; r; ID=Profil;) = 27,00 mm
gerader Stegteil d =	$h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r$ = 208,00 mm
Trägheitsmoment I =	TAB("EC3_de/"Typ; $I_y$ ; ID=Profil) = 25170,00 cm <sup>4</sup>
Trägheitsradius $i_y =$	TAB("EC3_de/"Typ; $i_y$ ; ID=Profil) = 13,00 cm
Trägheitsradius $i_z =$	TAB("EC3_de/"Typ; $i_z$ ; ID=Profil) = 7,58 cm



### Einstufung des Querschnitts:

Steg:  
 $c = d = 208 \text{ mm}$   
 $QK_{St} = \text{WENN}(c/t_w \leq 33 \cdot \epsilon; 1; \text{WENN}(c/t_w \leq 38 \cdot \epsilon; 2; \text{WENN}(c/t_w \leq 42 \cdot \epsilon; 3; 4))) = 1$

Flansch:  
 $c = (b - t_w - 2 \cdot r) / 2 = 117,50 \text{ mm}$   
 $QK_{Fl} = \text{WENN}(c/t_f \leq 9 \cdot \epsilon; 1; \text{WENN}(c/t_f \leq 10 \cdot \epsilon; 2; \text{WENN}(c/t_f \leq 14 \cdot \epsilon; 3; 4))) = 1$   
 Querschnittsklasse QK =  $\text{MAX}(QK_{St}; QK_{Fl}) = 1$

### Nachweise:

**Tabelle 6.2 Auswahl der Knicklinie eines Querschnitts**

Querschnitt	Begrenzung		Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Knicklinie	
				S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
gewalzte I-Querschnitte	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a b	a0 a0
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b c	a a
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	a a
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d d	c c

Knicknachweis um y-Achse:

$L_{cr,y} = \beta_y \cdot H = 8000 \text{ mm}$   
 $h / b = 1,00$   
 $t_f / 100 = 0,19$

Knicklinie yy =  $\text{GEW}(\text{"EC3\_de/knick"; knl; }) = b$   
 $\alpha = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/knick"; } \alpha; \text{ knl=yy}) = 0,34$   
 $\lambda_{quer,y} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{10 \lambda_1} = 0,655$   
 $\Phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_{quer,y} - 0,2) + \lambda_{quer,y}^2) = 0,792$   
 $\chi_y = \text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{quer,y}^2}}; 1,0\right) = 0,808$   
 $N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M1}}}{\gamma_{M1}} = 2572,01 \text{ kN}$   
 $\frac{N_d}{N_{b,Rd,y}} = \underline{\underline{0,78 < 1}}$



Knicknachweis um z-Achse:

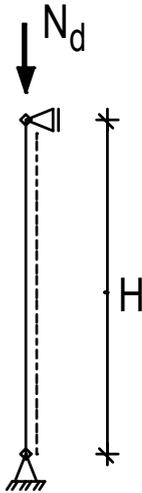
$$\begin{aligned}L_{cr,z} &= \beta_z \cdot H &= & 5600 \text{ mm} \\h / b &= &= & 1,00 \\t_f / 100 &= &= & 0,19\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Knicklinie } zz &= \text{GEW}(\text{"EC3\_de/knick"; knl; }) &= & c \\ \alpha &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/knick"; } \alpha; \text{ knl=zz}) &= & 0,49 \\ \lambda_{\text{quer},z} &= \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} &= & 0,787 \\ \Phi &= \frac{0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_{\text{quer},z} - 0,2) + \lambda_{\text{quer},z}^2)}{1} &= & 0,953 \\ \chi_z &= \text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{\text{quer},z}^2}}; 1,0\right) &= & 0,671 \\ N_{b,Rd,z} &= \chi_z \cdot A \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M1}} &= & 2135,92 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\frac{N_d}{N_{b,Rd,z}} = \underline{\underline{0,94 < 1}}$$

### Stütze unter Drucknormalkraft (gehalten)

Ermittlung der max. Knicklast (I-Profile), seitliche Halterungen in y bzw. z-Richtung möglich



#### System:

Stützhöhe H =		7500 mm
Anzahl seitl. Halterungen $n_y$ =		1
Anzahl seitl. Halterungen $n_z$ =		2
Knicklängen bei n seitlichen Halterungen (gleichmäßig verteilt)...		
$L_{cr,y}$ =	$H/(n_y + 1)$	= 3750 mm
$L_{cr,z}$ =	$H/(n_z + 1)$	= 2500 mm
Material:		
Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	= S 355
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	= 35,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon$ =	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	= 0,81
E =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	= 21000 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon$ =	$\sqrt{\frac{235}{f_{y,k}}}$	= 2,57
Bezugsschlankheitsgrad		
$\lambda_1$ =	$\pi * \sqrt{E/f_{y,k}}$	= 76,41
Sicherheitsbeiwert		
$\gamma_{M1}$ =	1,10	

#### Profil:

Profilreihe Typ =	GEW("EC3_de/Profile"; ID; )	= IPE
Gewähltes Profil =	GEW("EC3_de/Typ; ID; )	= IPE 270
Querschnittsfläche A =	TAB("EC3_de/Typ; A; ID=Profil)	= 45,90 cm <sup>2</sup>
Trägerhöhe h =	TAB("EC3_de/Typ; h; ID=Profil)	= 270,00 mm
Breite b =	TAB("EC3_de/Typ; b; ID=Profil)	= 135,00 mm
Stegdicke $t_w$ =	TAB("EC3_de/Typ; $t_w$ ; ID=Profil)	= 6,60 mm
Flanschdicke $t_f$ =	TAB("EC3_de/Typ; $t_f$ ; ID=Profil)	= 10,20 mm
Radius r =	TAB("EC3_de/Typ; r; ID=Profil;)	= 15,00 mm
gerader Stegteil d =	$h - 2*t_f - 2*r$	= 219,60 mm
Trägheitsradius $i_y$ =	TAB("EC3_de/Typ; $i_y$ ; ID=Profil)	= 11,20 cm
Trägheitsradius $i_z$ =	TAB("EC3_de/Typ; $i_z$ ; ID=Profil)	= 3,02 cm



### Einstufung des Querschnitts:

Steg (Druck):  
 $c = d = 220 \text{ mm}$   
 $QK_{St} = \text{WENN}(c/t_w \leq 33 \cdot \epsilon; 1; \text{WENN}(c/t_w \leq 38 \cdot \epsilon; 2; \text{WENN}(c/t_w \leq 42 \cdot \epsilon; 3; 4))) = 1$

Flansch (Druck):  
 $c = (b - t_w - 2 \cdot r) / 2 = 49,20 \text{ mm}$   
 $QK_{Fl} = \text{WENN}(c/t_f \leq 9 \cdot \epsilon; 1; \text{WENN}(c/t_f \leq 10 \cdot \epsilon; 2; \text{WENN}(c/t_f \leq 14 \cdot \epsilon; 3; 4))) = 1$

Querschnittsklasse QK =  $\text{MAX}(QK_{St}; QK_{Fl}) = 1$

### Nachweise:

**Tabelle 6.2 Auswahl der Knicklinie eines Querschnitts**

Querschnitt	Begrenzung		Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Knicklinie	
				S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
gewalzte I- Querschnitte	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a b	a0 a0
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b c	a a
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	a a
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d d	c c

Knicknachweis um y-Achse:  
 $h / b = 2,00 > 1,2$   
 $t_f / 40 = 0,26 \leq 1$

Knicklinie yy =  $\text{GEW}(\text{"EC3\_de/knick"; knl; }) = a$   
 $\alpha = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/knick"; } \alpha; \text{ knl=yy}) = 0,21$   
 $\lambda_{\text{quer,y}} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{10 \lambda_1} = 0,438$   
 $\Phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_{\text{quer,y}} - 0,2) + \lambda_{\text{quer,y}}^2) = 0,621$   
 $\chi_y = \text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{\text{quer,y}}^2}}; 1,0\right) = 0,942$   
 $N_{b,Rd,y} = \chi_y \cdot A \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M1}} = 1395,40 \text{ kN}$



# Stahlbau nach EN 1993

## Kapitel Stabilitätsnachweise

**DIN**  
EN 1993

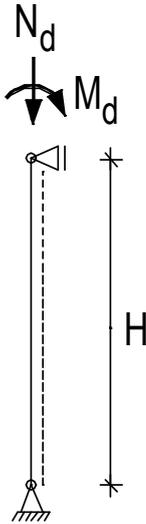
Seite: 250

Knicknachweis um z-Achse:

$$\begin{aligned} h / b &= 2,00 > 1,2 \\ t_f / 40 &= 0,26 \leq 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Knicklinie } zz &= \text{GEW}(\text{"EC3\_de/knick"; knl; }) &= & b \\ \alpha &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/knick"; } \alpha; \text{ knl=zz}) &= & 0,34 \\ \lambda_{\text{quer,z}} &= \frac{L_{\text{cr,z}}}{i_z} * 10^{-4} &= & 1,083 \\ \Phi &= \frac{1}{0,5 * (1 + \alpha * (\lambda_{\text{quer,z}} - 0,2) + \lambda_{\text{quer,z}}^2)} &= & 1,237 \\ \chi_z &= \text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{\text{quer,z}}^2}}; 1,0\right) &= & 0,545 \\ N_{\text{b,Rd,z}} &= \chi_z * A * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M1}} &= & 807,32 \text{ kN} \\ N_{\text{b,Rd}} &= \text{MIN}(N_{\text{b,Rd,y}}; N_{\text{b,Rd,z}}) &= & \underline{\underline{807,32 \text{ kN}}} \end{aligned}$$

### Stütze mit Kopfmoment und Normalkraft



#### Systemmaße:

Stützhöhe  $H = 6000,0 \text{ mm}$

#### Belastung:

$N_{Ed} = 130,0 \text{ kN}$   
 $M_{y,d} = 562,0 \text{ kNm}$

#### Vorwerte:

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID; ) = S 235  
 $f_{y,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{y,k}; \text{ID=Stahl})/10 = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   
 $\varepsilon = \sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}} = 1,00$   
 $E = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } E; \text{ID=Stahl})/10 = 21000,0 \text{ kN/cm}^2$   
 $G = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } G; \text{ID=Stahl})/10 = 8100,0 \text{ kN/cm}^2$   
 Bezugsschlankheitsgrad  
 $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E / 23,5} \cdot \varepsilon = 93,91$   
 Sicherheitsbeiwerte:  
 $\gamma_{M0} = 1,00$   
 $\gamma_{M1} = 1,10$

#### Profil:

Profilreihe Typ = GEW("EC3\_de/Profile"; ID; ) = IPE  
 Gewähltes Profil = GEW("EC3\_de/"Typ; ID; ) = IPE 600  
 Querschnittsfläche  $A = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } A; \text{ID=Profil}) = 156,00 \text{ cm}^2$   
 Trägerhöhe  $h = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } h; \text{ID=Profil}) = 600,00 \text{ mm}$   
 Stegdicke  $t_w = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } t_w; \text{ID=Profil}) = 12,00 \text{ mm}$   
 Flanschbreite  $b = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } b; \text{ID=Profil}) = 220,00 \text{ mm}$   
 Flanschdicke  $t_f = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } t_f; \text{ID=Profil}) = 19,00 \text{ mm}$   
 Radius  $r = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } r; \text{ID=Profil}; ) = 24,00 \text{ mm}$   
 gerader Stegteil  $d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 514,00 \text{ mm}$   
 Trägheitsradius  $i_y = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } i_y; \text{ID=Profil}) = 24,30 \text{ cm}$   
 Trägheitsradius  $i_z = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } i_z; \text{ID=Profil}) = 4,66 \text{ cm}$   
 Trägheitsmoment  $I_z = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } I_z; \text{ID=Profil}) = 3390,00 \text{ cm}^4$   
 Trägheitsmoment  $I_T = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } I_T; \text{ID=Profil}) = 165,00 \text{ cm}^4$



$I_{\omega} =$	$TAB("EC3\_de/"Typ; I_{\omega}; ID=Profil) * 10^3$	$=$	$2846,00 * 10^3 \text{ cm}^6$
$W_{ely} =$	$TAB("EC3\_de/"Typ; W_y; ID=Profil)$	$=$	$3070,00 \text{ cm}^3$
$W_{ply} =$	$TAB("EC3\_de/"Typ; W_{ply}; ID=Profil)$	$=$	$3520,00 \text{ cm}^3$
$W_{elz} =$	$TAB("EC3\_de/"Typ; W_z; ID=Profil)$	$=$	$308,00 \text{ cm}^3$
$W_{plz} =$	$TAB("EC3\_de/"Typ; W_{plz}; ID=Profil)$	$=$	$485,65 \text{ cm}^3$

### Einstufung des Querschnittes:



$$\text{Querschnittsklasse QK} = \text{MAX}(QK_{St}; QK_{FI}) = 1$$

### Nachweis des Biegemomentes (QK 1 und 2):

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{ply} * f_{y,k} * 10^{-2}}{\gamma_{M0}} = 827,20 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 827 \text{ kNm}$$

$$M_{y,d} / M_{c,Rd} = 0,68 \leq 1$$

### Nachweis der Normalkraft:

$$N_{pl,Rd} = A * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = 3666,00 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = 3666 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{c,Rd} = \underline{0,04 \leq 1}$$

Einfluss der Normalkraft auf die plastische Momentenbeanspruchbarkeit (y-y):

$$\text{bed1} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0,04 \leq 0,25$$

$$h_w = h - 2 * t_f = 562 \text{ mm}$$

$$\text{bed2} = \frac{N_{Ed} * \gamma_{M0}}{0,5 * h_w * t_w * f_{y,k} * 10^{-2}} = 0,16 \leq 1$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0,035$$

$$a = \text{MIN}\left(\frac{A - 2 * b * t_f * 10^{-2}}{A}; 0,5\right) = 0,464$$

Evtl. abgeminderter Bemessungswert der Momentenbeanspruchbarkeit infolge Normalkraft:

$$M_{N,y,Rd} = \text{MIN}\left(M_{pl,y,Rd} * \frac{1-n}{1-0,5*a}; M_{pl,y,Rd}\right) = 827,20 \text{ kNm}$$

$$M_{N,y,Rd} = \text{WENN}(\text{bedN} = 1,0; M_{pl,y,Rd}; M_{N,y,Rd}) = 827,2 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,d}}{M_{N,y,Rd}} = \underline{0,68 \leq 1}$$



### Knickbeanspruchbarkeit nach EC3-1-1, Anhang B:

#### Abminderungsbeiwerte für Biegeknicken $\chi_y \chi_z$

Knicken um Achse y-y

$$\lambda_y = \frac{H \cdot 10^{-1}}{i_y} = 24,69$$

$$\lambda_{\text{quer,y}} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0,263$$

nach Tabelle 6.2:

$$h / b = 2,73$$

$$t_f / 100 = 0,19$$

$$\text{Knicklinie yy} = \text{GEW}(\text{"EC3\_de/knick"; knl; }) = a$$

$$\alpha = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/knick"; } \alpha; \text{ knl=yy}) = 0,21$$

$$\Phi = \frac{0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_{\text{quer,y}} - 0,2) + \lambda_{\text{quer,y}}^2)}{1} = 0,541$$

$$\chi_y = \frac{\text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{\text{quer,y}}^2}}, 1,0\right)}{1} = 0,986$$

Knicken um Achse z-z

$$\lambda_z = \frac{H}{i_z \cdot 10} = 128,76$$

$$\lambda_{\text{quer,z}} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1,371$$

$$\text{Knicklinie zz} = \text{GEW}(\text{"EC3\_de/knick"; knl; }) = b$$

$$\alpha = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/knick"; } \alpha; \text{ knl=zz}) = 0,34$$

$$\Phi = \frac{0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_{\text{quer,z}} - 0,2) + \lambda_{\text{quer,z}}^2)}{1} = 1,639$$

$$\chi_z = \frac{\text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{\text{quer,z}}^2}}, 1,0\right)}{1} = 0,394$$

Abminderungsfaktor der maßgebenden Biegeknickrichtung

$$\chi_{\text{min}} = \text{MIN}(\chi_y, \chi_z) = 0,394$$

#### Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken $\chi_{LT}$

a) ideale Biegedrillknickmoment (Verzweigungsmoment)  $M_{cr}$ :



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

ergibt sich die vereinfachte Gleichung für  $M_{cr}$ , da  $z_g = 0$  und  $z_j = 0$  zu

$$M_{cr} = \left( \sqrt{\frac{I_{\omega}}{I_z} + \frac{(H/10)^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} \right) \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(H/10)^2} \cdot C_1 = 134873 \text{ kNcm}$$

**b) Schlankheitsgrad Biegedrillknicken**

$$W_y = 3520,00 \text{ cm}^3$$

$$\lambda_{\text{quer,LT}} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{y,k}}{M_{\text{cr}}}} = 0,783$$



$$\chi_{\text{LT}} = \text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi_{\text{LT}} + \sqrt{\Phi_{\text{LT}}^2 - \beta \cdot \lambda_{\text{quer,LT}}^2}}; 1,0; \frac{1}{\lambda_{\text{quer,LT}}^2}\right) = 0,774$$

Modifikation des Abminderungsfaktors  $\chi_{\text{LT}}$  nach EC3-1-1, 6.3.2.3 (2)

(Momentenverlauf (Tab. 6.6)  $\psi = 0,00$ )

$$k_c = 1 / (1,33 - 0,33 \cdot \psi) = 0,752$$

$$f = \text{MIN}(1 - 0,5 \cdot (1 - k_c) \cdot (1 - 2,0 \cdot (\lambda_{\text{quer,LT}} - 0,8)^2); 1,0) = 0,876$$

$$\chi_{\text{LT,mod}} = \text{MIN}(\chi_{\text{LT}} / f; \frac{1}{\lambda_{\text{quer,LT}}^2}; 1,0) = 0,884 \leq 1$$

**c) Interaktionsfaktoren**

$$C_{\text{my}} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,60$$

$$C_{\text{mLT}} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,60$$

$$N_{\text{Rk}} = A \cdot f_{y,k} = 3666,00 \text{ kN}$$

$$M_{y,\text{Rk}} = W_{\text{ply}} \cdot f_{y,k} = 82720,00 \text{ kNm}$$

für plastische Querschnittswerte QK1 und QK2:

$$k_{yy} = C_{\text{my}} \cdot \left(1 + (\lambda_{\text{quer,y}} - 0,2) \cdot \frac{N_{\text{Ed}}}{\chi_y \cdot N_{\text{Rk}} / \gamma_{\text{M1}}}\right) = 0,601$$

$$k_{yy} = \text{MIN}\left(k_{yy}; C_{\text{my}} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{\text{Ed}}}{\chi_y \cdot N_{\text{Rk}} / \gamma_{\text{M1}}}\right)\right) = 0,601$$

$$k_{zy1} = 1 - \frac{0,1 \cdot \lambda_{\text{quer,z}} \cdot N_{\text{Ed}}}{C_{\text{mLT}} - 0,25 \cdot \chi_z \cdot N_{\text{Rk}} / \gamma_{\text{M1}}} = 0,961$$

$$k_{zy} = \text{MAX}\left(k_{zy1}; 1 - \frac{0,1 \cdot N_{\text{Ed}}}{C_{\text{mLT}} - 0,25 \cdot \chi_z \cdot N_{\text{Rk}} / \gamma_{\text{M1}}}\right) = 0,972$$

$$k_{zy} = \text{WENN}(\lambda_{\text{quer,z}} < 0,4; \text{MIN}(0,6 + \lambda_{\text{quer,z}} \cdot k_{zy1}; k_{zy}); k_{zy}) = 0,972$$

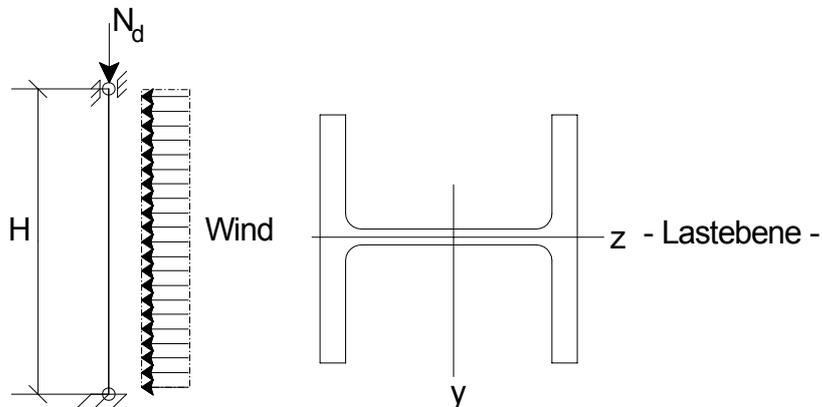
**Nachweise Knickbeanspruchbarkeit:**

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{\chi_y \cdot N_{\text{Rk}} / \gamma_{\text{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,d} \cdot 100}{\chi_{\text{LT}} \cdot M_{y,\text{Rk}} / \gamma_{\text{M1}}} = \underline{\underline{0,62 \leq 1}}$$

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{\chi_z \cdot N_{\text{Rk}} / \gamma_{\text{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,d} \cdot 100}{\chi_{\text{LT}} \cdot M_{y,\text{Rk}} / \gamma_{\text{M1}}} = \underline{\underline{1,04 \leq 1}}$$

### Aussenstütze mit einachsiger Biegung und Druck

Windbelastung um die starke Achse (y-y), d.h.  $M_{z,d} = 0$



#### Systemmaße:

Stützhöhe  $H = 4000,0 \text{ mm}$

#### Belastung:

Normalkraft  $N_{Ed} = 286,0 \text{ kN}$   
 Wind  $w_d = 6,48 \text{ kN/m}$

#### Schnittgrößen:

$N_{Ed} = N_{Ed} = 286,0 \text{ kN}$   
 $M_{y,d} = w_d \cdot H^2 / 8 \cdot 10^{-6} = 13,0 \text{ kNm}$   
 $V_{z,d} = w_d \cdot H / 2 \cdot 10^{-3} = 13,0 \text{ kN}$

#### Vorwerte:

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID; ) = S 235  
 $f_{y,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{y,k}; \text{ID=Stahl})/10 = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   
 $\varepsilon = \sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}} = 1,00$   
 $E = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } E; \text{ID=Stahl})/10 = 21000,0 \text{ kN/cm}^2$   
 $G = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } G; \text{ID=Stahl})/10 = 8100,0 \text{ kN/cm}^2$   
 Bezugsschlankheitsgrad  
 $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E / 23,5} \cdot \varepsilon = 93,91$

Sicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} = 1,00$   
 $\gamma_{M1} = 1,10$

#### Profil:

Profilreihe Typ = GEW("EC3\_de/Profile"; ID; ) = HEB  
 Gewähltes Profil = GEW("EC3\_de/"Typ; ID; ) = HEB 140  
 Querschnittsfläche  $A = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } A; \text{ID=Profil}) = 43,00 \text{ cm}^2$   
 Trägerhöhe  $h = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } h; \text{ID=Profil}) = 140,00 \text{ mm}$   
 Stegdicke  $t_w = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } t_w; \text{ID=Profil}) = 7,00 \text{ mm}$   
 Flanschbreite  $b = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } b; \text{ID=Profil}) = 140,00 \text{ mm}$   
 Flanschdicke  $t_f = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } t_f; \text{ID=Profil}) = 12,00 \text{ mm}$   
 Radius  $r = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } r; \text{ID=Profil;}) = 12,00 \text{ mm}$   
 gerader Stegteil  $d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 92,00 \text{ mm}$   
 Trägheitsradius  $i_y = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } i_y; \text{ID=Profil}) = 5,93 \text{ cm}$   
 Trägheitsradius  $i_z = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } i_z; \text{ID=Profil}) = 3,58 \text{ cm}$   
 Trägheitsmoment  $I_z = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } I_z; \text{ID=Profil}) = 550,00 \text{ cm}^4$   
 Trägheitsmoment  $I_T = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ; } I_T; \text{ID=Profil}) = 20,10 \text{ cm}^4$



$I_{\omega} =$	$TAB("EC3\_de/"Typ; I_{\omega}; ID=Profil) * 10^3$	$=$	$22,48 * 10^3 \text{ cm}^6$
$W_{ely} =$	$TAB("EC3\_de/"Typ; W_y; ID=Profil)$	$=$	$216,00 \text{ cm}^3$
$W_{ply} =$	$TAB("EC3\_de/"Typ; W_{ply}; ID=Profil)$	$=$	$246,00 \text{ cm}^3$
$W_{elz} =$	$TAB("EC3\_de/"Typ; W_z; ID=Profil)$	$=$	$78,50 \text{ cm}^3$
$W_{plz} =$	$TAB("EC3\_de/"Typ; W_{plz}; ID=Profil)$	$=$	$119,78 \text{ cm}^3$

### Einstufung des Querschnittes:



$$\text{Querschnittsklasse QK} = \text{MAX}(QK_{St}; QK_{FI}) = 1$$

### Nachweis des Biegemomentes (QK 1 und 2):

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{ply} * f_{y,k} * 10^{-2}}{\gamma_{M0}} = 57,8 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 58 \text{ kNm}$$

$$M_{y,d} / M_{c,Rd} = \underline{0,22 \leq 1}$$

### Nachweis der Normalkraft:

$$N_{pl,Rd} = A * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = 1010,5 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = 1011 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{c,Rd} = \underline{0,28 \leq 1}$$

Einfluss der Normalkraft auf die plastische Momentenbeanspruchbarkeit (y-y):

$$\text{bed1} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0,28 \leq 0,25$$

$$h_w = h - 2 * t_f = 116 \text{ mm}$$

$$\text{bed2} = \frac{N_{Ed} * \gamma_{M0}}{0,5 * h_w * t_w * f_{y,k} * 10^{-2}} = 3,00 \leq 1$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0,283$$

$$a = \text{MIN}\left(\frac{A - 2 * b * t_f * 10^{-2}}{A}; 0,5\right) = 0,219$$

Evtl. abgeminderter Bemessungswert der Momentenbeanspruchbarkeit infolge Normalkraft:

$$M_{N,y,Rd} = \text{MIN}\left(M_{pl,y,Rd} * \frac{1-n}{1-0,5*a}; M_{pl,y,Rd}\right) = 46,54 \text{ kNm}$$

$$M_{N,y,Rd} = \text{WENN}(\text{bedN} = 1,0; M_{pl,y,Rd}; M_{N,y,Rd}) = 46,5 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,d}}{M_{N,y,Rd}} = \underline{0,28 \leq 1}$$



### Knickbeanspruchbarkeit nach EC3-1-1, Anhang B:

#### Nachweise:

#### **Abminderungsbeiwerte für Biegeknicken $\chi_y$ $\chi_z$**

Knicken um Achse y-y

$$\lambda_y = \frac{H \cdot 10^{-1}}{i_y} = 67,45$$

$$\lambda_{\text{quer,y}} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0,718$$

#### **Wahl der Knicklinie nach EC3-1-1, Tabelle 6.2 (Walzprofil):**

$$h / b = 1,00$$

$$t_f / 100 = 0,12$$

$$\text{Knicklinie yy} = \text{GEW}(\text{"EC3\_de/knick"; knl; }) = b$$

$$\alpha = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/knick"; } \alpha; \text{ knl=yy}) = 0,34$$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_{\text{quer,y}} - 0,2) + \lambda_{\text{quer,y}}^2) = 0,846$$

$$\chi_y = \text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{\text{quer,y}}^2}}; 1,0\right) = \mathbf{0,773}$$

Knicken um Achse z-z

$$\lambda_z = \frac{H}{i_z \cdot 10} = 111,73$$

$$\lambda_{\text{quer,z}} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1,190$$

$$\text{Knicklinie zz} = \text{GEW}(\text{"EC3\_de/knick"; knl; }) = c$$

$$\alpha = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/knick"; } \alpha; \text{ knl=zz}) = 0,49$$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_{\text{quer,z}} - 0,2) + \lambda_{\text{quer,z}}^2) = 1,451$$

$$\chi_z = \text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{\text{quer,z}}^2}}; 1,0\right) = 0,438$$

Abminderungsfaktor der maßgebenden Biegeknickrichtung

$$\chi_{\text{min}} = \text{MIN}(\chi_y; \chi_z) = \mathbf{0,438}$$

### **Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken $\chi_{LT}$**

#### **a) ideale Biegedrillknickmoment (Verzweigungsmoment) $M_{cr}$ :**

Belastung und Lagerbedingung	Momentenverlauf	$C_1$	$C_2$	$C_3$
		1,13	0,45	0,52

Tabelle:  $C_x$  Faktoren aus äusserer last ( $k_z=1$ )

Beiwert abhängig von Belastung und Lagerungsbedingungen

$$C_1 = 1,132$$

$$C_2 = 0,459$$

Koordinate des Lasteinleitungspunktes:

Abstand des Lastangriffspunktes zum Schubmittelpunkt:

$$z_g = \frac{h}{2} \cdot 10^{-1} = 7,00 \text{ cm}$$

$$M_{cr} = \left( \sqrt{\frac{I_{\omega}}{I_z} + \frac{(H/10)^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right) \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(H/10)^2} \cdot C_1 = 10897 \text{ kNcm}$$



### b) Schlankheitsgrad Biegedrillknicken



$$\Phi_{LT} = \frac{0,5 * (1 + \alpha_{LT} * (\lambda_{quer,LT} - \lambda_{quer,LT,0}) + \beta * \lambda_{quer,LT}^2)}{1} = 0,755$$

$$\chi_{LT} = \frac{\text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta * \lambda_{quer,LT}^2}}; 1,0; \frac{1}{\lambda_{quer,LT}^2}\right)}{\lambda_{quer,LT}} = 0,854$$

Modifikation des Abminderungsfaktors  $\chi_{LT}$  nach EC3-1-1, 6.3.2.3 (2)

$$k_c = \sqrt{(1/C_1)} = 0,940$$

$$f = \frac{\text{MIN}(1 - 0,5 * (1 - k_c) * (1 - 2,0 * (\lambda_{quer,LT} - 0,8)^2); 1,0)}{1} = 0,970$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\text{MIN}(\chi_{LT} / f; \frac{1}{\lambda_{quer,LT}}; 1,0)}{1} = 0,880 \leq 1$$

### c) Interaktionsfaktoren {EC3-1-1: B} Tabelle B.3

$$C_{my} = 0,95$$

$$C_{mLT} = 0,95$$

$$N_{Rk} = A * f_{y,k} = 1010,50 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{ply} * f_{y,k} = 5781,00 \text{ kNm}$$

für plastische Querschnittswerte QK1 und QK2:

$$k_{yy} = C_{my} * \left(1 + (\lambda_{quer,y} - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1}}\right) = 1,148$$

$$k_{yy} = \text{MIN}\left(k_{yy}; C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1}}\right)\right) = 1,148$$

$$k_{zy1} = 1 - \frac{0,1 * \lambda_{quer,z} * N_{Ed}}{C_{mLT} - 0,25 * \chi_z * N_{Rk} / \gamma_{M1}} = 0,879$$

$$k_{zy} = \text{MAX}\left(k_{zy1}; 1 - \frac{0,1 * N_{Ed}}{C_{mLT} - 0,25 * \chi_z * N_{Rk} / \gamma_{M1}}\right) = 0,898$$

$$k_{zy} = \text{WENN}(\lambda_{quer,z} < 0,4; \text{MIN}(0,6 + \lambda_{quer,z}; k_{zy1}); k_{zy}) = 0,898$$

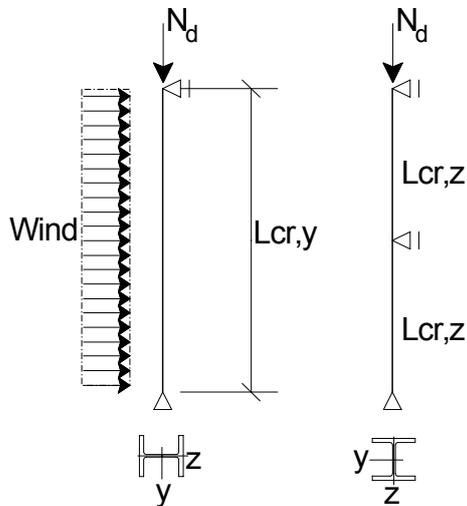
### Nachweise Knickbeanspruchbarkeit:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} * \frac{M_{y,d} * 100}{\chi_{LT} * M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} = \underline{0,74 \leq 1}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} * \frac{M_{y,d} * 100}{\chi_{LT} * M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} = \underline{0,97 \leq 1}$$

### Aussenstütze mit einachsiger Biegung und Druck (gehalten)

Windbelastung um die starke Achse (y-y), um die z-Achse in Feldmitte seitlich gehalten ( $M_{z,d}=0$ )



#### Systemmaße:

Knicklänge $L_{cr,y}$ =	8000 mm
Knicklänge $L_{cr,z}$ =	4000 mm

#### Belastung:

Normalkraft $N_{Ed}$ =	300,0 kN
Wind $w_d$ =	4,00 kN/m

#### Schnittgrößen:

$N_{Ed}$ =	$N_{Ed}$	=	300,0 kN
$M_{y,d}$ =	$w_d * L_{cr,y}^2 / 8 * 10^{-6}$	=	32,0 kNm

#### Vorwerte:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{y,k}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon$ =	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	=	1,00
E =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	=	21000,0 kN/cm <sup>2</sup>
G =	TAB("EC3_de/mat"; G; ID=Stahl)/10	=	8100,0 kN/cm <sup>2</sup>
Bezugsschlankheitsgrad			
$\lambda_1$ =	$\pi * \sqrt{E / 23,5} * \varepsilon$	=	93,91
Sicherheitsbeiwerte:			
$\gamma_{M0}$ =	1,00		
$\gamma_{M1}$ =	1,10		

#### Profil:

Profilreihe Typ =	GEW("EC3_de/Profile"; ID; )	=	HEA
Gewähltes Profil =	GEW("EC3_de/"Typ; ID; )	=	HEA 200
Querschnittsfläche A =	TAB("EC3_de/"Typ; A; ID=Profil)	=	53,80 cm <sup>2</sup>
Trägerhöhe h =	TAB("EC3_de/"Typ; h; ID=Profil)	=	190,00 mm
Stegdickte $t_w$ =	TAB("EC3_de/"Typ; $t_w$ ; ID=Profil)	=	6,50 mm
Flanschbreite b =	TAB("EC3_de/"Typ; b; ID=Profil)	=	200,00 mm
Flanschdicke $t_f$ =	TAB("EC3_de/"Typ; $t_f$ ; ID=Profil)	=	10,00 mm
Radius r =	TAB("EC3_de/"Typ; r; ID=Profil;)	=	18,00 mm
gerader Stegteil d =	$h - 2 * t_f - 2 * r$	=	134,00 mm
Trägheitsradius $i_y$ =	TAB("EC3_de/"Typ; $i_y$ ; ID=Profil)	=	8,28 cm
Trägheitsradius $i_z$ =	TAB("EC3_de/"Typ; $i_z$ ; ID=Profil)	=	4,98 cm



Trägheitsmoment $I_z =$	TAB("EC3_de/"Typ; Iz; ID=Profil)	=	1340,00 cm <sup>4</sup>
Trägheitsmoment $I_T =$	TAB("EC3_de/"Typ; IT; ID=Profil)	=	21,00 cm <sup>4</sup>
$I_\omega =$	TAB("EC3_de/"Typ; Iomega; ID=Profil)*10 <sup>3</sup>	=	108,00*10 <sup>3</sup> cm <sup>6</sup>
$W_{ely} =$	TAB("EC3_de/"Typ; Wy; ID=Profil)	=	389,00 cm <sup>3</sup>
$W_{ply} =$	TAB("EC3_de/"Typ; Wply; ID=Profil)	=	430,00 cm <sup>3</sup>
$W_{elz} =$	TAB("EC3_de/"Typ; Wz; ID=Profil)	=	134,00 cm <sup>3</sup>
$W_{plz} =$	TAB("EC3_de/"Typ; Wplz; ID=Profil)	=	203,82 cm <sup>3</sup>

### Einstufung des Querschnittes:



### Nachweis des Biegemomentes (QK 1 und 2):

$$M_{pl,y,Rd} = W_{ply} \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \cdot 10^{-2} = 101,1 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 101 \text{ kNm}$$

$$M_{y,d} / M_{c,Rd} = \underline{\underline{0,32 \leq 1}}$$

### Nachweis der Normalkraft:

$$N_{pl,Rd} = A \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = 1264,3 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = 1264 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{c,Rd} = \underline{\underline{0,24 \leq 1}}$$

Einfluss der Normalkraft auf die plastische Momentenbeanspruchbarkeit (y-y):

$$\text{bed1} = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 0,24 \leq 0,25$$

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 170 \text{ mm}$$

$$\text{bed2} = \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_{y,k} \cdot 10^{-2}} = 2,31 \leq 1$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0,237$$

$$a = \text{MIN}\left(\frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f \cdot 10^{-2}}{A}; 0,5\right) = 0,257$$

Evtl. abgeminderter Bemessungswert der Momentenbeanspruchbarkeit infolge Normalkraft:

$$M_{N,y,Rd} = \text{MIN}\left(M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a}; M_{pl,y,Rd}\right) = 88,51 \text{ kNm}$$

$$M_{N,y,Rd} = \text{WENN}(\text{bedN} = 1,0; M_{pl,y,Rd}; M_{N,y,Rd}) = 88,5 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,d}}{M_{N,y,Rd}} = \underline{\underline{0,36 \leq 1}}$$



### Knickbeanspruchbarkeit nach EC3-1-1, Anhang B:

#### Nachweise:

#### **Abminderungsbeiwerte für Biegeknicken $\chi_y \chi_z$**

Knicken um Achse y-y

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y} \cdot 10^{-1}}{i_y} = 96,62$$

$$\lambda_{quer,y} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 1,029$$

#### Wahl der Knicklinie nach EC3-1-1, Tabelle 6.2 (Walzprofil):

$$h / b = 0,95$$

$$t_f / 100 = 0,10$$

$$\text{Knicklinie } yy = \text{GEW}(\text{"EC3\_de/knick"; knl; }) = b$$

$$\alpha = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/knick"; } \alpha; \text{ knl=yy}) = 0,34$$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_{quer,y} - 0,2) + \lambda_{quer,y}^2) = 1,170$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{quer,y}^2}}; 1,0) = \mathbf{0,579}$$

Knicken um Achse z-z

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z \cdot 10} = 80,32$$

$$\lambda_{quer,z} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 0,855$$

$$\text{Knicklinie } zz = \text{GEW}(\text{"EC3\_de/knick"; knl; }) = c$$

$$\alpha = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/knick"; } \alpha; \text{ knl=zz}) = 0,49$$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_{quer,z} - 0,2) + \lambda_{quer,z}^2) = 1,026$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{quer,z}^2}}; 1,0) = 0,628$$

Abminderungsfaktor der maßgebenden Biegeknickrichtung

$$\chi_{min} = \text{MIN}(\chi_y; \chi_z) = \mathbf{0,579}$$

#### **Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken $\chi_{LT}$**

#### **a) ideale Biegedrillknickmoment (Verzweigungsmoment) $M_{cr}$ :**

für doppelsymmetrische I-Profile gilt

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} \cdot 10^2 = 1736 \text{ kN}$$

$$c_2 = \frac{I_\omega + 0,039 \cdot (10^{-1} \cdot L_{cr,z})^2 \cdot I_T}{I_z} = 178,4 \text{ cm}^2$$

$$\text{Momentenbeiwert } \xi = 1,35$$

$$z_p = -h / 2 \cdot 10^{-1} = -9,50 \text{ cm}$$

$$M_{cr} = \xi \cdot N_{cr,z} \cdot (\sqrt{c_2 + 0,25 \cdot z_p^2} + 0,5 \cdot z_p) = 22091 \text{ kNm}$$



### b) Schlankheitsgrad Biegedrillknicken



$$\Phi_{LT} = \frac{0,5 * (1 + \alpha_{LT} * (\lambda_{quer,LT} - \lambda_{quer,LT,0}) + \beta * \lambda_{quer,LT}^2)}{1} = 0,718$$

$$\chi_{LT} = \frac{\text{MIN}(\frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta * \lambda_{quer,LT}^2}}; 1,0; \frac{1}{\lambda_{quer,LT}^2})}{\lambda_{quer,LT}^2} = 0,882$$

### c) Interaktionsfaktoren {EC3-1-1: B} Tabelle B.3

$$C_{my} = 0,95$$

$$C_{mLT} = 0,80$$

$$N_{Rk} = A * f_{y,k} = 1264,30 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{ply} * f_{y,k} = 10105,00 \text{ kNm}$$

für plastische Querschnittswerte QK1 und QK2:

$$k_{yy} = C_{my} * \left( 1 + (\lambda_{quer,y} - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 1,305$$

$$k_{yy} = \text{MIN}(k_{yy}; C_{my} * \left( 1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)) = 1,293$$

$$k_{zy1} = 1 - \frac{0,1 * \lambda_{quer,z} * N_{Ed}}{C_{mLT} - 0,25 * \chi_z * N_{Rk} / \gamma_{M1}} = 0,935$$

$$k_{zy} = \text{MAX}(k_{zy1}; 1 - \frac{0,1 * N_{Ed}}{C_{mLT} - 0,25 * \chi_z * N_{Rk} / \gamma_{M1}}) = 0,935$$

$$k_{zy} = \text{WENN}(\lambda_{quer,z} < 0,4; \text{MIN}(0,6 + \lambda_{quer,z} * k_{zy1}; k_{zy}); k_{zy}) = 0,935$$

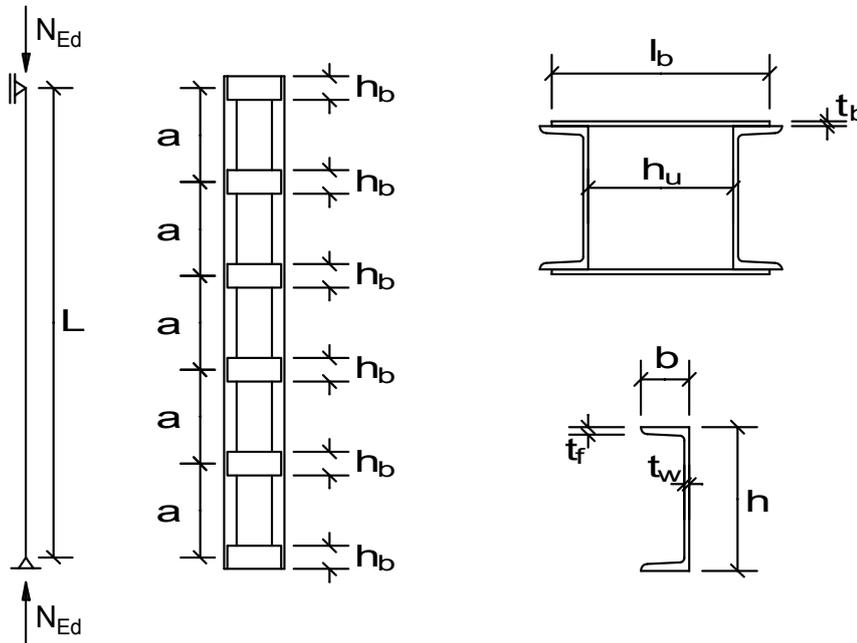
### Nachweise Knickbeanspruchbarkeit:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} * \frac{M_{y,d} * 100}{\chi_{LT} * M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} = \underline{0,96 \leq 1}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} * \frac{M_{y,d} * 100}{\chi_{LT} * M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} = \underline{0,78 \leq 1}$$

### Stütze als mehrteiliger Druckstab / Rahmenstab

Hochbaustütze, ausgeführt als mehrteiliger Druckstab (Rahmenstab) mit zwei gleichen Gurtstäben, oben und unten gelenkig gehalten. Anschluss der Bindebleche mit jeweils an drei Seiten geführten Schweißnähten.



#### Querschnitte / Geometrie:

Systemlänge $L =$	5000,00 mm	
Gurte:		
U-Profil Typ =	GEW("EC3_de/U"; ID;)	= U 300
Abstand der U-Profile		
U-Abstand $h_u =$	250,00 mm	
Bindebleche:		
Bindeblechhöhe $h_b =$	200,00 mm	
Länge $l_b =$	410,00 mm	
Dicke $t_b =$	14,00 mm	
Bindeblechabstand $a =$	1000,00 mm	
Anzahl parallele Ebenen mit Bindeblechen		
parallele Ebenen $n =$	2	
Schweißnähte Bindebleche:		
3-seitige Nähte $a_w =$	3,00 mm	

#### Einwirkungen:

Normalkraft (Druck positiv)	
Druckkraft $N_{Ed} =$	1750,0 kN

#### Querschnittswerte:

Knicklängen entsprechen der Systemlänge		
Knicklänge $L_{cr,y} =$	L	= 5000,00 mm
Knicklänge $L_{cr,z} =$	L	= 5000,00 mm
Gurte:		
Höhe $h =$	TAB("EC3_de/U"; h; ID=Typ)	= 300,00 mm
Breite $b =$	TAB("EC3_de/U"; b; ID=Typ)	= 100,00 mm
Flanschdicke $t_f =$	TAB("EC3_de/U"; t_f; ID=Typ)	= 16,00 mm
Stegdicke $t_w =$	TAB("EC3_de/U"; t_w; ID=Typ)	= 10,00 mm
Steghöhe $d =$	TAB("EC3_de/U"; d; ID=Typ)	= 232,00 mm



Radius r =	TAB("EC3_de/U"; r; ID=Typ)	=	8,00 mm
Fläche A =	TAB("EC3_de/U"; A; ID=Typ)	=	58,80 cm <sup>2</sup>
$I_y =$	TAB("EC3_de/U"; $I_y$ ; ID=Typ)	=	8030,00 cm <sup>4</sup>
$I_z =$	TAB("EC3_de/U"; $I_z$ ; ID=Typ)	=	495,00 cm <sup>4</sup>
$W_z =$	TAB("EC3_de/U"; $W_z$ ; ID=Typ)	=	67,80 cm <sup>3</sup>
$i_y =$	TAB("EC3_de/U"; $i_y$ ; ID=Typ)	=	11,70 cm
$i_z =$	TAB("EC3_de/U"; $i_z$ ; ID=Typ)	=	2,90 cm
Schwerpunktlage $e_z =$	TAB("EC3_de/U"; $e_z$ ; ID=Typ)	=	2,70 cm
U-Schwerpunktabstand $h_0 = h_u + 2 * e_z * 10$		=	304,00 mm

Abstand der Flächenhalbierenden zur Außenkante des Steges

$$y_{\text{semiA1}} = \frac{A * 100 / 2}{h} = 9,80 \text{ mm}$$

Abstand der Resultierenden der gleichsinnig beanspruchten Querschnittsteile (Druckkraft, Zugkraft) von der Schwerlinie (hier: Flächenhalbierende im Steg)

$$e_1 = \frac{h * y_{\text{semiA1}} * \left( e_z * 10 - \frac{y_{\text{semiA1}}}{2} \right)}{A * 100 / 2} = 22,10 \text{ mm}$$

plastisches Widerstandsmoment

$$W_{z,pl} = \frac{A * (2 * |e_1|)}{2 * 10} = 129,95 \text{ cm}^3$$

Bindebleche:

$$A_b = h_b * t_b / 100 = 28,00 \text{ cm}^2$$
$$I_{y,b} = \frac{t_b}{12} * h_b^3 * 10^{-4} = 933,33 \text{ cm}^4$$

#### Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} =$	1,0
$\gamma_{M1} =$	1,1
$\gamma_{M2} =$	1,25

#### Material:

Stahl:			
Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{y,k}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,5 kN/cm <sup>2</sup>
$f_{u,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{u,k}$ ; ID=Stahl)/10	=	36,0 kN/cm <sup>2</sup>
$\epsilon =$	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	=	1,00
E =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	=	21000 kN/cm <sup>2</sup>
$\beta_w =$	TAB("EC3_de/mat"; $\beta_w$ ; ID=Stahl)	=	0,80
$f_{w,Rd} =$	$\frac{f_{u,k}}{\beta_w * \gamma_{M2}}$	=	36,00 kN/cm <sup>2</sup>



### Einstufung des Querschnitts in Querschnittsklasse:



### Nachweis um die Stoffachse y-y:

Imperfektionsbeiwert für die maßgebende Knicklinie:

$$\text{Knicklinie } c \alpha = 0,49$$

$$\lambda_1 = \frac{\pi \cdot \sqrt{E/23,5} \cdot \varepsilon}{L_{cr,y}} = 93,91$$

$$\lambda_{quer} = \frac{L_{cr,y} \cdot \sqrt{A_{eff}/A}}{i_y \cdot 10} = 0,455$$

$$\Phi = \frac{0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_{quer} - 0,2) + \lambda_{quer}^2)}{1} = 0,666$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{quer}^2}} = 0,868$$

Grenzkraft gegen Biegeknicken von druckbeanspruchten Bauteilen

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot 2 \cdot A \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M1}}}{\gamma_{M1}} = 2180,73 \text{ kN}$$

### **Nachweis**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \underline{0,80 < 1}$$

### Nachweis um die stofffreie Achse z-z:

Ermittlung des Wirkungsgrads  $\mu$  in Abhängigkeit von  $\lambda$ :

$$I_1 = 0,5 \cdot (h_0/10)^2 \cdot A + 2 \cdot I_z = 28160,30 \text{ cm}^4$$

$$i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2 \cdot A}} = 15,47 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,z}}{i_0 \cdot 10} = 32,321$$

$$\mu = \text{WENN}(\lambda \leq 75; 1; \text{WENN}(\lambda \geq 150; 0; 2 - \frac{\lambda}{75})) = 1,00$$

$$I_{z,eff} = 0,5 \cdot (h_0/10)^2 \cdot A + 2 \cdot \mu \cdot I_z = 28160,30 \text{ cm}^4$$

Schubsteifigkeit

$$S_v = \text{MIN}\left(\frac{24 \cdot E \cdot I_z}{(a/10)^2 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot I_z \cdot h_0}{n \cdot I_{y,b} \cdot a}\right)}; \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(a/10)^2}\right) = 20518,87 \text{ kN}$$



Ermittlung der Gurtstabkraft  $N_{ch,Ed}$  in Stabmitte:

$$e_0 = \frac{L_{cr,z}}{500} = 10,00 \text{ mm}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_{z,eff}}{(L_{cr,z} / 10)^2} = 23346,17 \text{ kN}$$

Moment in der Mitte des mehrteiligen Bauteils nach Theorie I. Ordnung  $M_{z,Ed,1} = 0 \text{ kNcm}$



#### Nachweise für die Einzelstäbe:

##### **Gurtstäbe in Stabmitte:**

$$L_{cr,z} = a = 1000,00 \text{ mm}$$

$$\text{Knicklinie c } \alpha = 0,49$$

$$\lambda_1 = \frac{\pi * \sqrt{E / 23,5 * \varepsilon}}{1} = 93,91$$

$$\lambda_{quer,z} = \frac{L_{cr,z} * \sqrt{A_{eff} / A}}{i_z * 10} = 0,367$$

$$\Phi = \frac{0,5 * (1 + \alpha * (\lambda_{quer,z} - 0,2) + \lambda_{quer,z}^2)}{1} = 0,608$$

$$\chi_z = \frac{\text{MIN}(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{quer,z}^2}}; 1,0)}{1} = 0,915$$

Grenzkraft gegen Biegeknicken von druckbeanspruchten Bauteilen

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z * A * f_{y,k}}{\gamma_{M1}} = 1149,41 \text{ kN}$$

##### **Nachweis**

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,Rd}} = \underline{\underline{0,82 < 1}}$$



#### Gurtstäbe am Stabende:

Interaktion Biegung und Druck

$$M_{z,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot a}{2 \cdot 2 \cdot 10} = 327,25 \text{ kNcm}$$

$$N_{Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = 875,00 \text{ kNcm}$$

$$\text{Äquiv. Momentenbeiwert } C_{mz} = 0,40$$

$$N_{Rk} = A_{eff} \cdot f_{y,k} = 1381,80 \text{ kN}$$

$$M_{z,Rk} = W_{z,pl} \cdot f_{y,k} = 3053,82 \text{ kNcm}$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left( 1 + (2 \cdot \lambda_{quer,z} - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed,1}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,441$$

$$k_{zz} = \text{MIN} \left( k_{zz}; C_{mz} \cdot \left( 1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \right) = 0,441$$

#### Nachweis Biegung und Druck (Gurtstäbe)

$$\frac{N_{Ed,1}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = \underline{\underline{0,81 < 1}}$$

#### Nachweise für die Bindebleche



#### Nachweis

$$\frac{\sigma_{Ed}}{f_{y,k} / \gamma_{M0}} = \underline{\underline{0,15 < 1}}$$

$$\tau_{Ed} = 1,5 \cdot \frac{V_{b,Ed,1}}{A_b} = 1,15 \text{ kN/cm}^2$$

#### Nachweis

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_{y,k} / (\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3})} = \underline{\underline{0,08 < 1}}$$



#### Nachweis für den Anschluss der Bindebleche

Anschluss des Bindeblechs mit einer an drei Seiten geführten Schweißnaht

Aus der in der Mitte des Bindeblechs angreifenden Beanspruchung  $V_{b,Ed,1}$  ergibt sich:

$$V_{z,Ed} = V_{b,Ed,1} = 21,53 \text{ kN}$$

$$M_{T,Ed} = V_{b,Ed,1} \cdot \frac{l_b}{2 \cdot 10} = 441,37 \text{ kNcm}$$

anteilige Schubflüsse

$$T_{MT,Ed} = \frac{M_{T,Ed} \cdot 100}{h_b \cdot ((l_b - h_u) / 2)} = 2,76 \text{ kN/cm}$$

$$T_{V,Ed} = \frac{V_{z,Ed} \cdot 10}{h_b} = 1,08 \text{ kN/cm}$$

$$\text{Mindestnahtdicke } a_{\min} = 3,00 \text{ mm}$$

$$a_{\min} / a_w = \underline{1,00 \leq 1}$$

$$l_{\min} = \text{MAX}(6 \cdot a_w; 30) = 30,00 \text{ mm}$$

$$l_w = 2 \cdot (l_b - h_u) / 2 + h_b - 2 \cdot a_w = 354,00 \text{ mm}$$

$$l_{\min} / l_w = \underline{0,08 \leq 1}$$

Flankenkehlnähte - Beanspruchung mit  $T_{MT,Ed}$

$$\tau_{II,Ed} = \frac{T_{MT,Ed}}{a_w / 10} = 9,20 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{3 \cdot (\tau_{II,Ed}^2)} = 15,93 \text{ kN/cm}^2$$

#### Nachweis der Flankenkehlnähte:

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{0,44 < 1}$$

Stirnkehlnähte - Beanspruchung mit  $T_{V,Ed}$

$$\tau_{II,Ed} = \frac{T_{V,Ed}}{a_w / 10} = 3,60 \text{ kN/cm}^2$$

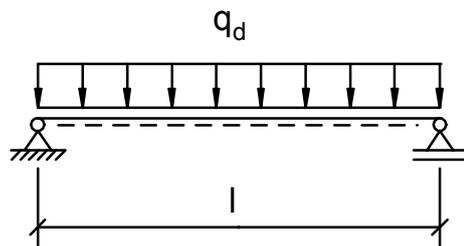
$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{3 \cdot (\tau_{II,Ed}^2)} = 6,24 \text{ kN/cm}^2$$

#### Nachweis der Stirnkehlnähte:

$$\frac{\sigma_{w,Ed}}{f_{w,Rd}} = \underline{0,17 < 1}$$

### Einfeldträger aus I-Profil

Nachweis der Spannung und Verformung



Stützweite l =	7300,00 mm	
Träger Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	= IPE
Träger-Profil ID1 =	GEW("EC3_de/Typ1; ID; )	= IPE 270

### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	= S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)	= 235 N/mm <sup>2</sup>
$\varepsilon$ =	$\sqrt{\frac{235}{f_{y,k}}}$	= 1,00
$E_s$ =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)	= 210000 N/mm <sup>2</sup>

### Einwirkungen:

Eigenlast g =	3,00 kN/m
Nutzlast q =	5,00 kN/m
Schneelast $s_0$ =	2,00 kN/m

### Sicherheitsbeiwerte:

$\gamma_G$ =	1,35
$\gamma_Q$ =	1,50
$\psi$ =	0,90
$\gamma_{M0}$ =	1,00

### Bemessungswerte:

$q_{d1}$ =	$\gamma_G \cdot g + \gamma_Q \cdot q$	= 11,55 kN/m
$q_{d2}$ =	$\gamma_G \cdot g + \psi \cdot \gamma_Q \cdot (q + s_0)$	= 13,50 kN/m
$q_d$ =	MAX( $q_{d1}$ ; $q_{d2}$ )	= 13,50 kN/m

### Profilwerte:

Höhe h =	TAB("EC3_de/Typ1; h; ID=ID1;)	= 270,00 mm
Breite b =	TAB("EC3_de/Typ1; b; ID=ID1;)	= 135,00 mm
Steg $t_w$ =	TAB("EC3_de/Typ1; $t_w$ ; ID=ID1;)	= 6,60 mm
Steghöhe d =	TAB("EC3_de/Typ1; d; ID=ID1;)	= 219,00 mm
Flansch $t_f$ =	TAB("EC3_de/Typ1; $t_f$ ; ID=ID1;)	= 10,20 mm
Radius r =	TAB("EC3_de/Typ1; r; ID=ID1;)	= 15,00 mm
Fläche A =	TAB("EC3_de/Typ1; A; ID=ID1;)	= 45,90 cm <sup>2</sup>
Trägheitsmoment $I_y$ =	TAB("EC3_de/Typ1; $I_y$ ; ID=ID1;)	= 5790,00 cm <sup>4</sup>
$h_w$ =	$h - 2 \cdot t_f$	= 249,60 mm



### Einstufung des Querschnitts:



### Bemessungsmoment:

$$M_{Ed} = \frac{q_d \cdot l^2}{8} \cdot 10^{-6} = 89,93 \text{ kNm}$$
$$M_{y,pl,Rd} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de"/"Typ1"; } M_{y,pl,Rd}; \text{ID=ID1}) \cdot f_{y,k}/235 = 115 \text{ kNm}$$
$$\frac{M_{Ed}}{M_{y,pl,Rd}} = \underline{\underline{0,78 < 1}}$$

### Nachweis der Querkraft:

$$V_{Ed} = 0,5 \cdot q_d \cdot l \cdot 10^{-3} = 49,27 \text{ kN}$$
$$\eta = 1,0$$
$$A_v = \text{MAX}(A \cdot 10^2 - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f; \eta \cdot h_w \cdot t_w) / 100 = 22,09 \text{ cm}^2$$
$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot 10^{-1} = 299,71 \text{ kN}$$
$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = 300 \text{ kN}$$
$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,16 < 1}}$$

### Nachweis der Gebrauchstauglichkeit:

vertikale Durchbiegung

$$q_{ser} = g + \psi \cdot (q + s_0) = 9,30 \text{ kN/m}$$

Gesamtdurchbiegung (Beispiel hier:  $\leq L/250$ )

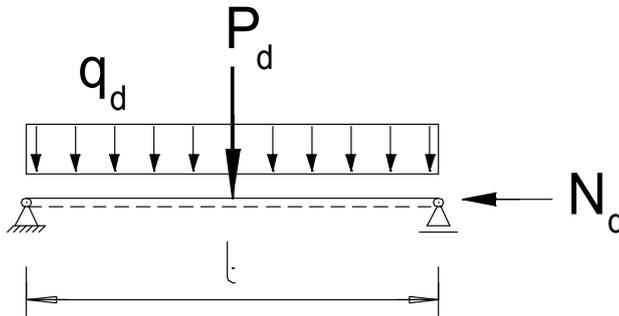
$$w_{tot} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{ser} \cdot l^4}{E_s \cdot I_y} \cdot 10^{-4} = 28,3 \text{ mm}$$
$$\frac{w_{tot}}{l/250} = \underline{\underline{0,97 \leq 1}}$$

Durchbiegungsanteil infolge veränderlicher Einwirkung (Beispiel hier:  $\leq L/300$ )

$$w_3 = \frac{5}{384} \cdot \frac{(q + s_0) \cdot l^4}{E_s \cdot I_y} \cdot 10^{-4} = 21,3 \text{ mm}$$
$$\frac{w_3}{l/300} = \underline{\underline{0,88 \leq 1}}$$

### Einfeldträger unter Biegung, Querkraft und Normalkraft

I-Querschnitt; Endauflager gabelgelagert.



#### Systemmaße:

Stützweite  $l = 6000 \text{ mm}$

#### Belastung:

$q_d = 8,0 \text{ kN/m}$

$N_d = 100,0 \text{ kN}$

$P_d = 5,0 \text{ kN}$

#### Material:

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID; ) = S 235

$E = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; E; ID=Stahl}/10 = 21000,0 \text{ kN/cm}^2$

$G = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; G; ID=Stahl}/10 = 8100,0 \text{ kN/cm}^2$

$f_{y,k} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/mat"; } f_{y,k}; \text{ID=Stahl}/10 = 23,5 \text{ kN/cm}^2$

$\varepsilon = \sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}} = 1,00$

Bezugsschlankheitsgrad

$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E / 23,5} \cdot \varepsilon = 93,91$

#### Sicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} = 1,0$

$\gamma_{M1} = 1,1$

#### Querschnittswerte:

Träger Typ1 = GEW("EC3\_de/Profile"; ID;) = IPE

Träger-Profil ID1 = GEW("EC3\_de/"Typ1; ID; ) = IPE 300

Höhe  $h = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ1; h; ID=ID1;} = 300,00 \text{ mm}$

Breite  $b = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ1; b; ID=ID1;} = 150,00 \text{ mm}$

Steg  $t_w = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ1; } t_w; \text{ID=ID1;} = 7,10 \text{ mm}$

Flansch  $t_f = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ1; } t_f; \text{ID=ID1;} = 10,70 \text{ mm}$

Radius  $r = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ1; r; ID=ID1;} = 15,00 \text{ mm}$

Fläche  $A = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ1; A; ID=ID1;} = 53,80 \text{ cm}^2$

Trägheitsmoment  $I_y = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ1; } I_y; \text{ID=ID1;} = 8360,00 \text{ cm}^4$

$I_\omega = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ1; } I_\omega; \text{ID=ID1;} * 10^3 = 125,90 * 10^3 \text{ cm}^6$

Trägheitsmoment  $I_z = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ1; } I_z; \text{ID=ID1;} = 604,00 \text{ cm}^4$

Trägheitsmoment  $I_T = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ1; } I_T; \text{ID=ID1;} = 20,10 \text{ cm}^4$

gerader Stegteil  $d = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ1; d; ID=ID1;} = 248,00 \text{ mm}$

$h_w = h - 2 * t_f = 278,60 \text{ mm}$

$i_y = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ1; } i_y; \text{ID=ID1;} = 12,50 \text{ cm}$

$i_z = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ1; } i_z; \text{ID=ID1;} = 3,35 \text{ cm}$

$W_{el} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ1; } W_y; \text{ID=ID1;} = 557,00 \text{ cm}^3$

$\alpha_{ply} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ1; } \alpha_{ply}; \text{ID=ID1;} = 1,13$

$W_{ply} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/"Typ1; } W_{ply}; \text{ID=ID1;} = 628,00 \text{ cm}^3$



### Einstufung des Querschnitts:



### Nachweis des Biegemomentes (QK 1 und 2):

$$M_{y,d} = q_d \cdot \frac{(l/1000)^2}{8} + P_d \cdot \frac{l/1000}{4} = 43,50 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,y,Rd} = W_{ply} \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0} \cdot 10^2} = 147,58 \text{ kNm}$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = 1264,30 \text{ kN}$$

Einfluss der Normalkraft auf die plastische Momentenbeanspruchbarkeit (y-y):

$$\text{bed1} = \frac{N_d}{N_{pl,Rd}} = 0,08 \leq 0,25$$

$$\text{bed2} = \frac{N_d \cdot \gamma_{M0}}{h_w \cdot t_w \cdot f_{y,k} \cdot 10^{-2}} = 0,22 \leq 1$$

$$n = \frac{N_d}{N_{pl,Rd}} = 0,079$$

$$a = \text{MIN}\left(\frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f \cdot 10^{-2}}{A}; 0,5\right) = 0,403$$

Abgeminderter Bemessungswert der Momentenbeanspruchbarkeit infolge Normalkraft:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a} = 170,22 \text{ kNm}$$

$$M_{N,y,Rd} = \text{WENN}(\text{bedN} = 1,0; M_{pl,y,Rd}; M_{N,y,Rd}) = 147,6 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,d}}{M_{N,y,Rd}} = \underline{\underline{0,29 \leq 1}}$$

### Nachweis der Querkraft:

$$V_{Ed} = \frac{P_d + q_d \cdot l/1000}{2} = 26,50 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{\text{MAX}(A \cdot 10^2 - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f; \eta \cdot h_w \cdot t_w)}{100} = 25,67 \text{ cm}^2$$



$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 348,28 \text{ kN}$$
$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = 348 \text{ kN}$$
$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,08 < 1}}$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie  
Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

### Knickbeanspruchbarkeit nach EC3-1-1, Anhang B:

#### Nachweise:

#### **Abminderungsbeiwerte für Biegeknicken $\chi_y \chi_z$**

Knicken um Achse y-y

$$\lambda_y = \frac{l \cdot 10^{-1}}{i_y} = 48,00$$

$$\lambda_{quer,y} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0,511$$

Wahl der Knicklinie nach EC3-1-1, Tabelle 6.2 (Walzprofil):

$$h / b = 2,00$$

$$t_f / 100 = 0,11$$

$$\text{Knicklinie } yy = \text{GEW}(\text{"EC3\_de/knick"; knl; }) = a$$

$$\alpha = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/knick"; } \alpha; \text{ knl=yy}) = 0,21$$

$$\Phi = \frac{0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_{quer,y} - 0,2) + \lambda_{quer,y}^2)}{1} = 0,663$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{quer,y}^2}}; 1,0 = \underline{\underline{0,921}}$$

Knicken um Achse z-z

$$\lambda_z = \frac{l}{i_z \cdot 10} = 179,10$$

$$\lambda_{quer,z} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1,907$$

$$\text{Knicklinie } zz = \text{GEW}(\text{"EC3\_de/knick"; knl; }) = b$$

$$\alpha = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/knick"; } \alpha; \text{ knl=zz}) = 0,34$$

$$\Phi = \frac{0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_{quer,z} - 0,2) + \lambda_{quer,z}^2)}{1} = 2,609$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{quer,z}^2}}; 1,0 = 0,228$$

Abminderungsfaktor der maßgebenden Biegeknickrichtung

$$\chi_{min} = \text{MIN}(\chi_y; \chi_z) = \underline{\underline{0,228}}$$



### Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken $\chi_{LT}$

a) ideale Biegedrillknickmoment (Verzweigungsmoment)  $M_{cr}$ :

Belastung und Lagerbedingung	Momentenverlauf	$C_1$	$C_2$	$C_3$
		1,13	0,45	0,52

Tabelle:  $C_x$  Faktoren aus äusserer last ( $k_z=1$ )

Beiwert abhängig von Belastung und Lagerungsbedingungen

$$C_1 = 1,132$$

$$C_2 = 0,459$$

Koordinate des Lasteinleitungspunktes:

Abstand des Lastangriffspunktes zum Schubmittelpunkt:

$$z_g = h / 2 * 10^{-1} = 15,00 \text{ cm}$$

$$M_{cr} = \left( \sqrt{\frac{I_{\omega}}{I_z} + \frac{(l/10)^2 * G * I_T}{\pi^2 * E * I_z}} + (C_2 * z_g)^2 - C_2 * z_g \right) * \frac{\pi^2 * E * I_z}{(l/10)^2} * C_1 = 7882 \text{ kNcm}$$

b) Schlankheitsgrad Biegedrillknicken

$$W_y = W_{ply} = 628,00 \text{ cm}^3$$

$$\lambda_{quer,LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_{y,k}}{M_{cr}}} = 1,368$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

$$\chi_{LT} = \text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta * \lambda_{quer,LT}^2}}; 1,0; \frac{1}{\lambda_{quer,LT}^2}\right) = 0,489$$

Modifikation des Abminderungsfaktors  $\chi_{LT}$  nach EC3-1-1, 6.3.2.3 (2)

$$k_c = \sqrt{1/C_1} = 0,940$$

$$f = \text{MIN}(1 - 0,5 * (1 - k_c) * (1 - 2,0 * (\lambda_{quer,LT} - 0,8)^2); 1,0) = 0,989$$

$$\chi_{LT,mod} = \text{MIN}\left(\chi_{LT} / f; \frac{1}{\lambda_{quer,LT}^2}; 1,0\right) = 0,494 \leq 1$$

**c) Interaktionsfaktoren {EC3-1-1: B} Tabelle B.3**

$$\begin{aligned} C_{my} &= 0,95 \\ C_{mLT} &= 0,95 \\ N_{Rk} &= A \cdot f_{y,k} = 1264,30 \text{ kN} \\ M_{y,Rk} &= W_{ply} \cdot f_{y,k} = 14758,00 \text{ kNcm} \end{aligned}$$

für plastische Querschnittswerte QK1 und QK2:

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left( 1 + (\lambda_{quer,y} - 0,2) \cdot \frac{N_d}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,978$$

$$k_{yy} = \text{MIN}(k_{yy}; C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_d}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)) = 0,978$$

$$k_{zy1} = 1 - \frac{0,1 \cdot \lambda_{quer,z} \cdot \frac{N_d}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}}}{C_{mLT} - 0,25} = 0,896$$

$$k_{zy} = \text{MAX}(k_{zy1}; 1 - \frac{0,1 \cdot \frac{N_d}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}}}{C_{mLT} - 0,25}) = 0,945$$

$$k_{zy} = \text{WENN}(\lambda_{quer,z} < 0,4; \text{MIN}(0,6 + \lambda_{quer,z}; k_{zy1}); k_{zy}) = 0,945$$

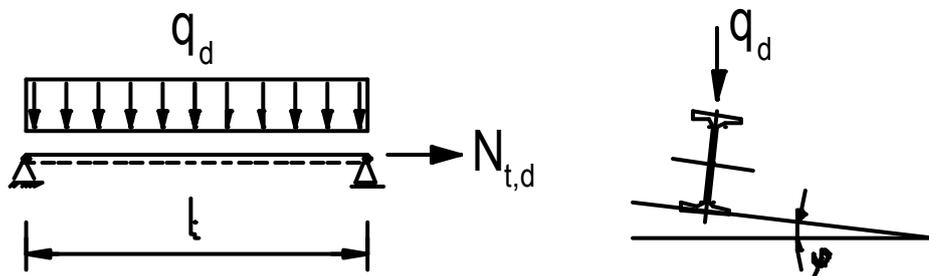
**Nachweise Knickbeanspruchbarkeit:**

$$\frac{N_d}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,d} \cdot 100}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} = \underline{\underline{0,74 \leq 1}}$$

$$\frac{N_d}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,d} \cdot 100}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} = \underline{\underline{1,01 \leq 1}}$$

### Einfeldträger mit zweiachsigter Biegung

I-Profil, QK 1 und 2



Stützweite  $l =$  5800 mm  
 Neigungswinkel  $\varphi =$  8,53 °

#### Belastung:

$q_d =$  7,00 kN/m  
 $N_{t,d} =$  100,00 kN

Träger:

Profilreihe Typ1 = GEW("EC3\_de/Profile"; ID;) = IPE  
 Träger-Profil ID1 = GEW("EC3\_de/Typ1"; ID;) = IPE 200

#### Material:

Stahl = GEW("EC3\_de/mat"; ID;) = S 235  
 $f_{y,k} =$  TAB("EC3\_de/mat";  $f_{y,k}$ ; ID=Stahl)/10 = 23,5 kN/cm<sup>2</sup>  
 $\varepsilon =$   $\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$  = 1,00  
 $E =$  TAB("EC3\_de/mat"; E; ID=Stahl)/10 = 21000,0 kN/cm<sup>2</sup>  
 $\alpha_{ply} =$  TAB("EC3\_de/Typ1";  $\alpha_{ply}$ ; ID=ID1) = 1,13  
 $\alpha_{plz} =$  TAB("EC3\_de/Typ1";  $\alpha_{plz}$ ; ID=ID1) = 1,57  
 $\gamma_{M0} =$  1,0

#### Profilwerte:

Höhe  $h =$  TAB("EC3\_de/Typ1"; h; ID=ID1;) = 200,00 mm  
 Breite  $b =$  TAB("EC3\_de/Typ1"; b; ID=ID1;) = 100,00 mm  
 Steg  $t_w =$  TAB("EC3\_de/Typ1";  $t_w$ ; ID=ID1;) = 5,60 mm  
 Flansch  $t_f =$  TAB("EC3\_de/Typ1";  $t_f$ ; ID=ID1;) = 8,50 mm  
 Radius  $r =$  TAB("EC3\_de/Typ1"; r; ID=ID1;) = 12,00 mm  
 Steghöhe  $d =$  TAB("EC3\_de/Typ1"; d; ID=ID1;) = 159,00 mm  
 Fläche  $A =$  TAB("EC3\_de/Typ1"; A; ID=ID1;) = 28,50 cm<sup>2</sup>  
 Trägheitsmoment  $I_y =$  TAB("EC3\_de/Typ1";  $I_y$ ; ID=ID1;) = 1940,00 cm<sup>4</sup>  
 $W_{y,el} =$  TAB("EC3\_de/Typ1";  $W_y$ ; ID=ID1) = 194,00 cm<sup>3</sup>  
 $W_{z,el} =$  TAB("EC3\_de/Typ1";  $W_z$ ; ID=ID1) = 28,50 cm<sup>3</sup>  
 $W_{y,pl} =$  TAB("EC3\_de/Typ1";  $W_{ply}$ ; ID=ID1) = 220,00 cm<sup>3</sup>  
 $W_{z,pl} =$  TAB("EC3\_de/Typ1";  $W_{plz}$ ; ID=ID1) = 44,61 cm<sup>3</sup>

#### Bemessungsmomente:

$q_{dy} =$   $q_d \cdot \cos(\varphi)$  = 6,92 kN/m  
 $q_{dz} =$   $q_d \cdot \sin(\varphi)$  = 1,04 kN/m  
 $M_{y,Ed} =$   $q_{dy} \cdot \frac{l^2}{8} \cdot 10^{-6}$  = 29,10 kNm  
 $M_{z,Ed} =$   $q_{dz} \cdot \frac{l^2}{8} \cdot 10^{-6}$  = 4,37 kNm



#### Bemessungswerte:

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0} \cdot 10^2} = 51,70 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{z,pl} \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0} \cdot 10^2} = 10,48 \text{ kNm}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = 669,75 \text{ kN}$$

Einfluss der Normalkraft auf die plastische Momentenbeanspruchbarkeit (y-y):

$$\text{bed1} = \frac{N_{t,d}}{0,25 \cdot N_{pl,Rd}} = 0,60 \leq 1$$

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 183,00 \text{ mm}$$

$$\text{bed2} = \frac{N_{t,d} \cdot \gamma_{M0}}{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_{y,k} \cdot 10^{-2}} = 0,83 \leq 1$$

$$n = \frac{N_{t,d}}{N_{pl,Rd}} = 0,149$$

$$a = \text{MIN}\left(\frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f \cdot 10^{-2}}{A}; 0,5\right) = 0,404$$

Abgeminderter Bemessungswert der Momentenbeanspruchbarkeit infolge Normalkraft:



Plastische Beanspruchbarkeit (inkl. evtl. Abminderung):

$$M_{N,y,Rd} = \text{WENN}(\text{bedN} = 1,0; M_{pl,y,Rd}; M_{N,y,Rd}) = 51,7 \text{ kNm}$$

#### Nachweis des Querschnittes:

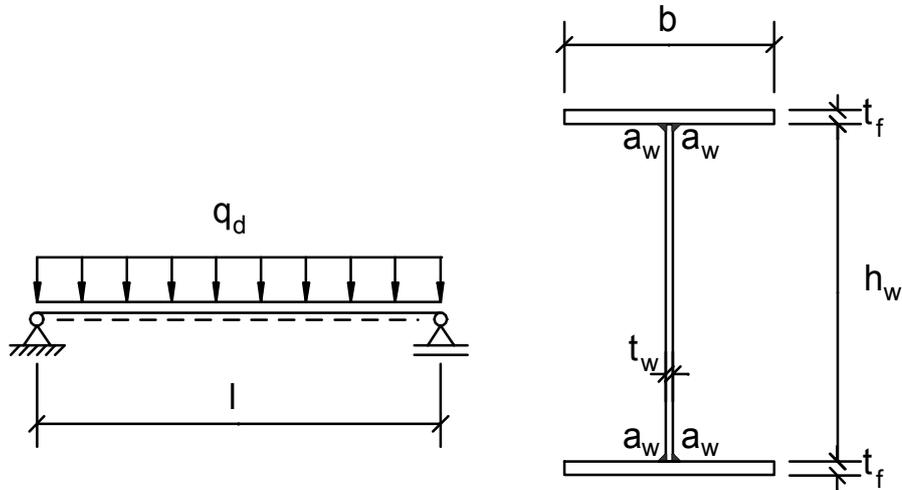
$$\text{für I-Profile gilt } \alpha = 2,00$$

$$\beta = \text{MAX}(5 \cdot n; 1,0) = 1,00$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right)^\beta = \underline{0,73 < 1}$$

### Biegedrillknicken eines Einfeldträgers (Last im Schwerpunkt)

geschweißtes doppelsymmetrisches I-Profil, Endauflager gabelgelagert, Last im Schwerpunkt



#### Systemmaße:

Stützweite $l =$	8000,0 mm
Trägerbreite $b =$	200,0 mm
Trägerhöhe $h =$	500,0 mm
Flanschdicke $t_f =$	25,0 mm
Stegdicke $t_w =$	12,0 mm
Nahtdicke $a_w =$	5,0 mm
Steghöhe $h_w = h - 2 \cdot t_f =$	450,0 mm

#### Belastung:

$q_d =$	36,00 kN/m
---------	------------

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 355
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	35,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon =$	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	=	0,81
$E =$	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	=	21000,0 kN/cm <sup>2</sup>
$G =$	TAB("EC3_de/mat"; G; ID=Stahl)/10	=	8100,0 kN/cm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwerte:			
$\gamma_{M0} =$			1,0
$\gamma_{M1} =$			1,1

#### Einstufung des Querschnittes:

Steg (Biegung):			
$c =$	$h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot a_w \cdot \sqrt{2}$	=	435,86 mm
$QK_{St} =$	WENN( $c/t_w \leq 72 \cdot \varepsilon$ ; 1; WENN( $c/t_w \leq 83 \cdot \varepsilon$ ; 2; WENN( $c/t_w \leq 124 \cdot \varepsilon$ ; 3; 4)))	=	1
Flansch (Druck):			
$c =$	$0,5 \cdot (b - t_w) - a_w \cdot \sqrt{2}$	=	86,93 mm
$QK_{Fl} =$	WENN( $c/t_f \leq 9 \cdot \varepsilon$ ; 1; WENN( $c/t_f \leq 10 \cdot \varepsilon$ ; 2; WENN( $c/t_f \leq 14 \cdot \varepsilon$ ; 3; 4)))	=	1
Querschnittsklasse $QK =$	MAX( $QK_{St}$ ; $QK_{Fl}$ )	=	1



#### Nachweis des Biegemomentes:

$$W_{pl} = \left( b \cdot t_f \cdot \frac{h + t_f}{2} + \frac{h}{2} \cdot t_w \cdot \frac{h}{4} \right) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 3375,00 \text{ cm}^3$$
$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0} \cdot 10^2} = 1198,13 \text{ kNm}$$
$$M_{Ed} = \frac{q_d \cdot l^2}{8} \cdot 10^{-6} = 288,00 \text{ kNm}$$
$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,24 < 1}}$$

#### Nachweis der Querkraft:

$$A_v = h_w \cdot t_w / 100 = 54,00 \text{ cm}^2$$
$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 1106,78 \text{ kN}$$
$$V_{Ed} = q_d \cdot \frac{l}{2} \cdot 10^{-3} = 144,00 \text{ kN}$$
$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \underline{\underline{0,13 < 1}}$$

#### Nachweis auf Biegedrillknicken:

a) ideale Biegedrillknickmoment (Verzweigungsmoment)  $M_{cr}$ :



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

$$M_{cr} = \left( \sqrt{\frac{I_w \cdot (l/10)^2 \cdot G \cdot I_T}{I_z} + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(l/10)^2}} \right) \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(l/10)^2} \cdot C_1 = 58937 \text{ kNcm}$$

b) Schlankheitsgrad Biegedrillknicken

$$W_y = 3375,00 \text{ cm}^3$$
$$\lambda_{\text{quer,LT}} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{y,k}}{M_{cr}}} = 1,426$$



#### c) Abminderungsbeiwert $\chi_{LT}$

Wahl der Knicklinie nach EC3-1-1, Tabelle 6.5 (geschweißtes Profil):

$$\begin{aligned} h / b &= 2,50 \\ \text{Knicklinie} &= \text{GEW}(\text{"EC3\_de/knick"; knl; }) = d \\ \alpha_{LT} &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/knick"; } \alpha_{LT}; \text{ knl=Knicklinie}) = 0,76 \end{aligned}$$



Software zur Dokumentation und Berechnung

# master

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

$$\chi_{LT} = \text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta * \lambda_{\text{quer,LT}}^2}}; 1,0; \frac{1}{\lambda_{\text{quer,LT}}^2}\right) = 0,364$$

Modifikation des Abminderungsfaktors  $\chi_{LT}$  nach EC3-1-1, 6.3.2.3 (2)

$$\text{(Korrekturbeiwert Tab. 6.6) } k_c = 0,94$$

$$f = \text{MIN}(1 - 0,5 * (1 - k_c) * (1 - 2,0 * (\lambda_{\text{quer,LT}} - 0,8)^2); 1,0) = 0,99$$

$$\chi_{LT, \text{mod}} = \text{MIN}\left(\chi_{LT} / f; \frac{1}{\lambda_{\text{quer,LT}}}; 1,0\right) = 0,37 \leq 1$$

$$M_{b, \text{Rd}} = \chi_{LT, \text{mod}} * W_y * \frac{f_{y, k}}{\gamma_{M1} * 10^2} = 403,01 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{\text{Ed}}}{M_{b, \text{Rd}}} = \underline{\underline{0,71 < 1}}$$

#### Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

$$q_k = 25,00 \text{ kN/m}$$

$$\text{Trägheitsmom. } I_y = \left( b * h^3 - (b - t_w) * h_w^3 \right) * 10^{(-4)} / 12 = 65570,83 \text{ cm}^4$$

$$w_{\text{tot}} = \frac{5}{384} * \frac{q_k * 10^{-2} * (l/10)^4}{E * I_y} * 10 = 9,7 \text{ mm}$$

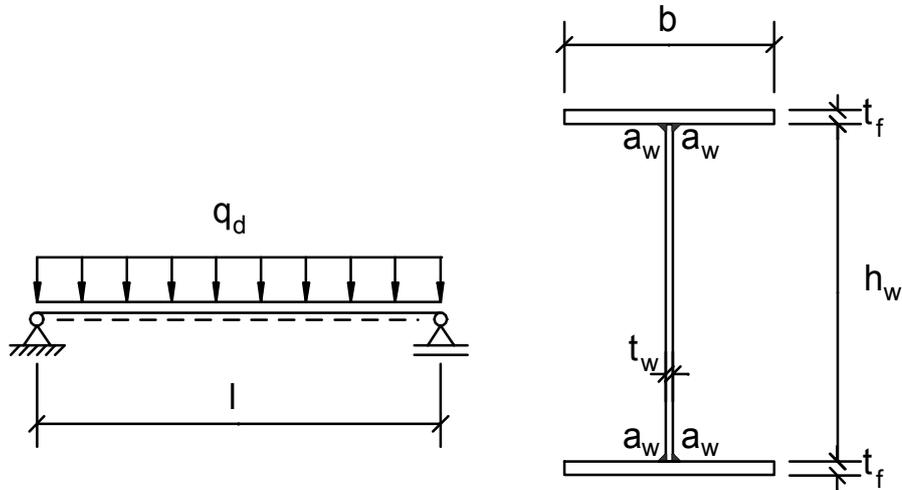
$$w_c = 0,0 \text{ mm}$$

$$w_{\text{max}} = w_{\text{tot}} - w_c = 9,7 \text{ mm}$$

$$l / w_{\text{max}} = 825$$

### Biegedrillknicken eines Einfeldträgers (Lastangriff oben)

geschweißtes doppelsymmetrisches I-Profil, Endauflager gabelgelagert, Last mittig auf Oberflansch



#### Systemmaße:

Stützweite $l =$	8000,0 mm
Trägerbreite $b =$	200,0 mm
Trägerhöhe $h =$	500,0 mm
Flanschdicke $t_f =$	25,0 mm
Stegdicke $t_w =$	12,0 mm
Nahtdicke $a_w =$	5,0 mm
Steghöhe $h_w = h - 2 * t_f =$	450,0 mm

#### Belastung:

$q_d =$	36,00 kN/m
---------	------------

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 355
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{y,k}$ ; ID=Stahl)/10	=	35,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon =$	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	=	0,81
$E =$	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	=	21000,0 kN/cm <sup>2</sup>
$G =$	TAB("EC3_de/mat"; G; ID=Stahl)/10	=	8100,0 kN/cm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwerte:			
$\gamma_{M0} =$			1,0
$\gamma_{M1} =$			1,1

#### Einstufung des Querschnittes:

Steg (Biegung):			
$c =$	$h - 2 * t_f - 2 * a_w * \sqrt{2}$	=	435,86 mm
$QK_{St} =$	WENN( $c/t_w \leq 9 * \varepsilon$ ; 1; WENN( $c/t_w \leq 83 * \varepsilon$ ; 2; WENN( $c/t_w \leq 124 * \varepsilon$ ; 3; 4)))	=	1
Flansch (Druck):			
$c =$	$0,5 * (b - t_w) - a_w * \sqrt{2}$	=	86,93 mm
$QK_{Fl} =$	WENN( $c/t_f \leq 9 * \varepsilon$ ; 1; WENN( $c/t_f \leq 10 * \varepsilon$ ; 2; WENN( $c/t_f \leq 14 * \varepsilon$ ; 3; 4)))	=	1
Querschnittsklasse $QK =$	MAX( $QK_{St}$ ; $QK_{Fl}$ )	=	1



#### Nachweis des Biegemomentes:

$$W_{pl} = \left( b \cdot t_f \cdot \frac{h + t_f}{2} + \frac{h}{2} \cdot t_w \cdot \frac{h}{4} \right) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 3375,00 \text{ cm}^3$$
$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0} \cdot 10^2} = 1198,13 \text{ kNm}$$
$$M_{Ed} = \frac{q_d \cdot l^2}{8} \cdot 10^{-6} = 288,00 \text{ kNm}$$
$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,24 < 1}}$$

#### Nachweis der Querkraft:

$$A_v = h_w \cdot t_w / 100 = 54,00 \text{ cm}^2$$
$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 1106,78 \text{ kN}$$
$$V_{Ed} = q_d \cdot \frac{l}{2} \cdot 10^{-3} = 144,00 \text{ kN}$$
$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \underline{\underline{0,13 < 1}}$$

#### Nachweis auf Biegedrillknicken:



Koordinate des Lastenleitungspunktes:

Abstand des Lastangriffspunktes zum Schubmittelpunkt:

$$z_g = h / 2 \cdot 10^{-1} = 25,00 \text{ cm}$$

$$M_{cr} = \left( \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{(l/10)^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right) \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(l/10)^2} \cdot C_1 = 46539 \text{ kNcm}$$

#### **b) Schlankheitsgrad Biegedrillknicken**

$$W_y = W_{pl} = 3375,00 \text{ cm}^3$$
$$\lambda_{\text{quer,LT}} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{y,k}}{M_{cr}}} = 1,605$$



#### c) Abminderungsbeiwert $\chi_{LT}$

Wahl der Knicklinie nach EC3-1-1, Tabelle 6.5 (geschweißtes Profil):

$$\begin{aligned}
 h / b &= 2,50 \\
 \text{Knicklinie} &= \text{GEW}(\text{"EC3\_de/knick"; knl; }) = d \\
 \alpha_{LT} &= \text{TAB}(\text{"EC3\_de/knick"; } \alpha_{LT}; \text{ knl=Knicklinie}) = 0,76
 \end{aligned}$$



$$\chi_{LT} = \text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta * \lambda_{\text{quer,LT}}^2}}; 1,0; \frac{1}{\lambda_{\text{quer,LT}}^2}\right) = 0,307$$

Modifikation des Abminderungsfaktors  $\chi_{LT}$  nach EC3-1-1, 6.3.2.3 (2)

$$\text{(Korrekturbeiwert Tab. 6.6) } k_c = 0,94$$

$$f = \text{MIN}(1 - 0,5 * (1 - k_c) * (1 - 2,0 * (\lambda_{\text{quer,LT}} - 0,8)^2); 1,0) = 1,00$$

$$\chi_{LT, \text{mod}} = \text{MIN}\left(\chi_{LT} / f; \frac{1}{\lambda_{\text{quer,LT}}^2}; 1,0\right) = 0,31 \leq 1$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT, \text{mod}} * W_y * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M1} * 10^2} = 337,65 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \underline{\underline{0,85 < 1}}$$

#### Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

$$q_k = 16,00 \text{ kN/m}$$

$$\text{Trägheitsmom. } I_y = \left( b * h^3 - (b - t_w) * h_w^3 \right) * 10^{(-4)} / 12 = 65570,83 \text{ cm}^4$$

$$w_{\text{tot}} = \frac{5}{384} * \frac{q_k * 10^{-2} * (l/10)^4}{E * I_y} * 10 = 6,2 \text{ mm}$$

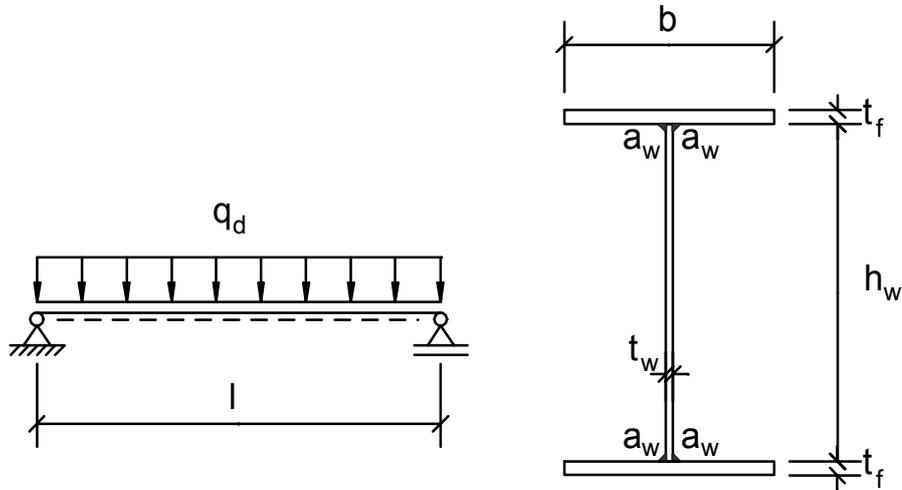
$$w_c = 0,0 \text{ mm}$$

$$w_{\text{max}} = w_{\text{tot}} - w_c = 6,2 \text{ mm}$$

$$l / w_{\text{max}} = 1290$$

### Biegedrillknicken eines Einfeldträgers (Lastangriff unten)

geschweißtes doppelsymmetrisches I-Profil, Endauflager gabelgelagert, Last mittig am Unterflansch



#### Systemmaße:

Stützweite $l =$	8000,0 mm
Trägerbreite $b =$	200,0 mm
Trägerhöhe $h =$	500,0 mm
Flanschdicke $t_f =$	25,0 mm
Stegdicke $t_w =$	12,0 mm
Nahtdicke $a_w =$	5,0 mm
Steghöhe $h_w = h - 2 * t_f =$	450,0 mm

#### Belastung:

$q_d =$	36,00 kN/m
---------	------------

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 355
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	35,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon =$	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	=	0,81
$E =$	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	=	21000,0 kN/cm <sup>2</sup>
$G =$	TAB("EC3_de/mat"; G; ID=Stahl)/10	=	8100,0 kN/cm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwerte:			
$\gamma_{M0} =$			1,0
$\gamma_{M1} =$			1,1

#### Einstufung des Querschnittes:

Steg (Biegung):			
$c =$	$h - 2 * t_f - 2 * a_w * \sqrt{2}$	=	435,86 mm
$QK_{St} =$	WENN( $c/t_w \leq 72 * \varepsilon$ ; 1; WENN( $c/t_w \leq 83 * \varepsilon$ ; 2; WENN( $c/t_w \leq 124 * \varepsilon$ ; 3; 4)))	=	1
Flansch (Druck):			
$c =$	$0,5 * (b - t_w) - a_w * \sqrt{2}$	=	86,93 mm
$QK_{Fl} =$	WENN( $c/t_f \leq 9 * \varepsilon$ ; 1; WENN( $c/t_f \leq 10 * \varepsilon$ ; 2; WENN( $c/t_f \leq 14 * \varepsilon$ ; 3; 4)))	=	1
Querschnittsklasse $QK =$	MAX( $QK_{St}$ ; $QK_{Fl}$ )	=	1



#### Nachweis des Biegemomentes:

$$W_{pl} = \left( b \cdot t_f \cdot \frac{h + t_f}{2} + \frac{h}{2} \cdot t_w \cdot \frac{h}{4} \right) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 3375,00 \text{ cm}^3$$
$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{y,k}}{\gamma_{M0} \cdot 10^2} = 1198,13 \text{ kNm}$$
$$M_{Ed} = \frac{q_d \cdot l^2}{8} \cdot 10^{-6} = 288,00 \text{ kNm}$$
$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,24 < 1}}$$

#### Nachweis der Querkraft:

$$A_v = h_w \cdot t_w / 100 = 54,00 \text{ cm}^2$$
$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 1106,78 \text{ kN}$$
$$V_{Ed} = q_d \cdot \frac{l}{2} \cdot 10^{-3} = 144,00 \text{ kN}$$
$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \underline{\underline{0,13 < 1}}$$

#### Nachweis auf Biegedrillknicken:

a) ideale Biegedrillknickmoment (Verzweigungsmoment)  $M_{cr}$ :



Beiwert abhängig von Belastung und Lagerungsbedingungen

$$C_1 = 1,132$$

$$C_2 = 0,459$$

Koordinate des Lasteinleitungspunktes:

Abstand des Lastangriffspunktes zum Schubmittelpunkt:

$$z_g = -h / 2 \cdot 10^{-1} = -25,00 \text{ cm}$$

$$M_{cr} = \left( \sqrt{\frac{I_w \cdot (l/10)^2 \cdot G \cdot I_T}{I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right) \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(l/10)^2} \cdot C_1 = 74638 \text{ kNcm}$$

b) Schlankheitsgrad Biegedrillknicken

$$W_y = W_{pl} = 3375,00 \text{ cm}^3$$

$$\lambda_{\text{quer,LT}} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{y,k}}{M_{cr}}} = 1,267$$



#### c) Abminderungsbeiwert $\chi_{LT}$

Wahl der Knicklinie nach EC3-1-1, Tabelle 6.5 (geschweißtes Profil):

$$h / b = 2,50$$

$$\text{Knicklinie} = \text{GEW}(\text{"EC3\_de/knick"; knl; }) = d$$

$$\alpha_{LT} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/knick"; } \alpha_{LT}; \text{ knl=Knicklinie}) = 0,76$$

$$(\text{empfohlen } 0,4), \lambda_{\text{quer,LT},0} = 0,4$$

$$(\text{empfohlen } 0,75) \beta = 0,75$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 * (1 + \alpha_{LT} * (\lambda_{\text{quer,LT}} - \lambda_{\text{quer,LT},0}) + \beta * \lambda_{\text{quer,LT}}^2) = 1,431$$

$$\chi_{LT} = \text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta * \lambda_{\text{quer,LT}}^2}}; 1,0; \frac{1}{\lambda_{\text{quer,LT}}^2}\right) = 0,426$$

Modifikation des Abminderungsfaktors  $\chi_{LT}$  nach EC3-1-1, 6.3.2.3 (2)



$$\chi_{LT, \text{mod}} = \text{MIN}\left(\chi_{LT} / f; \frac{1}{\lambda_{\text{quer,LT}}^2}; 1,0\right) = 0,43 \leq 1$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT, \text{mod}} * W_y * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M1} * 10^2} = 468,36 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \underline{\underline{0,61 < 1}}$$

#### Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

$$q_k = 24,00 \text{ kN/m}$$

$$\text{Trägheitsmom. } I_y = \left( b * h^3 - (b - t_w) * h_w^3 \right) * 10^{(-4)} / 12 = 65570,83 \text{ cm}^4$$

$$w_{\text{tot}} = \frac{5}{384} * \frac{q_k * 10^{-2} * (l/10)^4}{E * I_y} * 10 = 9,3 \text{ mm}$$

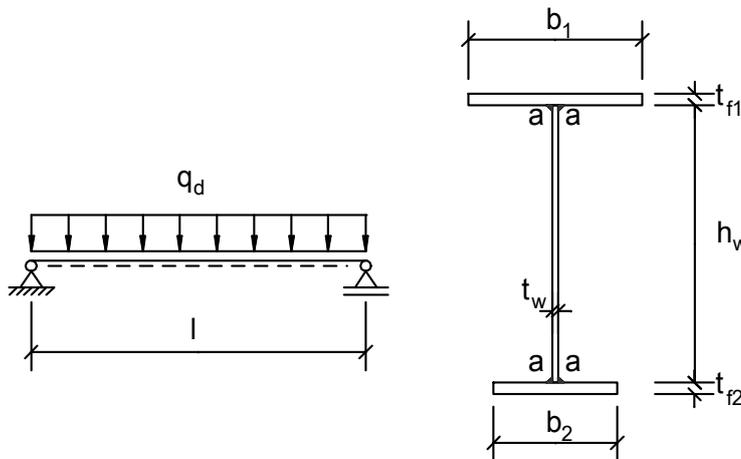
$$w_c = 0,0 \text{ mm}$$

$$w_{\text{max}} = w_{\text{tot}} - w_c = 9,3 \text{ mm}$$

$$l / w_{\text{max}} = 860$$

### Biegedrillknicken eines Einfeldträgers (Lastangriff frei)

geschweißtes einfachsymmetrisches I-Profil, Endauflager gabelgelagert, Lastangriff definierbar in z-Richtung



#### Systemmaße:

Stützweite $l =$	24000,0 mm
Trägerbreite oben $b_1 =$	400,0 mm
Flanshdicke oben $t_{f1} =$	35,0 mm
Profilbreite unten $b_2 =$	500,0 mm
Flanshdicke unten $t_{f2} =$	35,0 mm
Stegdicke $t_w =$	20,0 mm
Trägerhöhe $h =$	1000,0 mm
Nahtdicke $a_w =$	10,0 mm
Steghöhe $h_w =$	$h - t_{f1} - t_{f2} = 930,0$ mm

#### Belastung:

$q_d =$	16,00 kN/m
---------	------------

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 355
$f_{y,k} =$	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	35,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon =$	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	=	0,81
$E =$	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	=	21000,0 kN/cm <sup>2</sup>
$G =$	TAB("EC3_de/mat"; G; ID=Stahl)/10	=	8100,0 kN/cm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwerte:			
$\gamma_{M0} =$			1,0
$\gamma_{M1} =$			1,1

#### Querschnittswerte:

$A =$	$(b_1 * t_{f1} + b_2 * t_{f2} + h_w * t_w) / 100$	=	501,00 cm <sup>2</sup>
Lage des Schwerpunktes (bezogen auf oberen Flanschschwerpunkt):			
$e_s =$	$\frac{b_2 * t_{f2} * \left( h_w + \frac{t_{f1}}{2} + \frac{t_{f2}}{2} \right) + h_w * t_w * \frac{(h_w + t_{f1})}{2}}{A * 1000}$	=	51,62 cm



Lage des Schubmittelpunktes:

$$z_M = \left( h_w + \frac{t_{f1} + t_{f2}}{2} \right) * \frac{b_2^3}{b_1^3 + b_2^3} * 10^{-1} = 63,82 \text{ cm}$$

$$z_S = -(z_M - e_S) = -12,20 \text{ cm}$$

Lage der plastischen Nulllinie:



$$I_z = \left( t_{f1} * \frac{b_1^3}{12} + t_{f2} * \frac{b_2^3}{12} \right) * 10^{-4} = 55125,00 \text{ cm}^4$$

#### Einstufung des Querschnittes:

Steg (Biegung):

$$c = h_w - 2 * a_w * \sqrt{2} = 901,72 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{x}{h_w} = 0,59$$

Kriterium für Querschnittsklasse 1:

$$\text{Krit1} = \text{WENN}(\alpha > 0,5; 396 * \epsilon / (13 * \alpha - 1); 36 * \epsilon / \alpha) = 48,09$$

Kriterium für Querschnittsklasse 2:

$$\text{Krit2} = \text{WENN}(\alpha > 0,5; 456 * \epsilon / (13 * \alpha - 1); 41,5 * \epsilon / \alpha) = 55,38$$

$$\text{QK}_{St} = \text{WENN}(c/t_w \leq \text{Krit1}; 1; \text{WENN}(c/t_w \leq \text{Krit2}; 2; 3)) = 1$$

Flansch (Druck):

$$c = 0,5 * (b_1 - t_w) - a_w * \sqrt{2} = 175,86 \text{ mm}$$

$$\text{QK}_{Fl} = \text{WENN}(c/t_{f1} \leq 9 * \epsilon; 1; \text{WENN}(c/t_{f1} \leq 10 * \epsilon; 2; \text{WENN}(c/t_{f1} \leq 14 * \epsilon; 3; 4))) = 1$$

$$\text{Querschnittsklasse QK} = \text{MAX}(\text{QK}_{St}; \text{QK}_{Fl}) = 1$$

#### Nachweis des Biegemomentes:

für Querschnittsklasse 1 und 2:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_{y,k}}{\gamma_{M0} * 10^2} = 6876,39 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \frac{q_d * l^2}{8} * 10^{-6} = 1152,00 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \underline{\underline{0,17 < 1}}$$

**Nachweis der Querkraft:**

$$A_v = h_w * t_w / 100 = 186,00 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 3812,24 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = q_d * \frac{l}{2} * 10^{-3} = 192,00 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \underline{\underline{0,05 < 1}}$$

**Nachweis auf Biegedrillknicken:**a) ideale Biegedrillknickmoment (Verzweigungsmoment)  $M_{cr}$ :

Ungleiche Flansche:

$$\beta_f = \frac{b_1^3 * t_{f1}}{b_1^3 * t_{f1} + b_2^3 * t_{f2}} = 0,339$$

$$h_s = \left( h_w + \frac{t_{f1}}{2} + \frac{t_{f2}}{2} \right) / 10 = 96,50 \text{ cm}$$

$$z_j = \text{WENN}(\beta_f > 0,5; 0,4 * (2 * \beta_f - 1) * h_s; 0,5 * (2 * \beta_f - 1) * h_s) = -15,54 \text{ cm}$$

$$I_w = \beta_f * (1 - \beta_f) * I_z * \left( h_w + \frac{t_{f1} + t_{f2}}{2} \right)^2 * 10^{-2} = 115,03 * 10^6 \text{ cm}^6$$

$$\text{term}_1 = C_1 * \frac{\pi^2 * E * I_z}{(k_z * l)^2} * 10^3 = 22453,85$$

$$\text{term}_2 = \sqrt{\left( \frac{k_z}{k_w} \right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z * l / 10)^2 * G * I_T}{\pi^2 * E * I_z} + (C_2 * z_g - C_3 * z_j)^2} = 98,46$$

$$\text{term}_3 = C_2 * z_g - C_3 * z_j = 36,65$$

$$M_{cr} = \text{term}_1 * \frac{\text{term}_2 - \text{term}_3}{10} = 138787,25 \text{ kNcm}$$

b) Schlankheitsgrad Biegedrillknicken

$$W_y = W_{pl} = 19370,12 \text{ cm}^3$$

$$\lambda_{\text{quer,LT}} = \sqrt{\frac{W_y * f_{y,k}}{M_{cr}}} = 2,226$$



#### c) Abminderungsbeiwert $\chi_{LT}$

Wahl der Knicklinie nach EC3-1-1, Tabelle 6.5 (geschweißtes Profil):

$$h / b_1 = 2,50$$

$$\text{Knicklinie} = \text{GEW}(\text{"EC3\_de/knick"; knl; }) = d$$

$$\alpha_{LT} = \text{TAB}(\text{"EC3\_de/knick"; } \alpha_{LT}; \text{ knl=Knicklinie}) = 0,76$$

$$(\text{empfohlen } 0,4), \lambda_{\text{quer,LT},0} = 0,4$$

$$(\text{empfohlen } 0,75) \beta = 0,75$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 * (1 + \alpha_{LT} * (\lambda_{\text{quer,LT}} - \lambda_{\text{quer,LT},0}) + \beta * \lambda_{\text{quer,LT}}^2) = 3,052$$

$$\chi_{LT} = \text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta * \lambda_{\text{quer,LT}}^2}}; 1,0; \frac{1}{\lambda_{\text{quer,LT}}^2}\right) = 0,185$$

Modifikation des Abminderungsfaktors  $\chi_{LT}$  nach EC3-1-1, 6.3.2.3 (2)

$$(\text{Korrekturbeiwert Tab. 6.6}) k_c = 0,94$$

$$f = \text{MIN}(1 - 0,5 * (1 - k_c) * (1 - 2,0 * (\lambda_{\text{quer,LT}} - 0,8)^2); 1,0) = 1,00$$

$$\chi_{LT, \text{mod}} = \text{MIN}\left(\chi_{LT} / f; \frac{1}{\lambda_{\text{quer,LT}}}; 1,0\right) = 0,19 \leq 1$$

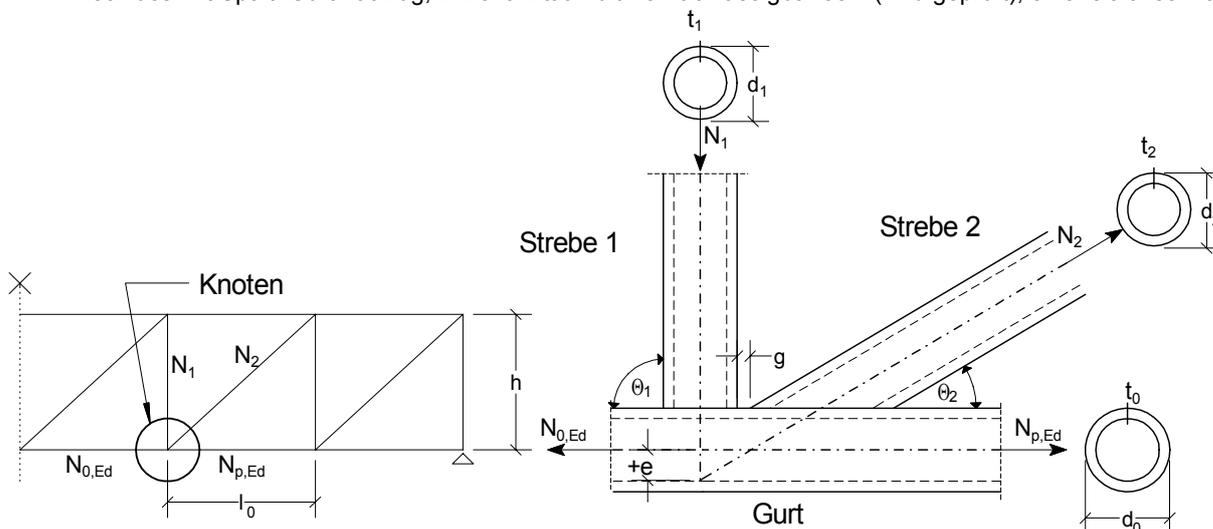
$$M_{b,Rd} = \chi_{LT, \text{mod}} * W_y * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M1} * 10^2} = 1187,74 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \underline{\underline{0,97 < 1}}$$

## Kapitel Fachwerkknoten

### Fachwerk aus kreisförmigen Hohlprofilen

K- bzw. N-Anschluss mit Spalt: Gurt hat Zug, Exzentrizität muß vernachlässigbar sein (wird geprüft), eineinheitliches Material



#### System:

Länge $l_0 =$	2500,00 mm
$\Theta_1 =$	90,00 °
$\Theta_2 =$	31,00 °
Höhe $h =$	1500,00 mm
Spaltbreite $g =$	20,00 mm

#### Stabkräfte:

$N_{p,Ed} =$	116,67 kN
$N_{0,Ed} =$	200,00 kN
$N_2 =$	97,18 kN
$N_1 =$	50,00 kN Druck

#### Profile:

Riegel:	GEW("EC3_de/R"; ID; )	=	R 114.3x5
$d_0 =$	TAB("EC3_de/R"; d; ID=Riegel)	=	114,30 mm
$t_0 =$	TAB("EC3_de/R"; t; ID=Riegel)	=	5,00 mm $\geq$ 2,5
$A_0 =$	TAB("EC3_de/R"; A; ID=Riegel)	=	17,20 cm <sup>2</sup>
Strebe1:	GEW("EC3_de/R"; ID; )	=	R 60.3x2.9
$d_1 =$	TAB("EC3_de/R"; d; ID=Strebe1)	=	60,30 mm
$t_1 =$	TAB("EC3_de/R"; t; ID=Strebe1)	=	2,90 mm $\geq$ 2,5
$A_1 =$	TAB("EC3_de/R"; A; ID=Strebe1)	=	5,23 cm <sup>2</sup>
$i_1 =$	TAB("EC3_de/R"; i; ID=Strebe1)	=	2,03 cm
Strebe2:	GEW("EC3_de/R"; ID; )	=	R 60.3x2.9
$d_2 =$	TAB("EC3_de/R"; d; ID=Strebe2)	=	60,30 mm
$t_2 =$	TAB("EC3_de/R"; t; ID=Strebe2)	=	2,90 mm $\geq$ 2,5
$A_2 =$	TAB("EC3_de/R"; A; ID=Strebe2)	=	5,23 cm <sup>2</sup>
$i_2 =$	TAB("EC3_de/R"; i; ID=Strebe2)	=	2,03 cm

$$e = \left( \frac{g + \frac{d_1}{2 \cdot \sin(\Theta_1)} + \frac{d_2}{2 \cdot \sin(\Theta_2)}}{\frac{1}{\tan(\Theta_1)} + \frac{1}{\tan(\Theta_2)}} \right) - \frac{d_0}{2} = 8,16 \text{ mm}$$



# Stahlbau nach EN 1993

## Kapitel Fachwerkknoten

DIN  
EN 1993

Seite: 292

### Material / Sicherheitsbeiwerte:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{yk}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon$ =	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	=	1,00
E =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	=	21000,0 kN/cm <sup>2</sup>
$\lambda_1$ =	93,90 * $\varepsilon$	=	93,90
$\gamma_{M0}$ =			1,00
$\gamma_{M1}$ =			1,10
$\gamma_{M5}$ =			1,00

### Einstufung in Querschnittsklasse:

Druckstab  $N_1$ :

$$QK = \text{WENN}(d_1/t_1 \leq 50 * \varepsilon^2; 1; \text{WENN}(d_1/t_1 \leq 70 * \varepsilon^2; 2; \text{WENN}(d_1/t_1 \leq 90 * \varepsilon^2; 3; 4))) = 1$$

### Nachweis der Stäbe:

Druckstab  $N_1$

$$\lambda = 0,75 * \frac{h}{i_1 * 10} = 55,42$$

$$\lambda_{\text{quer}} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = 0,59$$

Knickspannungslinie KHP  $\Rightarrow$  a

Knicklinie  $\alpha =$

$$\Phi = \frac{0,5 * (1 + \alpha * (\lambda_{\text{quer}} - 0,2) + \lambda_{\text{quer}}^2)}{1} = 0,715$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{\text{quer}}^2}}; 1,0 = 0,894$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A_1 * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M1}} = 99,89 \text{ kN}$$

$$\frac{N_1}{N_{b,Rd}} = \underline{\underline{0,50 \leq 1}}$$

Zugstab  $N_2$ :

$$N_{Rd} = A_2 * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = 122,905 \text{ kN}$$

$$\frac{N_2}{N_{Rd}} = \underline{\underline{0,79 \leq 1}}$$

Gurt

$$N_{Ed} = \text{MAX}(N_{0,Ed}; N_{p,Ed}) = 200,000 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = A_0 * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = 404,200 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \underline{\underline{0,49 < 1}}$$



#### Nachweis des Knotens:

##### **Gültigkeitsgrenzen:**

Kontrolle des Geltungsbereichs (EC3-1-8, 7.1.1)

$$2,5 / t_2 = 0,86 \leq 1$$

$$2,5 / t_0 = 0,50 \leq 1$$

$$t_0 / 25 = 0,20 \leq 1$$

Kontrolle des Anwendungsbereichs (EC3-1-8, 7.1.2)

$$QK_{\max} = 2$$

$$QK / QK_{\max} = 0,50 \leq 1$$

$$\Theta = \text{MIN}(\Theta_1; \Theta_2) = 31,00^\circ$$

$$30 / \Theta = 0,97 \leq 1$$

Kontrolle der Gültigkeitsgrenzen Tab. 7.1



##### **Knotenexzentrizitäten:**

$$-0,55 * d_0 = -62,87 \leq e$$

$$0,25 * d_0 = 28,57 \geq e$$

bei Fachwerkträgern nach EC3-1-8, 5.1.5 (3)

$$6 / (l_0 / d_0) = 0,27 \leq 1$$

$$6 / ((h/\text{SIN}(\Theta_1)) / d_1) = 0,24 \leq 1$$

$$6 / ((h/\text{SIN}(\Theta_2)) / d_2) = 0,12 \leq 1$$

⇒ Exzentrizitäten dürfen vernachlässigt werden.



#### Flanschversagen des Gurtstabes - N- Anschluss mit Spalt:

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = 11,43$$

$$k_g = \gamma^{0,2} \cdot \left( 1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + 2,7183 \cdot (0,5 \cdot \gamma / t_0 - 1,33)} \right) = 1,87$$

hier Zug im Gurt:

(hier Zug)  $k_p = 1,00$

Druckstrebe:

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y,k} \cdot (t_0 / 10)^2}{\sin(\Theta_1)} \cdot \left( 1,8 + 10,2 \cdot \frac{d_1}{d_0} \right) \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}} = 78,89 \text{ kN}$$

Zugstrebe:

$$N_{2,Rd} = \frac{\sin(\Theta_1)}{\sin(\Theta_2)} \cdot N_{1,Rd} = 153,17 \text{ kN}$$

$$\frac{N_1}{N_{1,Rd}} = \underline{\underline{0,63 < 1}}$$

$$\frac{N_2}{N_{2,Rd}} = \underline{\underline{0,63 < 1}}$$

#### Durchstanzen des Gurtstabes - N- Anschluss mit Spalt:

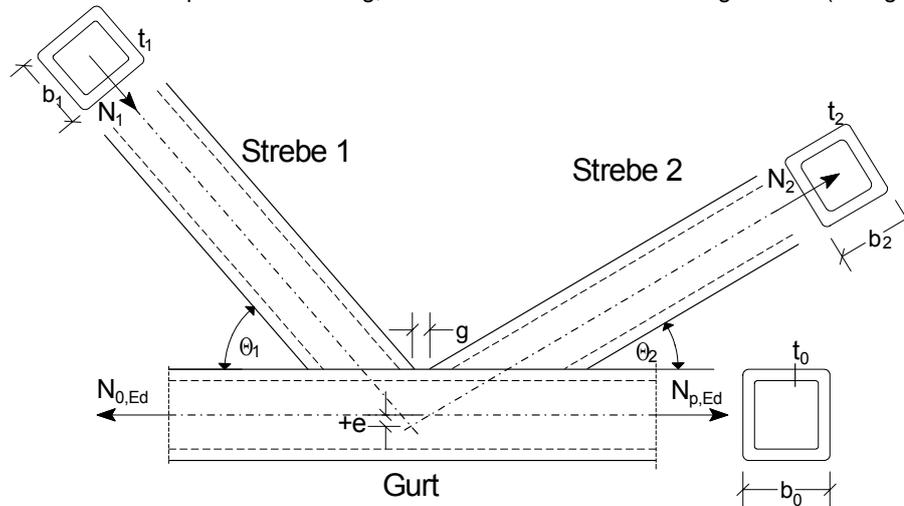
$$\frac{d_1}{d_0 - 2 \cdot t_0} = 0,58 \leq 1$$

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{t_0 \cdot d_1}{100} \cdot \pi \cdot \frac{1 + \sin(\Theta_1)}{2 \cdot \sin(\Theta_1)^2} \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}} = 128,51 \text{ kN}$$

$$N_1 / N_{1,Rd} = \underline{\underline{0,39 < 1}}$$

### Fachwerk aus quadratischen Hohlprofilen

K- bzw. N-Anschluss mit Spalt: Gurt hat Zug, Exzentrizität muß vernachlässigbar sein (wird geprüft), einheitliches Material



#### System:

Gurtfeldlänge $l_0 =$	2500,00 mm
Trägerhöhe $h =$	1500,00 mm
$\Theta_1 =$	53,00 °
$\Theta_2 =$	53,00 °
Spaltbreite $g =$	30,00 mm

#### Stabkräfte:

$N_{p,Ed} =$	298,00 kN
$N_{0,Ed} =$	800,00 kN
$N_2 =$	417,00 kN
$N_1 =$	417,00 kN Druck

#### Profile:

Riegel:	GEW("EC3_de/QRneu"; ID; )	=	QRO 200x10
$b_0 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; b; ID=Riegel)	=	200,00 mm
$t_0 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; t; ID=Riegel)	=	10,00 mm $\geq 2,5$
$A_0 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; A; ID=Riegel)	=	74,90 cm <sup>2</sup>
Profil1:	GEW("EC3_de/QRneu"; ID; )	=	QRO 140x8
$b_1 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; b; ID=Profil1)	=	140,00 mm
$t_1 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; t; ID=Profil1)	=	8,00 mm $\geq 2,5$
$A_1 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; A; ID=Profil1)	=	41,60 cm <sup>2</sup>
$i_1 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; i; ID=Profil1)	=	53,60 mm
$r_o =$	TAB("EC3_de/QRneu"; ro; ID=Profil1)	=	12,00 mm
Profil2:	GEW("EC3_de/QRneu"; ID; )	=	QRO 140x8
$b_2 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; b; ID=Profil2)	=	140,00 mm
$t_2 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; t; ID=Profil2)	=	8,00 mm $\geq 2,5$
$A_2 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; A; ID=Profil2)	=	41,60 cm <sup>2</sup>
$i_2 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; i; ID=Profil2)	=	53,60 mm

$$e = \left( \frac{g + \frac{b_1}{2 \cdot \sin(\Theta_1)} + \frac{b_2}{2 \cdot \sin(\Theta_2)}}{\frac{1}{\tan(\Theta_1)} + \frac{1}{\tan(\Theta_2)}} \right) - \frac{b_0}{2} = 36,22 \text{ mm}$$



#### Material / Sicherheitsbeiwerte:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{y,k}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon$ =	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	=	1,00
E =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	=	21000,0 kN/cm <sup>2</sup>
$\lambda_1$ =	93,90 * $\varepsilon$	=	93,90
$\gamma_{M0}$ =			1,00
$\gamma_{M1}$ =			1,10
$\gamma_{M5}$ =			1,00

#### Einstufung in Querschnittsklasse:

Druckstab $N_1$ :			
c =	$b_1 - 2 * r_o$	=	116,0 mm
QK =	WENN(c/t <sub>1</sub> ≤ 33* $\varepsilon$ ;1;WENN(c/t <sub>1</sub> ≤ 38* $\varepsilon$ ;2;WENN(c/t <sub>1</sub> ≤ 42* $\varepsilon$ ;3;4)))	=	1

#### Nachweis der Stäbe:

Druckstab $N_1$			
$\lambda$ =	$0,75 * \frac{h}{i_1 * 10}$	=	2,10
$\lambda_{\text{quer}}$ =	$\frac{\lambda}{\lambda_1}$	=	0,02
Knickspannungslinie KHP ⇒ a			
Knicklinie $\alpha$ =			0,21
$\Phi$ =	$0,5 * (1 + \alpha * (\lambda_{\text{quer}} - 0,2) + \lambda_{\text{quer}}^2)$	=	0,481
$\chi$ =	$\text{MIN}\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{\text{quer}}^2}}; 1,0\right)$	=	1,000
$N_{b,Rd}$ =	$\chi * A_1 * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M1}}$	=	888,73 kN
$\frac{N_1}{N_{b,Rd}}$		=	<u>0,47 ≤ 1</u>
Zugstab $N_2$ :			
$N_{Rd}$ =	$A_2 * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}}$	=	977,600 kN
$\frac{N_2}{N_{Rd}}$		=	<u>0,43 ≤ 1</u>
Gurt			
$N_{Ed}$ =	MAX( $N_{0,Ed}$ ; $N_{p,Ed}$ )	=	800,000 kN
$N_{Rd}$ =	$A_0 * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}}$	=	1760,150 kN
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$		=	<u>0,45 &lt; 1</u>



#### Nachweis des Knotens:

##### Gültigkeitsgrenzen:

Kontrolle des Geltungsbereichs (EC3-1-8, 7.1.1)

$$2,5 / t_2 = 0,31 \leq 1$$

$$2,5 / t_0 = 0,25 \leq 1$$

$$t_0 / 25 = 0,40 \leq 1$$

Kontrolle des Anwendungsbereichs (EC3-1-8, 7.1.2)

$$QK_{\max} = 2$$

$$QK / QK_{\max} = 0,50 \leq 1$$

$$\Theta = \text{MIN}(\Theta_1; \Theta_2) = 53,00^\circ$$

$$30 / \Theta = 0,57 \leq 1$$

EC3-1-8, Tab. 7.8 für K-oder N-Anschluss mit Spalt:



##### Knotenexzentrizitäten:

$$-0,55 * b_0 = -110,00 \leq e$$

$$0,25 * b_0 = 50,00 \geq e$$

bei Fachwerkträgern nach EC3-1-8, 5.1.5 (3)

$$6 / (l_0 / b_0) = 0,48 \leq 1$$

$$6 / ((h/\text{SIN}(\Theta_1)) / b_1) = 0,45 \leq 1$$

$$6 / ((h/\text{SIN}(\Theta_2)) / b_2) = 0,45 \leq 1$$

⇒ Exzentrizitäten dürfen vernachlässigt werden.

#### Flanschversagen des Gurtstabes K- und N- Anschluss mit Spalt:

$$\gamma = \frac{b_0}{2 * t_0} = 10,00$$

$$k_n = 1,00 \text{ (Zug)}$$

Nachweis der Druckstrebe (i = 1):

$$N_{1,Rd} = \frac{8,9 * \gamma^{0,5} * k_n * f_{y,k} * (t_0 / 10)^2}{\sin(\Theta_1)} * \left( \frac{b_1 + b_2}{2 * b_0} \right) * \frac{1}{\gamma_{M5}} = 579,71 \text{ kN}$$

$$N_1 / N_{1,Rd} = \underline{0,72 < 1}$$

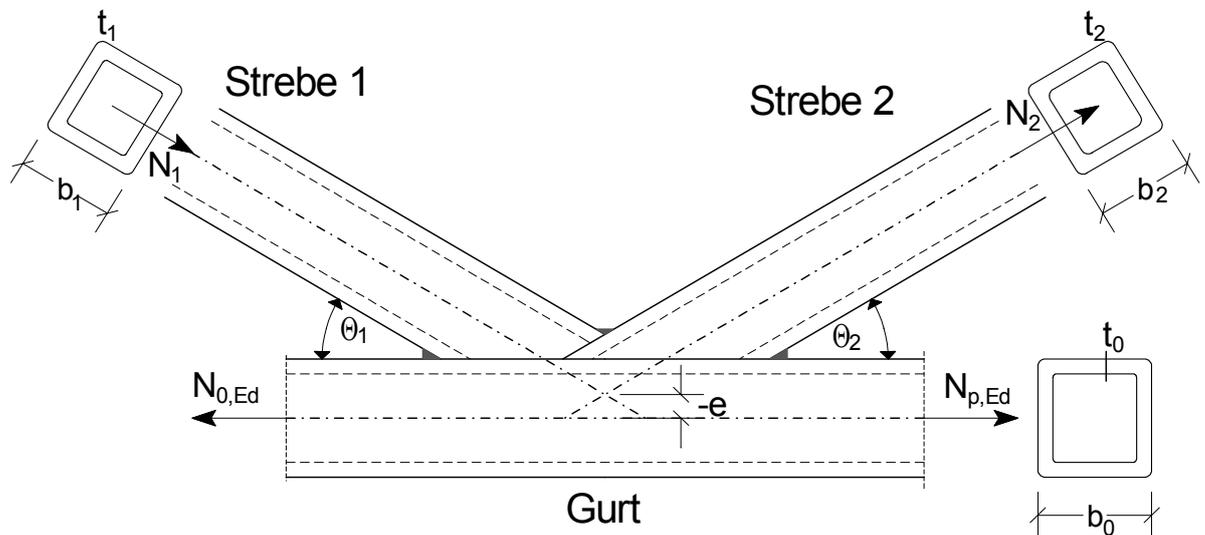
Nachweis der Zugsrebe (i = 2):

$$N_{2,Rd} = \frac{8,9 * \gamma^{0,5} * k_n * f_{y,k} * (t_0 / 10)^2}{\sin(\Theta_2)} * \left( \frac{b_1 + b_2}{2 * b_0} \right) * \frac{1}{\gamma_{M5}} = 579,71 \text{ kN}$$

$$N_2 / N_{2,Rd} = \underline{0,72 < 1}$$

### Fachwerkknoten aus quadratischen Hohlprofilen (überlappt)

Anschluss mit Überlappung: überlappende Strebe 1 (Druck) und überlappte Strebe 2 und Gurt (Zug); einheitliches Material ( $f_y$ ), Exzentrizität vernachlässigbar (wird geprüft), Geometrie der Überlappung muß bestimmt werden.



#### System:

Strebenlänge $l_1 =$	2000,0 mm
Überlappungsgrad $\lambda_{ov} =$	40,0 % $\geq 25$
$\Theta_1 =$	50,00 °
$\Theta_2 =$	50,00 °
Exzentrizität $e =$	-20,00 mm
$\lambda_{ov,lim} =$	60 %

#### Stabkräfte:

$N_{p,Ed} =$	150,00 kN
$N_{0,Ed} =$	250,00 kN
$N_2 =$	77,80 kN
$N_1 =$	77,80 kN Druck

Riegel:	GEW("EC3_de/QRneu"; ID; )	=	QRO 100x4
$b_0 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; b; ID=Riegel)	=	100,00 mm
$t_0 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; t; ID=Riegel)	=	4,00 mm $\geq 2,5$
$A_0 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; A; ID=Riegel)	=	15,20 cm <sup>2</sup>
Profil1:	GEW("EC3_de/QRneu"; ID; )	=	QRO 60x3.2
$b_1 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; b; ID=Profil1)	=	60,00 mm
$t_1 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; t; ID=Profil1)	=	3,20 mm $\geq 2,5$
$A_1 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; A; ID=Profil1)	=	7,16 cm <sup>2</sup>
$i_1 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; i; ID=Profil1)	=	23,10 mm
$r_0 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; ro; ID=Profil1)	=	4,80 mm
Profil2:	GEW("EC3_de/QRneu"; ID; )	=	QRO 80x3.2
$b_2 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; b; ID=Profil2)	=	80,00 mm
$t_2 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; t; ID=Profil2)	=	3,20 mm $\geq 2,5$
$A_2 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; A; ID=Profil2)	=	9,72 cm <sup>2</sup>
$i_2 =$	TAB("EC3_de/QRneu"; i; ID=Profil2)	=	31,30 mm

**Material:**

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$f_{y,k}$ =	TAB("EC3_de/mat"; $f_{y,k}$ ; ID=Stahl)/10	=	23,5 kN/cm <sup>2</sup>
$\varepsilon$ =	$\sqrt{\frac{23,5}{f_{y,k}}}$	=	1,00
E =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	=	21000,0 kN/cm <sup>2</sup>
$\lambda_1$ =	93,90 * $\varepsilon$	=	93,90
$\gamma_{M0}$ =			1,00
$\gamma_{M1}$ =			1,10
$\gamma_{M5}$ =			1,00

**Einstufung in Querschnittsklasse:**maßgebend Druckstab  $N_1$ :

c =	$b_1 - 2 * r_o$	=	50,4 mm
QK =	WENN(c/t <sub>1</sub> ≤ 33* $\varepsilon$ ; 1; WENN(c/t <sub>1</sub> ≤ 38* $\varepsilon$ ; 2; WENN(c/t <sub>1</sub> ≤ 42* $\varepsilon$ ; 3; 4)))	=	1

**Nachweis der Stäbe:**Druckstab  $N_1$ 

$$\lambda = 0,75 * \frac{l_1}{i_1} = 64,94$$

$$\lambda_{\text{quer}} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = 0,69$$

Knickspannungslinie QHP  $\Rightarrow$  aKnicklinie  $\alpha$  =

$$\Phi = 0,5 * (1 + \alpha * (\lambda_{\text{quer}} - 0,2) + \lambda_{\text{quer}}^2) = 0,789$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{\text{quer}}^2}}; 1,0) = 0,853$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A_1 * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M1}} = 130,48 \text{ kN}$$

$$\frac{N_1}{N_{b,Rd}} = \underline{\underline{0,60 \leq 1}}$$

Zugstab  $N_2$ :

$$N_{Rd} = A_2 * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = 228,420 \text{ kN}$$

$$\frac{N_2}{N_{Rd}} = \underline{\underline{0,34 \leq 1}}$$

Gurt

$$N_{Ed} = \text{MAX}(N_{0,Ed}; N_{p,Ed}) = 250,000 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = A_0 * \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = 357,200 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \underline{\underline{0,70 < 1}}$$



### Nachweis des Knotens:

#### Gültigkeitsgrenzen:

Kontrolle des Geltungsbereichs (EC3-1-8, 7.1.1)

$$2,5 / \text{MIN}(t_1; t_2; t_0) = 0,78 \leq 1$$

$$t_0 / 25 = 0,16 \leq 1$$

Kontrolle des Anwendungsbereichs (EC3-1-8, 7.1.2)



### Ermittlung der Beanspruchbarkeit (Versagen der Strebe):

Nur die überlappende Strebe (also 1) braucht nachgewiesen zu werden, EC3-1-8, Tab 7.10:

$$b_{\text{eff}} = \text{MIN}\left(\frac{10}{b_0/t_0} * \frac{t_0}{t_1} * b_1; b_1\right) = 30,00 \text{ mm}$$

$$b_{\text{e,ov}} = \text{MIN}\left(\frac{10}{b_2/t_2} * \frac{t_2}{t_1} * b_1; b_1\right) = 24,00 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{b_1 + b_2 + b_1 + b_2}{4 * b_0} = 0,700$$

$$k_n = \frac{25}{25} = 1,00 \text{ (Zug)}$$

$$\lambda_{\text{ov}} = \frac{\lambda_{\text{ov}}}{50} = \underline{0,63 < 1}$$

$$\frac{\lambda_{\text{ov}}}{50} = \underline{0,80 < 1}$$

Grenzstrebenkraft

$$h_1 = b_1 = 60,000 \text{ mm}$$

$$N_{11, \text{Rd}} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M5}} * \frac{t_1}{10} * \left( b_{\text{eff}} + b_{\text{e,ov}} + 2 * h_1 * \frac{\lambda_{\text{ov}}}{50} - 4 * t_1 \right) * 10^{-1} = 103,2 \text{ kN}$$

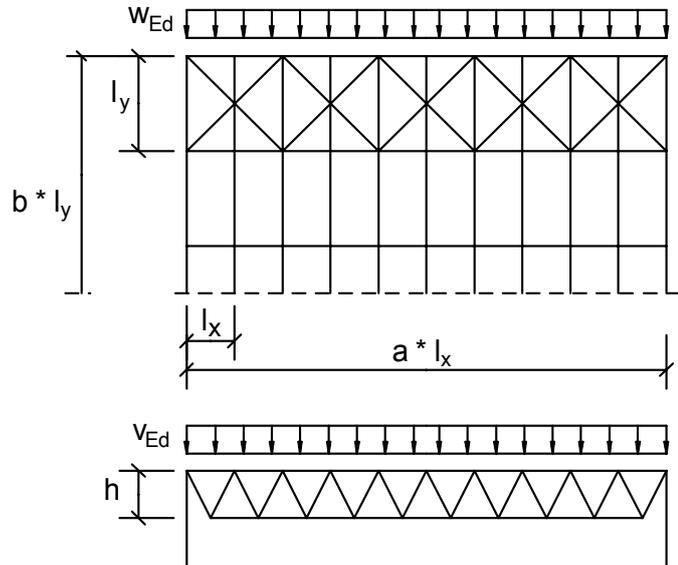
$$N_{12, \text{Rd}} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M5}} * \frac{t_1}{10} * ( b_{\text{eff}} + b_{\text{e,ov}} + 2 * h_1 - 4 * t_1 ) * 10^{-1} = 121,2 \text{ kN}$$

$$N_{13, \text{Rd}} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M5}} * \frac{t_1}{10} * ( b_1 + b_{\text{e,ov}} + 2 * h_1 - 4 * t_1 ) * 10^{-1} = 143,8 \text{ kN}$$

$$N_{1, \text{Rd}} = \text{WENN}(25 \leq \lambda_{\text{ov}} \text{ UND } \lambda_{\text{ov}} < 50; N_{11, \text{Rd}}; \text{WENN}(\lambda_{\text{ov}} \geq 80; N_{13, \text{Rd}}; N_{12, \text{Rd}})) = 103,2 \text{ kN}$$

$$\frac{N_1}{N_{1, \text{Rd}}} = \underline{0,75 < 1}$$

### Dachverband



#### System:

Feldbreite $l_x =$	3,00 m
Feldlänge $l_y =$	5,00 m
Feldanzahl in x-Richtung $a =$	10
Feldanzahl in y-Richtung $b =$	10
Gesamthöhe Träger $h =$	2,00 m

#### Gurträger:

Profilreihe Typ =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	HEA
Gewähltes Profil ID =	GEW("EC3_de/Typ; ID; )	=	HEA 140
Fläche $A =$	TAB("EC3_de/Typ; A; ID=ID;)	=	31,40 cm <sup>2</sup>

#### Material und Sicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} =$		=	1,00
$\gamma_{M2} =$		=	1,25
Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID; )	=	S 235
$E =$	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	=	21000 kN/cm <sup>2</sup>

#### Belastung:

horizontale Last $w_{Ed} =$	2,00 kN/m
vertikale Last $v_{Ed} =$	5,00 kN/m

#### Ermittlung der horizontalen Bemessungskraft:

$$M_{Ed} = v_{Ed} * \frac{(a * l_x)^2}{8} = 562,50 \text{ kNm}$$

Druckkraft des oberen Fachwerkträgers:

$$N_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{h} = 281,25 \text{ kN}$$

Gesamte Stabilisierungskraft pro Verband (bei 2 Dachverbänden):

$$N_{ges} = \frac{b + 1}{2} * N_{Ed} = 1546,88 \text{ kN}$$

Imperfektion:

$$m = b = 10,00$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * (1 + 1/m)} = 0,74$$

$$e_0 = \frac{\alpha_m * l_x * 10 * a}{5} = 44,40 \text{ mm}$$



**Vereinfacht, Ersatz des Einflusses der Vorkrümmung der durch das aussteifende System stabilisierten Bauteile durch äquivalente stabilisierende Ersatzkräfte nach EC3-1-1, Bild 5.6:**

Annahme, dass  $\delta_q \leq l / 2500$ :

$$\delta_{q,\max} = a \cdot \frac{l_x}{25} = 1,20 \text{ cm}$$

$$q = \frac{N_{\text{ges}}}{(a \cdot l_x)^2} \cdot 8 \cdot \left( \frac{e_0}{10} + \delta_{q,\max} \right) \cdot 10^{-2} = 0,78 \text{ kN/m}$$

$$h_{\text{Ed}} = w_{\text{Ed}} + q = \underline{\underline{2,78 \text{ kN/m}}}$$

#### Ermittlung der Verformung $\delta_q$ :

$$E'_{\text{eff}} = 0,5 \cdot E \cdot A \cdot I_y^2 \cdot 10^4 = 8,24 \cdot 10^{10} \text{ kNcm}^2$$

Verformung in Verbandmitte:

$$\delta_{q1} = \frac{5}{384} \cdot h_{\text{Ed}} \cdot \frac{(a \cdot l_x)^4}{E'_{\text{eff}} \cdot 10^{-6}} = 0,36 \text{ cm}$$

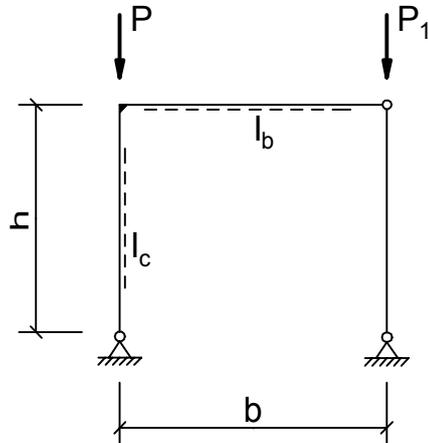
$$\frac{\delta_{q1}}{\delta_{q,\max}} = \underline{\underline{0,30 < 1}}$$

Die Annahme, mit  $\delta_q \leq l/2500$  liegt somit auf der sicheren Seite.

Es kann mit  $h_{\text{Ed}}$  weitergerechnet werden.

## Kapitel Knickbeiwerte

### Gelenkrahmen mit Pendelstütze



#### System:

Rahmenhöhe $h =$	6000,00 mm
Rahmenbreite $b =$	5000,00 mm
Normalkraft $P =$	100,00 kN
Normalkraft $P_1 =$	300,00 kN

#### Stahlprofil:

Stiel:		
Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile";ID;)	= HEA
Profil Typ <sub>c</sub> =	GEW("EC3_de/Typ1; ID;)	= HEA 300
$I_{y,c} =$	TAB("EC3_de/Typ1;I <sub>y</sub> ; ID=Typ <sub>c</sub> ;) )	= 18260 cm <sup>4</sup>
Riegel:		
Typ2 =	GEW("EC3_de/Profile";ID;)	= HEA
Profil Typ <sub>b</sub> =	GEW("EC3_de/Typ1; ID;)	= HEA 300
$I_{y,b} =$	TAB("EC3_de/Typ2;I <sub>y</sub> ; ID=Typ <sub>b</sub> ;) )	= 18260 cm <sup>4</sup>

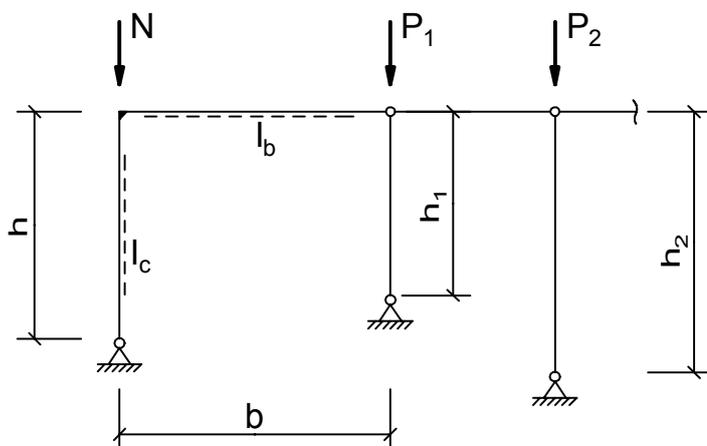
#### Knickbeiwert $\beta$ und Knicklänge:

$c =$	$\frac{I_{y,c} \cdot b}{I_{y,b} \cdot h}$	= 0,833
$v =$	$\frac{1}{1+c}$	= 0,546
$n =$	$\frac{P_1}{P}$	= 3,000
$\eta_{Ki} =$	$\frac{3 \cdot v}{0,216 \cdot v^2 + 1 + n}$	= 0,403
$\beta =$	$\frac{\pi}{\sqrt{\eta_{Ki}}}$	= 4,949
$L_{cr} =$	$\beta \cdot h$	= 29694 mm

#### ideale Verzweigungslast:

$N_{cr} =$	$\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y,c}}{(L_{cr}/10)^2}$	= 429,22 kN
------------	---	-------------

### Gelenkrahmen mit n Pendelstützen



#### System:

Rahmenhöhe h =	6000,00 mm
Rahmenbreite b =	5000,00 mm
Normalkraft N =	100,00 kN
Normalkraft P =	300,00 kN

#### Stahlprofil:

Stiel:		
Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile";ID;)	= HEA
Profil Typ <sub>c</sub> =	GEW("EC3_de/Typ1; ID;)	= HEA 300
I <sub>y,c</sub> =	TAB("EC3_de/Typ1;I <sub>y</sub> ; ID=Typ <sub>c</sub> ;) )	= 18260 cm <sup>4</sup>
Riegel:		
Typ2 =	GEW("EC3_de/Profile";ID;)	= HEA
Profil Typ <sub>b</sub> =	GEW("EC3_de/Typ1; ID;)	= HEA 300
I <sub>y,b</sub> =	TAB("EC3_de/Typ2;I <sub>y</sub> ; ID=Typ <sub>b</sub> ;) )	= 18260 cm <sup>4</sup>

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	= S 235
E =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	= 21000 kN/cm <sup>2</sup>

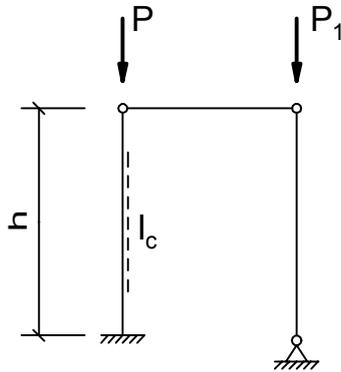
#### Knickbeiwert $\beta$ und Knicklänge:

c =	$\frac{I_{y,c} \cdot b}{I_{y,b} \cdot h}$	= 0,833
v =	$\frac{1}{1+c}$	= 0,546
n =	$\frac{P}{N}$	= 3,000
$\eta_{Ki}$ =	$\frac{3 \cdot v}{0,216 \cdot v^2 + 1 + n}$	= 0,403
$\beta$ =	$\frac{\pi}{\sqrt{\eta_{Ki}}}$	= 4,949
L <sub>cr</sub> =	$\beta \cdot h$	= 29694 mm

#### ideale Verzweigungslast:

N <sub>cr</sub> =	$\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y,c}}{(L_{cr}/10)^2}$	= 429,22 kN
-------------------	---	-------------

### Kragstütze mit Pendelstütze



#### System:

Rahmenhöhe h =	6000,00 mm
Normalkraft P =	100,00 kN
Normalkraft P <sub>1</sub> =	300,00 kN

#### Stahlprofil:

Stiel =		=	HEA
Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile"; ID;)	=	HEA 300
Profil Typ =	GEW("EC3_de/Typ1; ID;)	=	18260 cm <sup>4</sup>
I <sub>y,c</sub> =	TAB("EC3_de/Typ1; I <sub>y</sub> ; ID=Typ;)	=	

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	=	S 235
E =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	=	21000 kN/cm <sup>2</sup>

#### Knickbeiwert β und Knicklänge:

$$n = \frac{P_1}{P} = 3,000$$

$$\beta = \pi \cdot \sqrt{\frac{5 + 4 \cdot n}{12}} = 3,739$$

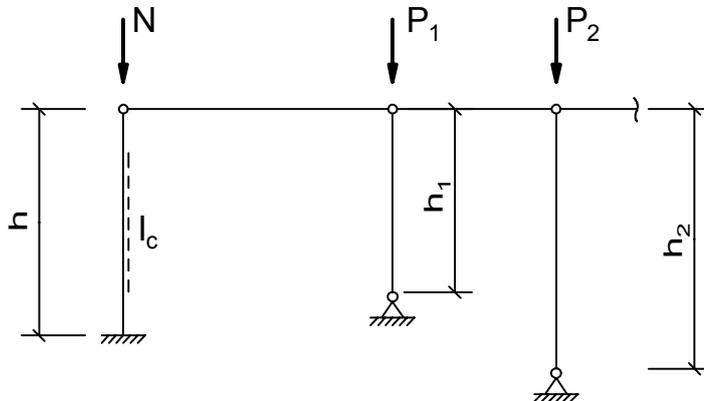
Für die Pendelstütze gilt:  $\beta = 1,0$

$$L_{cr} = \beta \cdot h = 22434 \text{ mm}$$

#### ideale Verzweigungslast:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y,c}}{(L_{cr}/10)^2} = 751,98 \text{ kN}$$

### Kragstütze mit n Pendelstützen



#### System:

Rahmenhöhe h =	6000,00 mm
Normalkraft N =	100,00 kN
Normalkraft P =	300,00 kN

#### Stahlprofil:

Stiel:		=	HEA
Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile";ID;)	=	HEA 300
Profil Typ =	GEW("EC3_de/Typ1; ID;)	=	18260 cm <sup>4</sup>
I <sub>y,c</sub> =	TAB("EC3_de/Typ1;I <sub>y</sub> ; ID=Typ;)	=	

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	=	S 235
E =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	=	21000 kN/cm <sup>2</sup>

#### Knickbeiwert $\beta$ und Knicklänge:

$$n = \frac{P}{N} = 3,000$$

$$\beta = \pi \cdot \sqrt{\frac{5 + 4 \cdot n}{12}} = 3,739$$

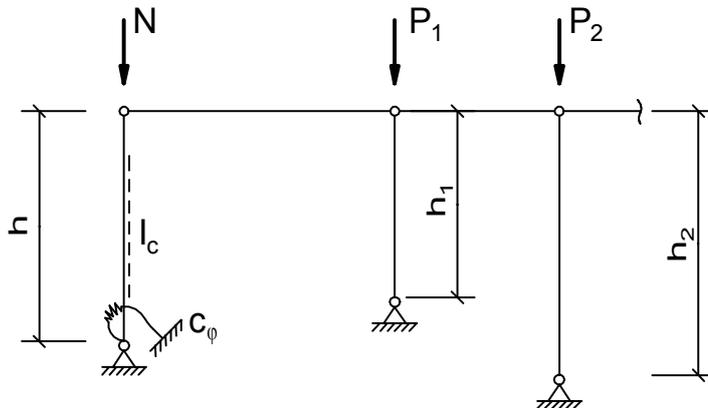
Für alle Pendelstützen gilt:  $\beta = 1,0$

$$L_{cr} = \beta \cdot h = 22434 \text{ mm}$$

#### ideale Verzweigungslast:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y,c}}{(L_{cr}/10)^2} = 751,98 \text{ kN}$$

### Elastisch eingespannter Stab mit n Pendelstützen



#### System:

Rahmenhöhe h =	6000,00 mm
Normalkraft N =	160,00 kN
Normalkraft P =	90,00 kN
Drehfeder $c_\phi$ =	40000,00 kNm/rad

#### Stahlprofil:

Stiel:		
Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile";ID;)	= HEA
Profil Typ =	GEW("EC3_de/"Typ1; ID;)	= HEA 260
$I_{y,c}$ =	TAB("EC3_de/"Typ1;I_y; ID=Typ;)	= 10450 cm <sup>4</sup>

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	= S 235
E =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	= 21000 kN/cm <sup>2</sup>

#### Knickbeiwert $\beta$ und Knicklänge:

$$c = \frac{E \cdot I_{y,c}}{c_\phi \cdot h \cdot 10} = 0,091$$

$$v = \frac{1}{3 \cdot c + 1} = 0,786$$

$$n = \frac{P}{N} = 0,563$$

$$\eta_{Ki} = \frac{3 \cdot v}{0,216 \cdot v^2 + 1 + n} = 1,390$$

$$\beta = \frac{\pi}{\sqrt{\eta_{Ki}}} = 2,665$$

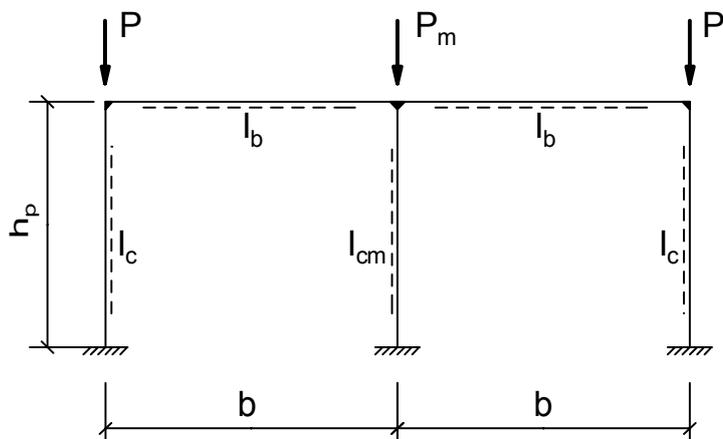
$$L_{cr} = \beta \cdot h = 15990 \text{ mm}$$

#### ideale Verzweigungslast:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y,c}}{(L_{cr} / 10)^2} = 847,11 \text{ kN}$$



### Zweischiffiger Rahmen eingespannt



#### System:

Rahmenhöhe h =	7500,00 mm
Rahmenbreite b =	12000,00 mm
Normalkraft P =	1200,00 kN
Normalkraft P <sub>m</sub> =	2400,00 kN

#### Stahlprofil:



Software zur Dokumentation und Berechnung

# cmaster

Urheberrechtlich geschütztes Material. Für die kostenfreie Ansicht wurde an dieser Stelle ein Bereich entfernt.

#### Knickbeiwert $\beta$ und Knicklänge:

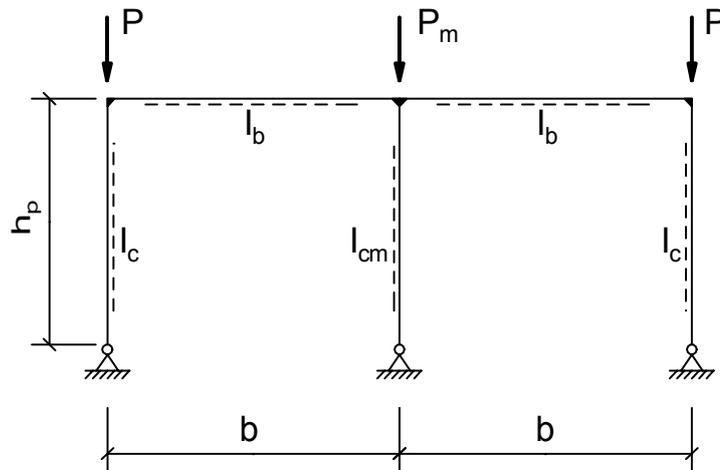
$c =$	$\frac{l_{y,c} \cdot b}{l_{y,b} \cdot h}$	$=$	0,836
$p =$	$\frac{P_m}{P}$	$=$	2,000
$t =$	$\frac{l_{y,cm}}{l_{y,c}}$	$=$	1,000
$\beta =$	$\frac{1 + 0,4 \cdot c}{1 + 0,2 \cdot c} \cdot \sqrt{\frac{2 + p}{2 + t}}$	$=$	1,320 < 3,0
$\beta_m =$	$\beta \cdot \sqrt{\frac{t}{p}}$	$=$	0,933
$L_{cr} =$	$\beta \cdot h$	$=$	9900 mm
$L_{cr,m} =$	$\beta_m \cdot h$	$=$	6998 mm

### ideale Verzweigungslasten:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I_{y,c}}{(L_{cr}/10)^2} = 5322,69 \text{ kN}$$

$$N_{cr,m} = \frac{\pi^2 * E * I_{y,cm}}{(L_{cr,m}/10)^2} = 10652,55 \text{ kN}$$

### Zweischiffiger Rahmen gelenkig



### System:

Rahmenhöhe h =	7500,00 mm
Rahmenbreite b =	12000,00 mm
Normalkraft P =	1200,00 kN
Normalkraft P <sub>m</sub> =	2400,00 kN

### Stahlprofil:

Stütze außen:		
Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile";ID;)	= HEB
Profil Typ <sub>c</sub> =	GEW("EC3_de/Typ1; ID;)	= HEB 280
I <sub>y,c</sub> =	TAB("EC3_de/Typ1;I <sub>y</sub> ; ID=Typ <sub>c</sub> ;) )	= 19270 cm <sup>4</sup>
Stütze innen:		
Typ2 =	GEW("EC3_de/Profile";ID;)	= HEB
Profil Typ <sub>cm</sub> =	GEW("EC3_de/Typ2; ID;)	= HEB 450
I <sub>y,cm</sub> =	TAB("EC3_de/Typ2;I <sub>y</sub> ; ID=Typ <sub>cm</sub> ;) )	= 79890 cm <sup>4</sup>
Riegel:		
Typ3 =	GEW("EC3_de/Profile";ID;)	= IPE
Profil Typ <sub>b</sub> =	GEW("EC3_de/Typ3; ID;)	= IPE 500
I <sub>y,b</sub> =	TAB("EC3_de/Typ3;I <sub>y</sub> ; ID=Typ <sub>b</sub> ;) )	= 48200 cm <sup>4</sup>

### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	= S 235
E =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	= 21000 kN/cm <sup>2</sup>



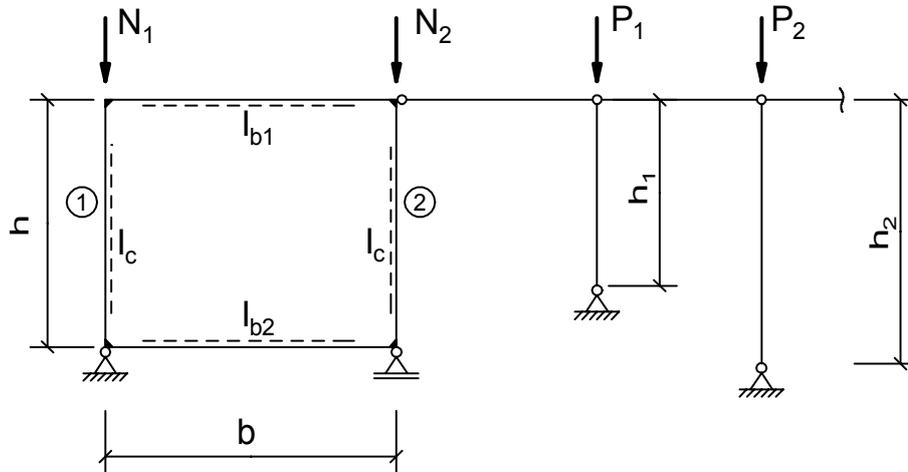
#### Knickbeiwert $\beta$ und Knicklänge:

$$c = \frac{I_{y,c} \cdot b}{I_{y,b} \cdot h} = 0,640$$
$$p = \frac{P_m}{P} = 2,000$$
$$t = \frac{I_{y,cm}}{I_{y,c}} = 4,146$$
$$\beta = \frac{6 + 1,2 \cdot c}{3 + 0,1 \cdot c} \cdot \sqrt{\frac{2+p}{2+t}} = 1,782 < 6,0$$
$$\beta_m = \beta \cdot \sqrt{\frac{t}{p}} = 2,566$$
$$L_{cr} = \beta \cdot h = 13365 \text{ mm}$$
$$L_{cr,m} = \beta_m \cdot h = 19245 \text{ mm}$$

#### ideale Verzweigungslasten:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y,c}}{(L_{cr}/10)^2} = 2235,95 \text{ kN}$$
$$N_{cr,m} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y,cm}}{(L_{cr,m}/10)^2} = 4470,69 \text{ kN}$$

### Geschlossener Rahmen mit n Pendelstützen



#### System:

Rahmenhöhe $h =$	6000,00 mm
Rahmenbreite $b =$	8000,00 mm
Normalkraft $N_1 =$	1500,00 kN
Normalkraft $N_2 =$	1200,00 kN
Normalkraft $P =$	2500,00 kN

#### Stahlprofil:

Stiel:		
Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile";ID;)	= HEA
Profil Typ <sub>c</sub> =	GEW("EC3_de/"Typ1; ID;)	= HEA 320
$I_{y,c} =$	TAB("EC3_de/"Typ1;I <sub>y</sub> ; ID=Typ <sub>c</sub> ;) )	= 22930 cm <sup>4</sup>
Riegel oben:		
Typ2 =	GEW("EC3_de/Profile";ID;)	= HEA
Profil Typ <sub>b1</sub> =	GEW("EC3_de/"Typ2; ID;)	= HEA 340
$I_{y,b1} =$	TAB("EC3_de/"Typ2;I <sub>y</sub> ; ID=Typ <sub>b1</sub> ;) )	= 27690 cm <sup>4</sup>
Riegel unten:		
Typ3 =	GEW("EC3_de/Profile";ID;)	= HEA
Profil Typ <sub>b2</sub> =	GEW("EC3_de/"Typ3; ID;)	= HEA 280
$I_{y,b2} =$	TAB("EC3_de/"Typ3;I <sub>y</sub> ; ID=Typ <sub>b2</sub> ;) )	= 13670 cm <sup>4</sup>

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	= S 235
E =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	= 21000 kN/cm <sup>2</sup>



#### Knickbeiwert $\beta$ und Knicklänge:

$$N = N_1 + N_2 = 2700,00 \text{ kN}$$

$$n = \frac{P}{N} = 0,926$$

$$n_1 = \frac{N}{N_1} = 1,800$$

$$n_2 = \frac{N}{N_2} = 2,250$$

$$v_a = \frac{6 \cdot \frac{l_{y,b2} \cdot h}{l_{y,c} \cdot b}}{6 \cdot \frac{l_{y,b2} \cdot h}{l_{y,c} \cdot b}} = 2,683$$

$$v_b = \frac{6 \cdot \frac{l_{y,b1} \cdot h}{l_{y,c} \cdot b}}{6 \cdot \frac{l_{y,b1} \cdot h}{l_{y,c} \cdot b}} = 5,434$$

$$\vartheta_a = \frac{v_a}{2 + v_a} = 0,573$$

$$\vartheta_b = \frac{v_b}{2 + v_b} = 0,731$$

$$\rho = \frac{1 + 0,218 \cdot \frac{4 \cdot (\vartheta_a - \vartheta_b)^2 + \vartheta_a \cdot \vartheta_b}{(3 - \vartheta_a - \vartheta_b)^2}}{4} = 1,039$$

$$\eta_{Ki} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\vartheta_a + \vartheta_b} - \frac{1}{3}\right) \cdot (\rho + n)} = 4,695$$

$$\beta_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{n_1}{\eta_{Ki}}} = 1,945$$

$$\beta_2 = \pi \cdot \sqrt{\frac{n_2}{\eta_{Ki}}} = 2,175$$

$$L_{cr,1} = \beta_1 \cdot h = 11670 \text{ mm}$$

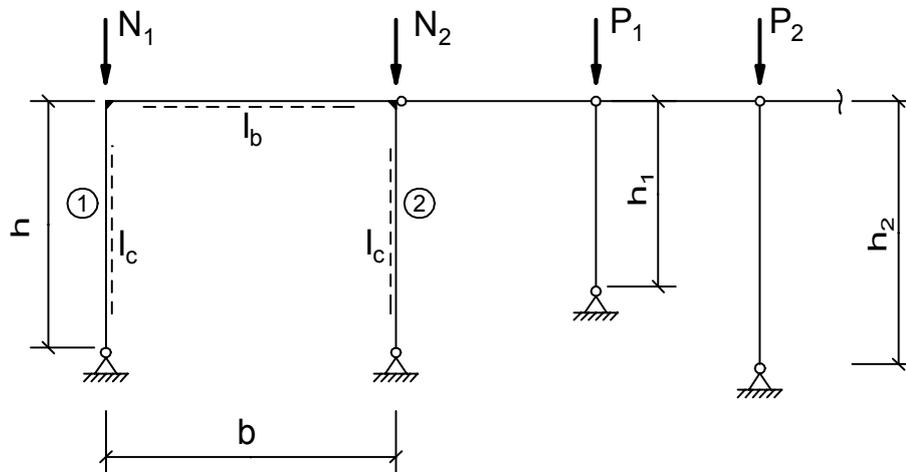
$$L_{cr,2} = \beta_2 \cdot h = 13050 \text{ mm}$$

#### ideale Verzweigungslasten:

$$N_{cr,1} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y,c}}{(L_{cr,1} / 10)^2} = 3489,64 \text{ kN}$$

$$N_{cr,2} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y,c}}{(L_{cr,2} / 10)^2} = 2790,62 \text{ kN}$$

### Zweigelenrahmen mit n Pendelstützen



#### System:

Rahmenhöhe $h =$	7500,00 mm
Rahmenbreite $b =$	12000,00 mm
Normalkraft $N_1 =$	100,00 kN
Normalkraft $N_2 =$	150,00 kN
Normalkraft $P =$	210,00 kN

#### Stahlprofil:

Stiel:		
Typ1 =	GEW("EC3_de/Profile";ID;)	= HEA
Profil Typ <sub>c</sub> =	GEW("EC3_de"/"Typ1; ID;)	= HEA 220
$I_{y,c} =$	TAB("EC3_de"/"Typ1; $I_y$ ; ID=Typ <sub>c</sub> ;) )	= 5410 cm <sup>4</sup>
Riegel:		
Typ2 =	GEW("EC3_de/Profile";ID;)	= IPE
Profil Typ <sub>b</sub> =	GEW("EC3_de"/"Typ2; ID;)	= IPE 300
$I_{y,b} =$	TAB("EC3_de"/"Typ2; $I_y$ ; ID=Typ <sub>b</sub> ;) )	= 8360 cm <sup>4</sup>

#### Material:

Stahl =	GEW("EC3_de/mat"; ID;)	= S 235
E =	TAB("EC3_de/mat"; E; ID=Stahl)/10	= 21000 kN/cm <sup>2</sup>



#### Knickbeiwert $\beta$ und Knicklänge:

$$c = \frac{I_{y,c} \cdot b}{I_{y,b} \cdot h} = 1,035$$

$$v = \frac{2}{2+c} = 0,659$$

$$n_1 = \frac{P}{N_1} = 2,100$$

$$n_2 = \frac{N_2}{N_1} = 1,500$$

$$\eta_{Ki} = \frac{6 \cdot v}{(0,216 \cdot v^2 + 1) \cdot (1 + n_2) + n_1} = 0,818$$

$$\beta_1 = \frac{\pi}{\sqrt{\eta_{Ki}}} = 3,474$$

$$\beta_2 = \frac{\pi}{\sqrt{\eta_{Ki} \cdot n_2}} = 2,836$$

$$L_{cr,1} = \beta_1 \cdot h = 26055 \text{ mm}$$

$$L_{cr,2} = \beta_2 \cdot h = 21270 \text{ mm}$$

#### ideale Verzweigungslasten:

$$N_{cr,1} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y,c}}{(L_{cr,1} / 10)^2} = 165,17 \text{ kN}$$

$$N_{cr,2} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{y,c}}{(L_{cr,2} / 10)^2} = 247,85 \text{ kN}$$