

Stahlbau II - SS 2016

7. Vorlesung / Übung

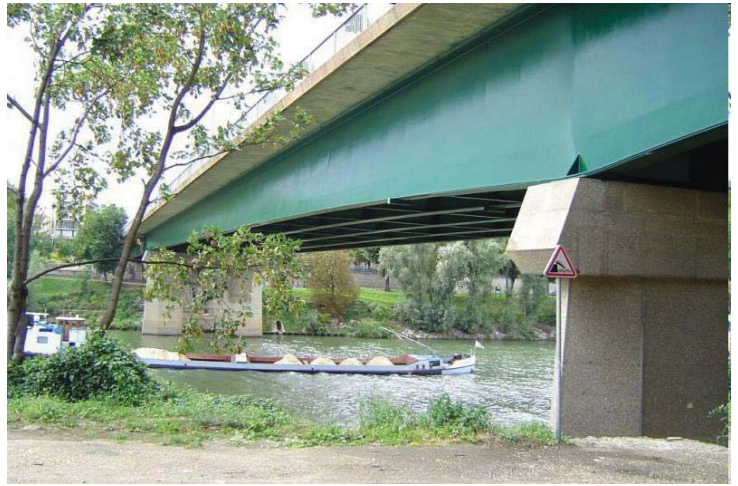
Daniel Pak

09.06.2016



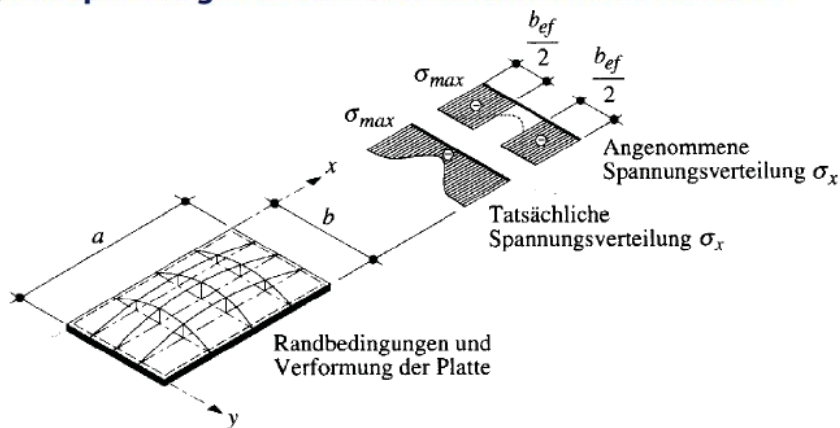
Terminübersicht und Übungsinhalte

Termin	Thema	Inhalt
14.04.2016	Hallenbau	Tragwerksentwurf, Detaillösungen
21.04.2016	Hallenbau	Tragwerksentwurf, Detaillösungen
28.04.2016	Stabilität	Theorie 2. Ordnung
19.05.2016	Stabilität	Theorie 2. Ordnung, Verbände und Aussteifungen
02.06.2016	Stabilität	Biegeknicken von Stabtragwerken, Rahmen Biegedrillknicken
09.06.2016	Sonderfragen der Bemessung	Örtliche Lasteinleitung / Rahmenecken
16.06.2016	Ermüdung	Grundlagen, Anwendungsverfahren, Berechnungsbeispiele
23.06.2016	Ermüdung	Anwendungsverfahren, Berechnungsbeispiele
30.06.2016	Schweißverfahren	Vertiefte Kenntnisse des Schweißens
07.07.2016 / 14.07.2016 21.07.2016	Ausweichtermin bzw. Fragen zur Klausur	

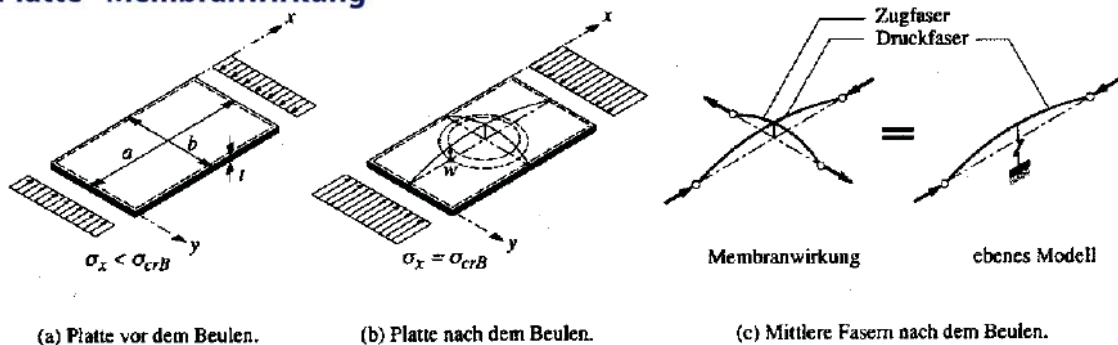


Plattenbeulen: Grundlagen, Ausblick auf Stahlbau III

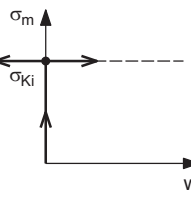
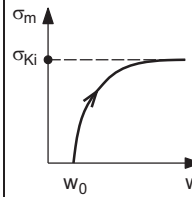
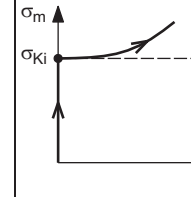
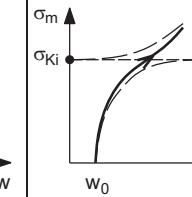
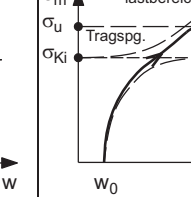
Verlagerung der Spannungen zu den wesentlich steiferen Rändern



Beulen einer Platte - Membranwirkung



Überkritisches Tragverhalten

Spalte	1	2	3	4	5
Theorie	Theorie II. Ord. Verzweigungs- theorie	Theorie II. Ord.	Theorie III. Ord.	Theorie III. Ord.	Traglasttheorie
Ausgangs- geometrie (w_0)	perfekt	imperfekt	perfekt	imperfekt	imperfekt
Verformung (w)	klein	klein	groß	groß	groß
Materialgesetz	Hooke	Hooke	Hooke	Hooke	wirklich
Last- Verformungs- Diagramm					

Örtliche Lasteinleitung: Beanspruchbarkeit bei Querbelastung

Normen

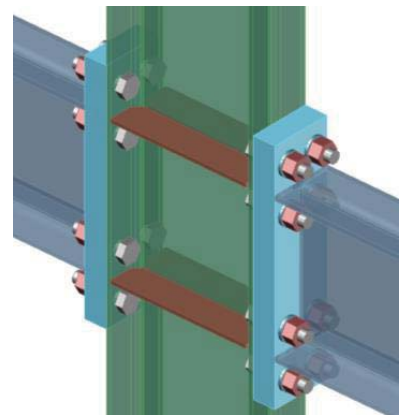
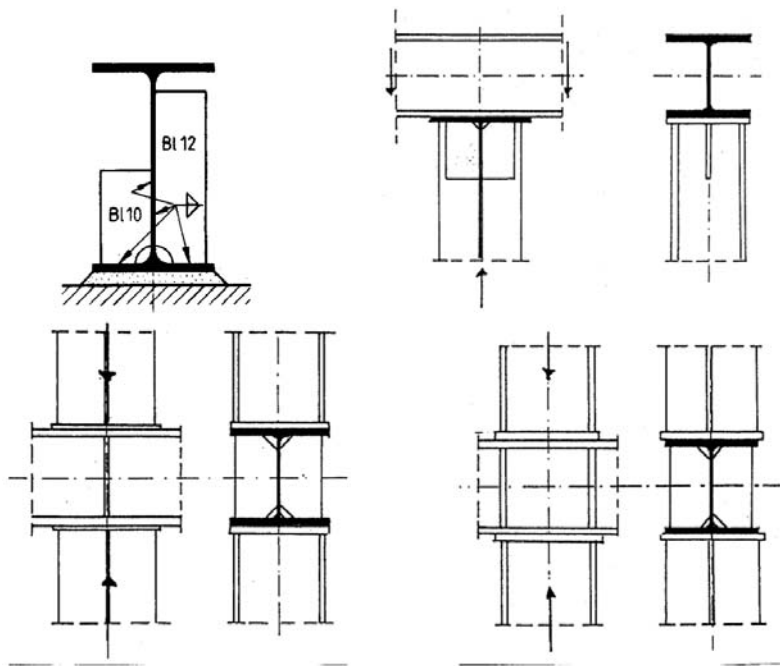
- Erhältlich als Download in www.perinorm.com
DIN EN 1993-1-5:2010 + **NA**



Weitere Literatur

- Roik, K.: Vorlesungen über Stahlbau, Verlag Ernst und Sohn, Berlin/München/Düsseldorf
- Bode, H.: Stahlbau III
- Petersen, C.: Statik und Stabilität der Baukonstruktionen, Vieweg Verlag, Braunschweig/München 1982

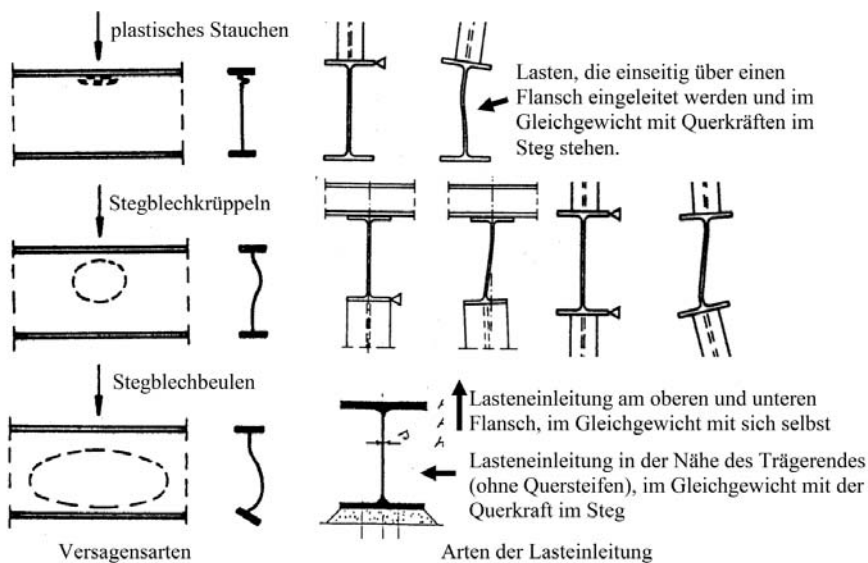
Lasteinleitung mit Steifen / Rippen:



Quelle: www.nyacad.com

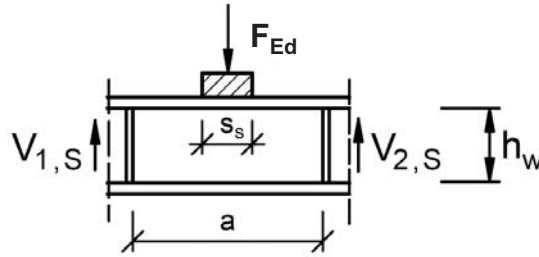
Örtliche Lasteinleitung: Beanspruchbarkeit bei Querbelastung

Lasteinleitung ohne Steifen / Rippen:



Quelle: www.knauf.de

Nachweis:



Kap. 6, EN 1993-1-5

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1,0$$

EN 1993-1-5, (Gl. 6.14)

η_2 : Beulen bei lokaler Lasteinleitung

Kap. 7, EN 1993-1-5

$$\eta_2 + 0,8\eta_1 \leq 1,4$$

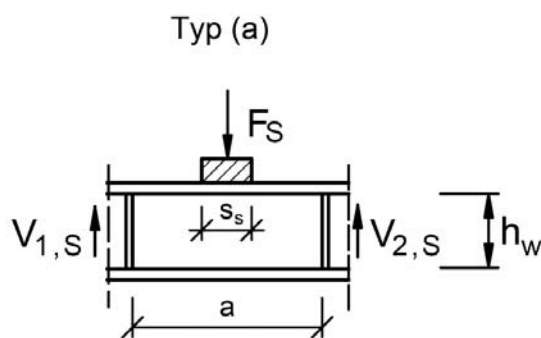
EN 1993-1-5, (Gl. 7.2)

η_1 : Plattenbeulen bei Längsspannungen, Stahlbau III

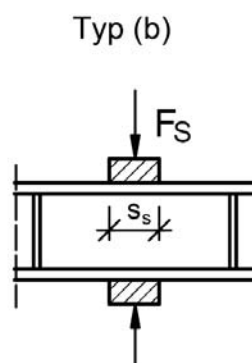
Interaktion zwischen Querbelastung an den Längsrändern, Biegemoment und Normalkraft

Örtliche Lasteinleitung: Beanspruchbarkeit bei Querbelastung

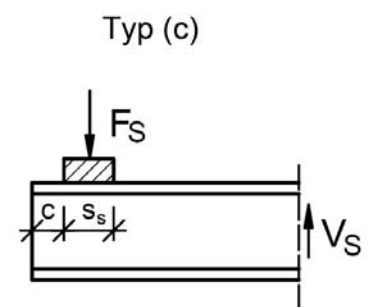
Es werden 3 Arten der Lasteinleitung unterschieden:



Lasten, die einseitig über einen Flansch eingeleitet werden und im Gleichgewicht mit Querkraften im Steg stehen



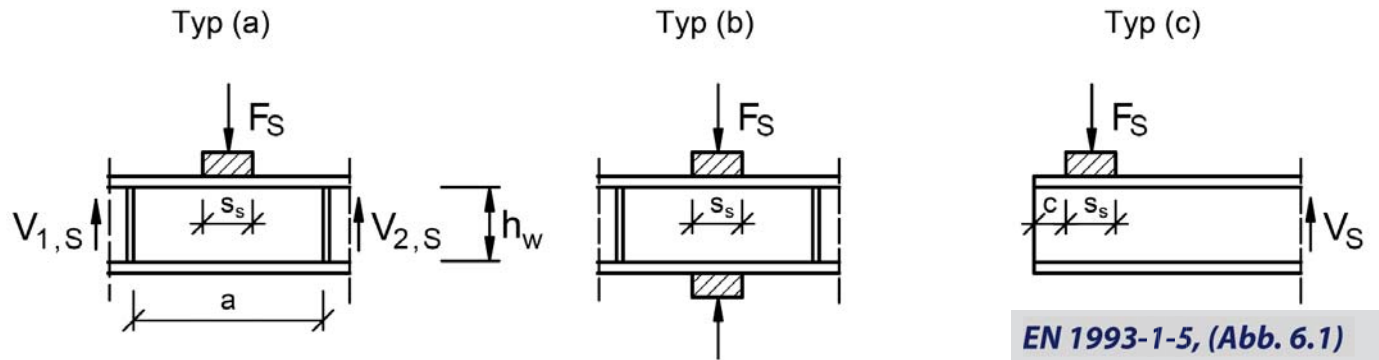
Lasten, die beidseitig über beide Flansche eingeleitet werden und mit sich selbst im Gleichgewicht stehen



Lasten, die in der Nähe des Trägerendes ohne Querstreifen eingeleitet werden und mit der Querkraft im Steg im Gleichgewicht stehen

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1,0$$

EN 1993-1-5, (Gl. 6.14)



$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} \cdot L_{eff} \cdot t_w}{\gamma_{M1}}$$

EN 1993-1-5, (Gl. 6.1)

- t_w Stegblechdicke
- f_{yw} Streckgrenze des Stegblechs
- L_{eff} wirksame Lastausbreitungslänge unter Berücksichtigung des Stegbeulens bei Querlasten
- γ_{M1} Teilsicherheitsbeiwert

Ermittlung der wirksamen Lastausbreitungslänge L_{eff} unter Berücksichtigung des Stegbeulens bei Querlasten:

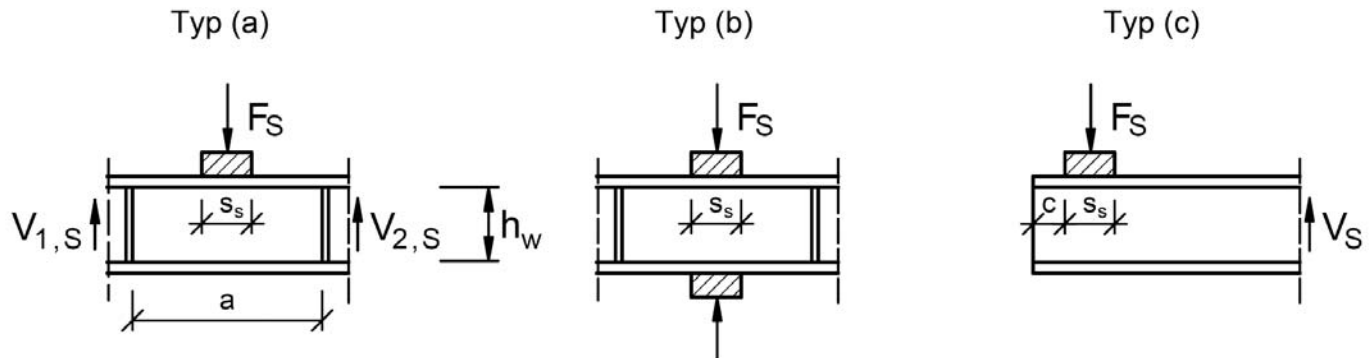
$$L_{eff} = \chi_F \cdot l_y$$

EN 1993-1-5, (Gl. 6.2)

- l_y wirksame Lastausbreitungslänge ohne Stegbeulen
- χ_F Abminderungsfaktor infolge Stegbeulen bei Querlasten

Ermittlung der wirksamen Lastausbreitungslänge l_y ohne Stegbeulen:

Der Lasteinleitungsbereich l_y (wirksame Lastausbreitungslänge), setzt sich aus einem „starken“ Bereich s_s , und einem „nachgiebigen“ Bereich s_y zusammen. Er berücksichtigt die Beulgefährdung des Stegblechs unter Querlasten.

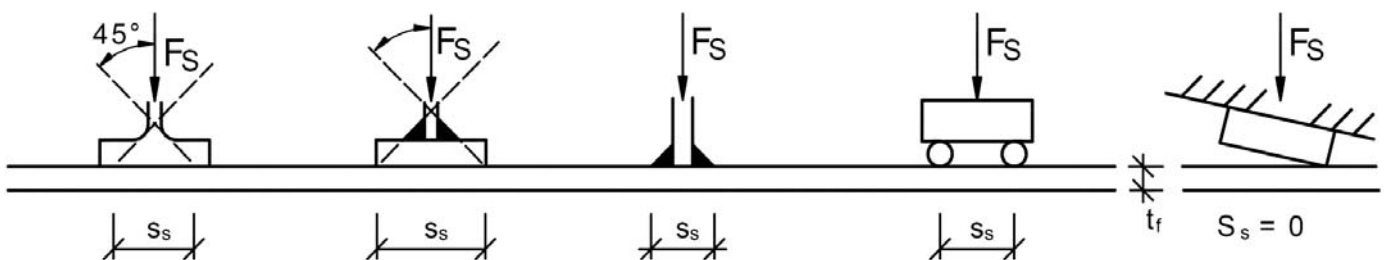


$$l_y = s_s + s_y$$

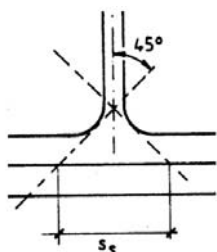
Örtliche Lasteinleitung: Beanspruchbarkeit bei Querbelastung

Ermittlung der wirksamen Lastausbreitungslänge l_y ohne Stegbeulen, starre Lasteinleitungslänge:

Die Länge der „starken“ Lasteinleitung s_s , ist in der Regel die Länge, über die die Querlast auf den Flansch eingeleitet wird:



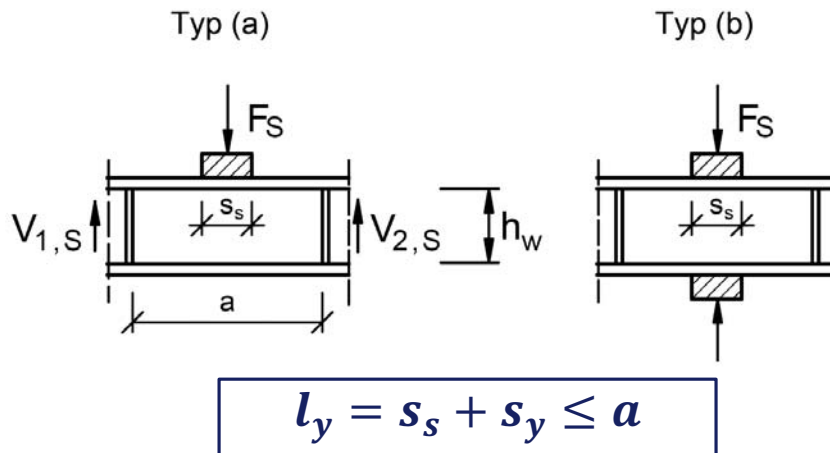
EN 1993-1-5, (Abb. 6.2)



$$s_s = t_w + 2 \cdot t_f + 4 \cdot r \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2} \right)$$

Ermittlung der wirksamen Lastausbreitungslänge l_y ohne Stegbeulen, nachgiebige Lasteinleitungslänge:

Die Länge der „nachgiebigen“ Lasteinleitung s_y wird in Abhängigkeit von der Lasteinleitungssituation ermittelt:



$$l_y = s_s + s_y \leq a$$

$$s_y = 2 \cdot t_f \cdot \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2}\right)$$

EN 1993-1-5, (Gl. 6.10)

Örtliche Lasteinleitung: Beanspruchbarkeit bei Querbelastung

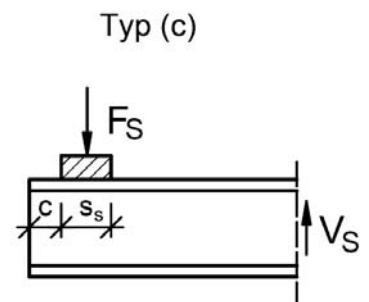
Ermittlung der wirksamen Lastausbreitungslänge l_y ohne Stegbeulen, nachgiebige Lasteinleitungslänge:

Die Länge der „nachgiebigen“ Lasteinleitung s_y wird in Abhängigkeit von der Lasteinleitungssituation ermittelt:

$$l_y = l_e + t_f \cdot \min \left\{ \sqrt{m_1 + m_2}, \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{l_e}{t_f}\right)^2} + m_2 \right\}$$

$$l_e = \frac{k_F \cdot E \cdot t_w^2}{2 \cdot f_{yw} \cdot h_w} \leq s_s + c$$

$$k_F = 2 + 6 \left(\frac{s_s + c}{h_w}\right) \leq 6 \text{ für Typ (c)}$$



EN 1993-1-5, (Gl. 6.11)

EN 1993-1-5, (Gl. 6.12)

EN 1993-1-5, (Gl. 6.13)

EN 1993-1-5, (Abb. 6.1)

Ermittlung der wirksamen Lastausbreitungslänge l_y ohne Stegbeulen, nachgiebige Lasteinleitungslänge:

Die dimensionslosen Parameter m_1 und m_2 ergeben sich zu:

$$m_1 = \frac{f_{yf} \cdot b_f}{f_{yw} \cdot t_w}$$

EN 1993-1-5, (Gl. 6.8)

Verhältnis von Flanschbreite b_f zu Stegdicke t_w

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f} \right)^2 \text{ für } \bar{\lambda}_F > 0,5$$

EN 1993-1-5, (Gl. 6.9)

Verhältnis von Steghöhe h_w zu Flanschdicke t_f

$$m_2 = 0 \text{ für } \bar{\lambda}_F \leq 0,5$$

EN 1993-1-5, (Gl. 6.9)

Für den Stegblechschlankheitsgrad $\bar{\lambda}_F$ ist zunächst eine Annahme zu treffen, da er abhängig von l_y ist.

Örtliche Lasteinleitung: Beanspruchbarkeit bei Querbelastrung

Ermittlung der wirksamen Lastausbreitungslänge L_{eff} unter Berücksichtigung des Stegbeulens bei Querlasten:

$$L_{eff} = \chi_F \cdot l_y$$

EN 1993-1-5, (Gl. 6.2)

l_y wirksame Lastausbreitungslänge ohne Stegbeulen

χ_F Abminderungsfaktor infolge Stegbeulen bei Querlasten

Ermittlung des Abminderungsfaktors χ_F infolge Stegbeulen bei Querlasten:

Der Abminderungsfaktor χ_F für die wirksame Lastausbreitungslänge ermittelt sich in der Regel aus:

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1,0$$

EN 1993-1-5, (Gl. 6.3)

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y \cdot t_w \cdot f_{yw}}{F_{cr}}}$$

EN 1993-1-5, (Gl. 6.4)

Örtliche Lasteinleitung: Beanspruchbarkeit bei Querbelastung

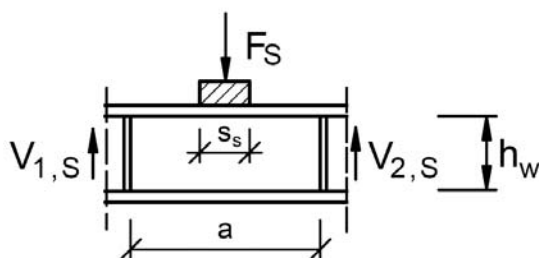
Ermittlung des Abminderungsfaktors χ_F infolge Stegbeulen bei Querlasten:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L_{cr}^2}$$

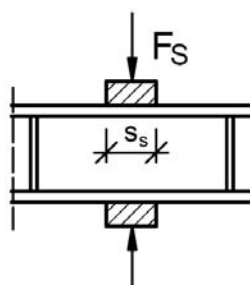
$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{h_w}$$

EN 1993-1-5, (Gl. 6.5)

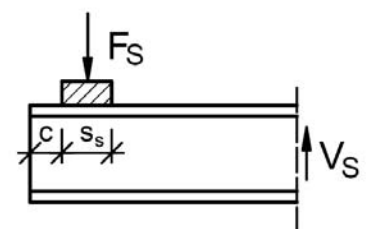
Typ (a)



Typ (b)



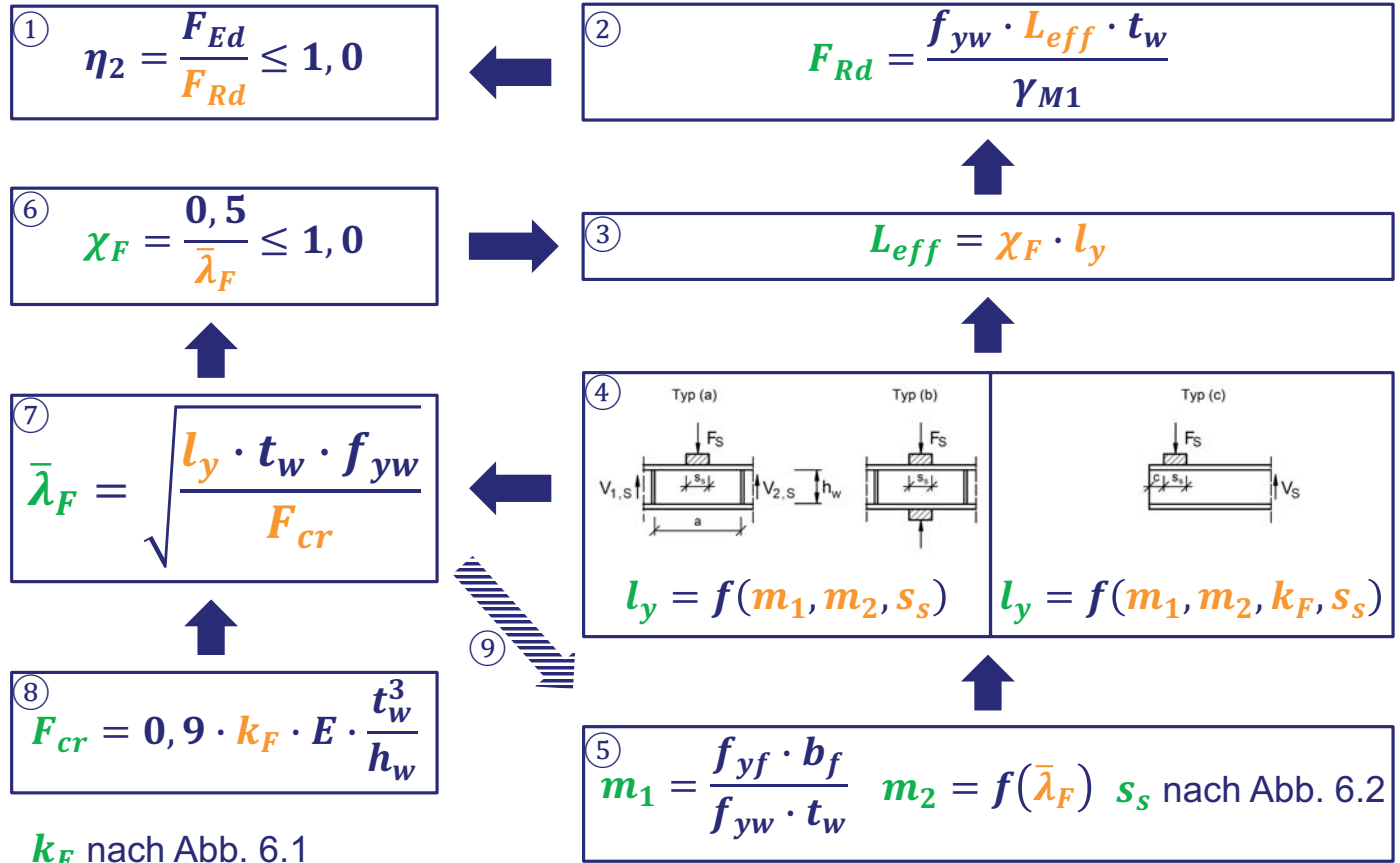
Typ (c)



$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2$$

$$k_F = 3,5 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2$$

$$k_F = 2 + 6 \left(\frac{s_s + c}{h_w} \right) \leq 6$$



Beispiel 1:

Schnitt A-A

Ansicht

perspekt. Darstellung

Profilmaße

h_w	130 cm
b_f	20 cm
t_w	1,1 cm
t_f	1,0 cm

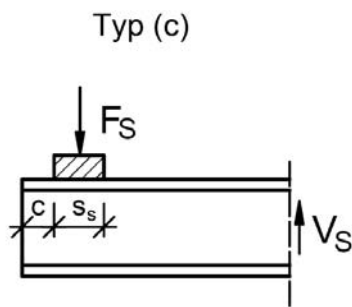
Statische Werte (Brutto-Werte)

A	183 cm ²	I_t	91,95 cm ⁴
I_y	373.005 cm ⁴	I_w	$5,54 \cdot 10^6$ cm ⁶
I_z	1.348 cm ⁴		

Material: S 235; $E = 21.000 \text{ kN/cm}^2$; $G = 8.100 \text{ kN/cm}^2$

Weisen Sie den Trägersteg im Bereich der lokalen Lasteinleitung gegen lokales Plattenbeulen („Patch loading“) unter Querbelastung nach.

Art der Lasteinleitung:



Lasten werden in der Nähe des Trägerendes ohne Quersteifen eingeleitet und stehen mit der Querkraft im Steg im Gleichgewicht

Nachweis zu führen nach **EN 1993-1-5, Kapitel 6**:

Örtliche Lasteinleitung: Beanspruchbarkeit bei Querbelastrung

1. Ermittlung der wirksamen Lastausbreitungslänge l_y ohne Stegbeulen

Die dimensionslosen Parameter m_1 und m_2 ergeben sich zu:

1. Ermittlung der wirksamen Lastausbreitungslänge l_y ohne Stegbeulen

1. Ermittlung der wirksamen Lastausbreitungslänge l_y ohne Stegbeulen

2. Ermittlung des Abminderungsfaktors χ_F infolge Stegbeulen bei Querlasten:

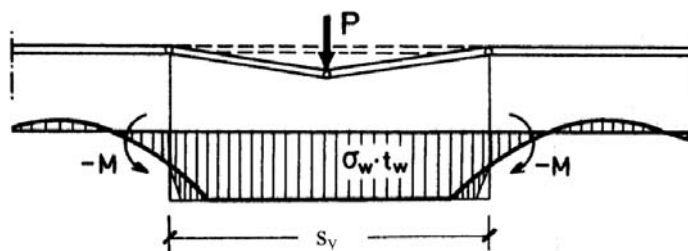
2. Ermittlung des Abminderungsfaktors χ_F infolge Stegbeulen bei Querlasten:

3. Nachweis:

Örtliche Lasteinleitung: Beanspruchbarkeit bei Querbelastrung

Ermittlung der nachgiebigen Lasteinleitungslänge:

Für den „nachgiebigen“ Lasteinleitungsbereich gilt näherungsweise folgendes Modell zur Bestimmung der plastischen Grenzlast (punktförmige Last, Flansch rechteckförmig):



$$M_{pl,f} = \frac{b_f \cdot t_f^2}{4} ; P = s_y \cdot t_w \cdot f_{yw}$$

Arbeitssatz:

$$P \cdot \delta \cdot \frac{s_y}{2} = 4 \cdot \delta \cdot M_{pl,f}$$

$$\rightarrow s_y = 2 \cdot t_f \cdot \sqrt{\frac{b_f \cdot f_{yf}}{t_w \cdot f_{yw}}}$$

Interaktion: $s_y = 2 \cdot t_f \cdot \sqrt{\frac{b_f \cdot f_{yf}}{t_w \cdot f_{yw}} \cdot \left[1 - \left(\frac{\sigma_{f,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yf}} \right)^2 \right]}$ mit: $\sigma_{f,Ed}$ = Längsspannung im Flansch

$$s_y = 2 \cdot t_f + 2 \cdot t_f \cdot \sqrt{\frac{f_{yf} \cdot b_f}{f_{yw} \cdot t_w}} + m_2$$

EN 1993-1-5, (Gl. 6.10)

Normen

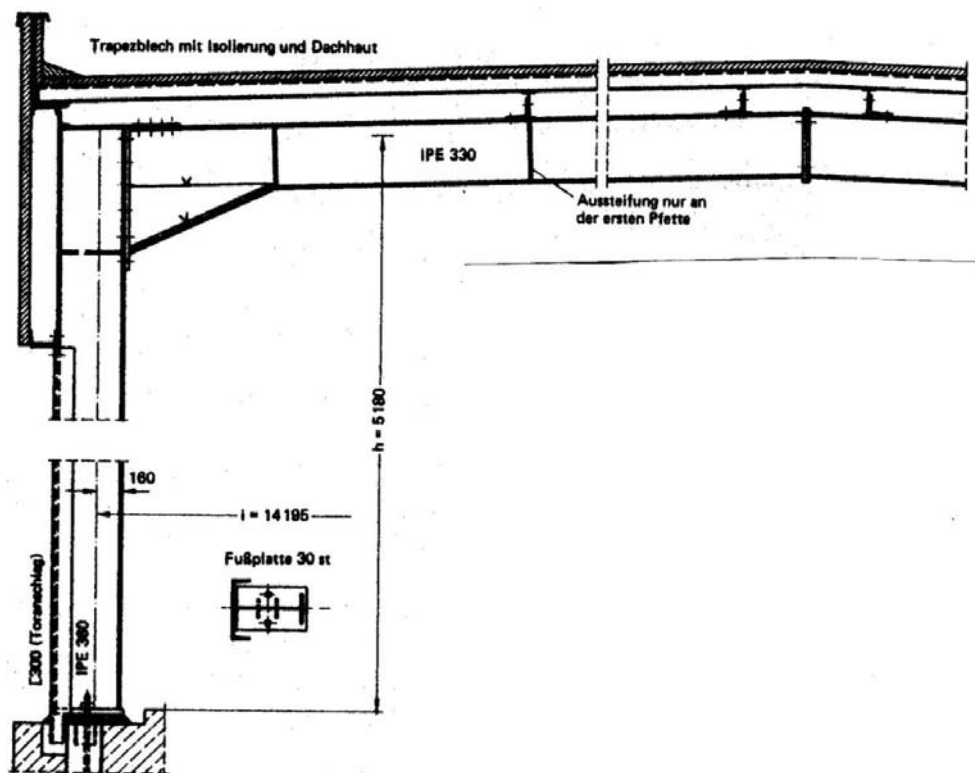
- Erhältlich als Download in www.perinorm.com
DIN EN 1993-1-1:2010 + NA



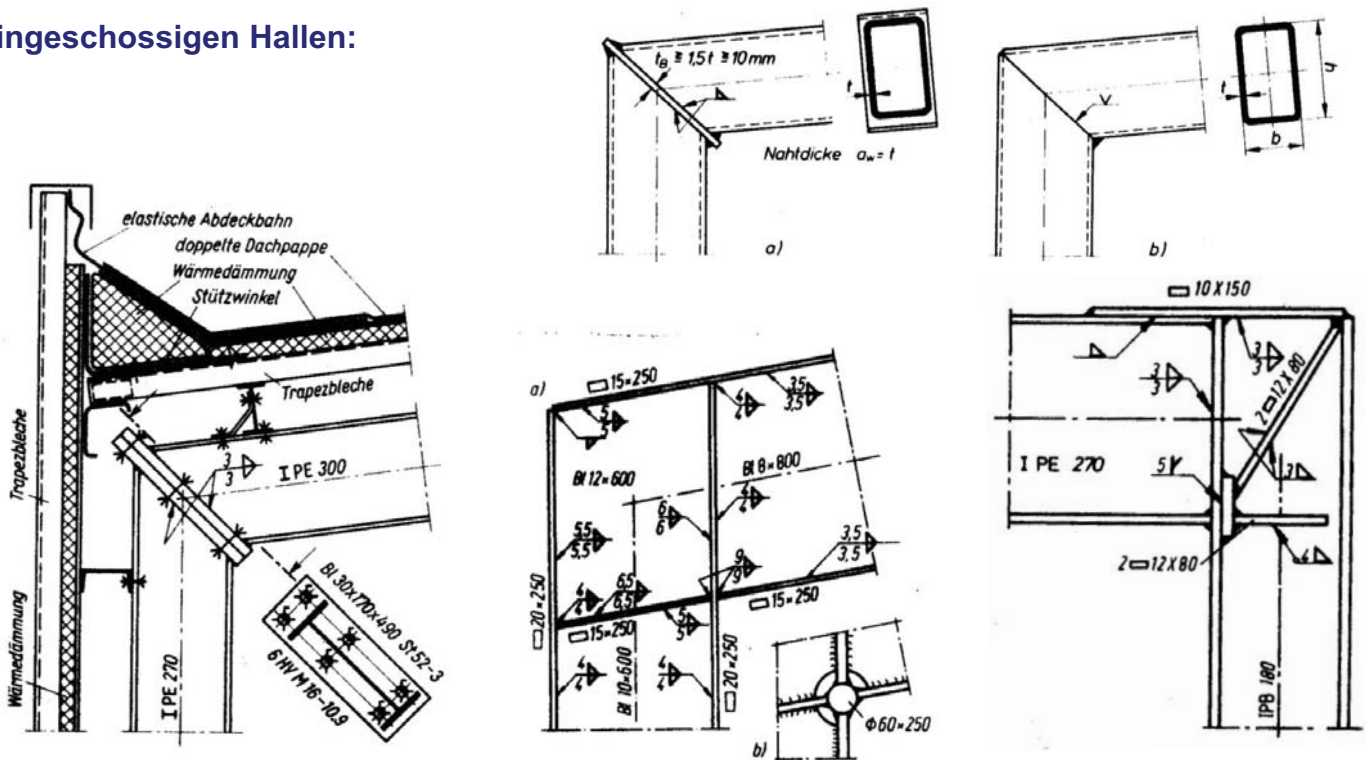
Weitere Literatur

- Kindmann, R.: Stahlbau, Teil 2: Stabilität und Theorie II. Ordnung, Verlag Ernst und Sohn
- Roik, K.: Vorlesungen über Stahlbau, Verlag Ernst und Sohn, Berlin/München/Düsseldorf
- Bode, H.: Stahlbau III
- Petersen, C.: Statik und Stabilität der Baukonstruktionen, Vieweg Verlag, Braunschweig/München 1982

Bemessung von Rahmenecken

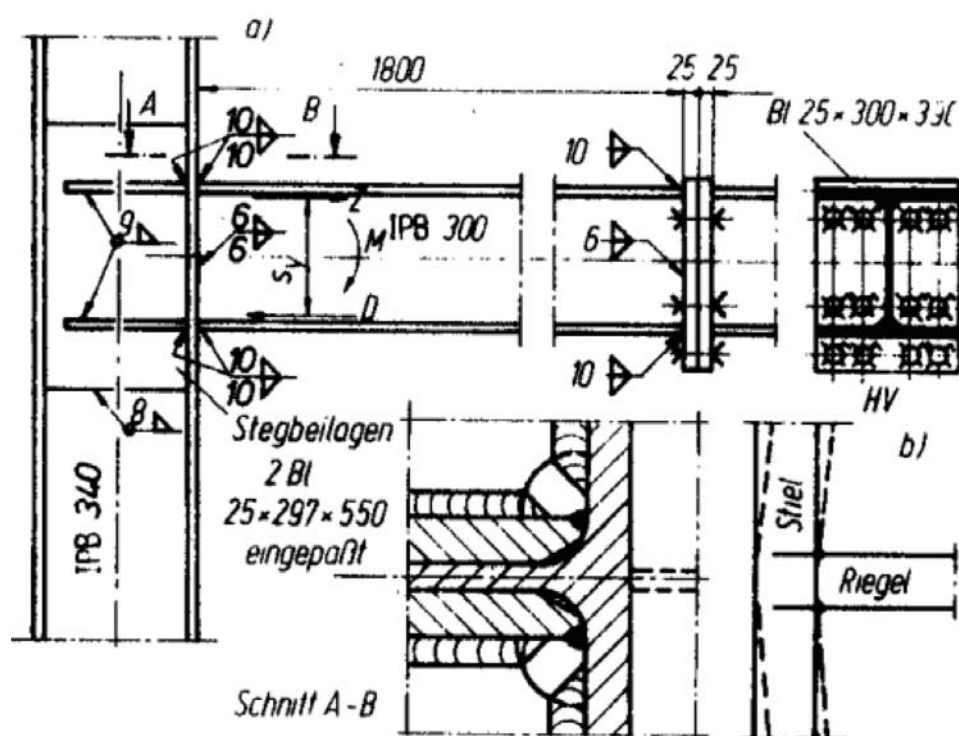


Beispiele zur Eckausbildung bei eingeschossigen Hallen:

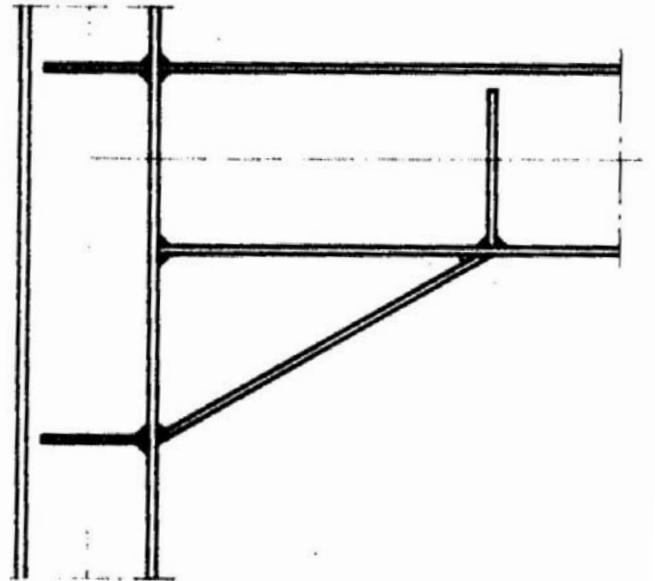
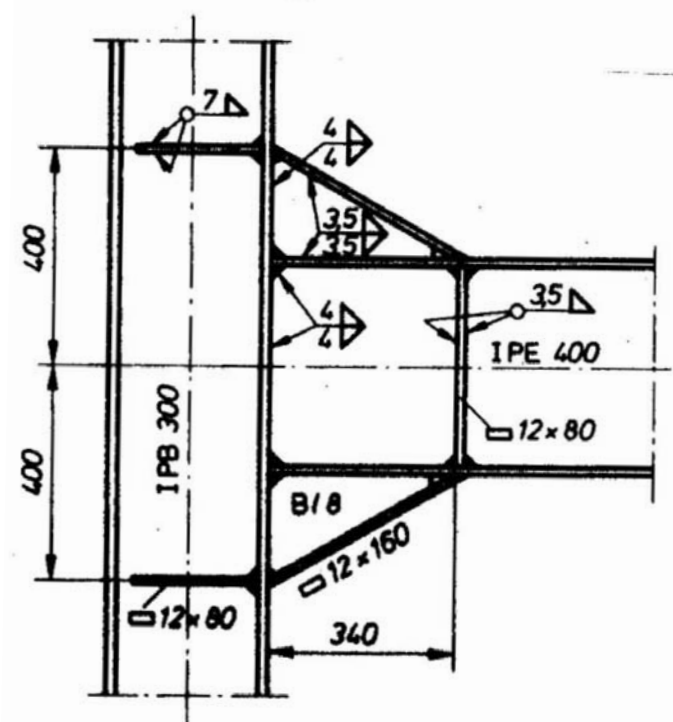


Bemessung von Rahmenecken

Beispiele zur Eckausbildung eines Geschossbaus:

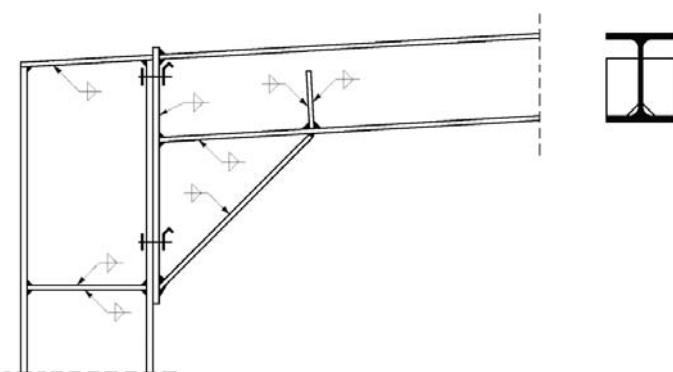


Beispiele zur ECKAusbildung mit Voute:

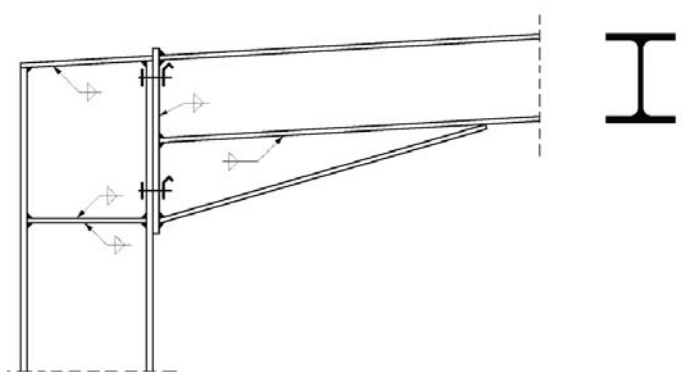


Bemessung von Rahmenecken

Beispiele zur ECKAusbildung mit Voute:



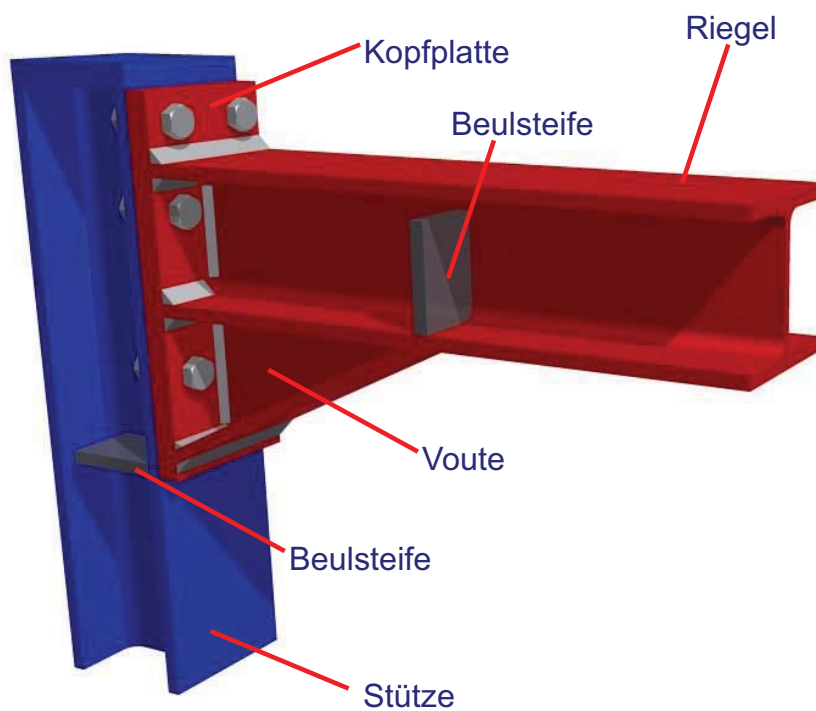
Kurze Voute mit Umlenksteife im Riegel



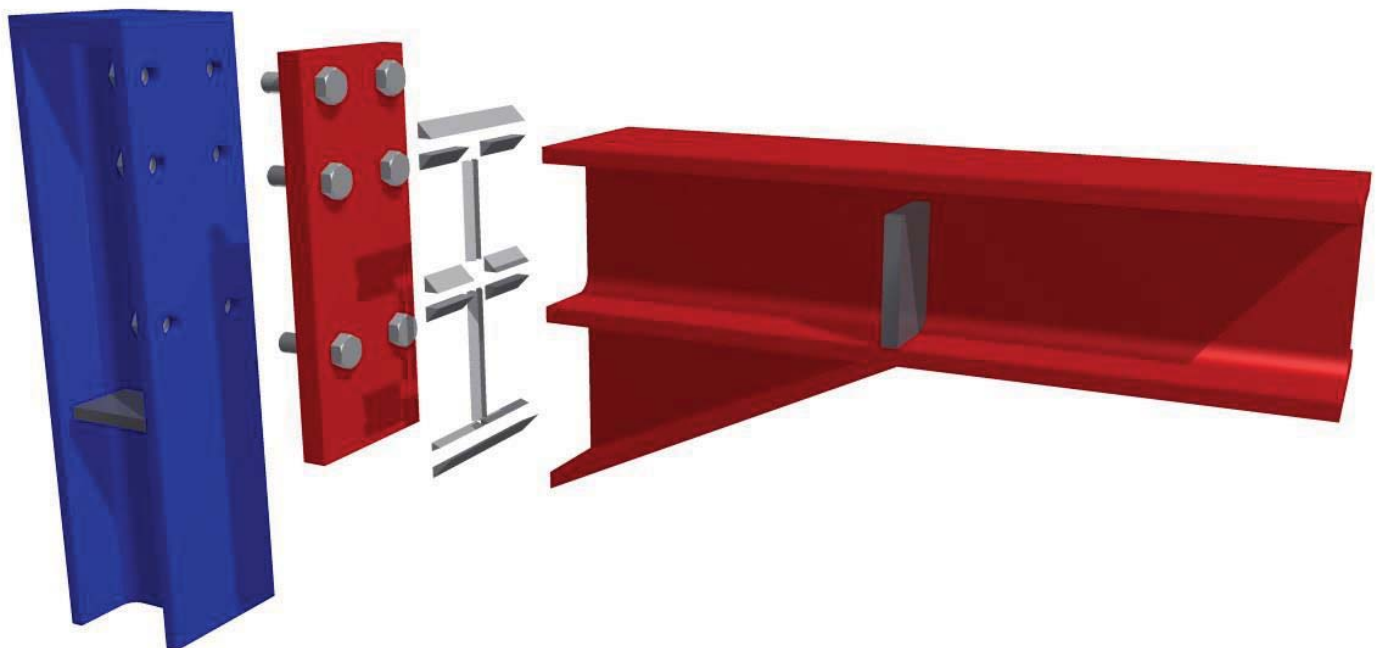
Lange Voute

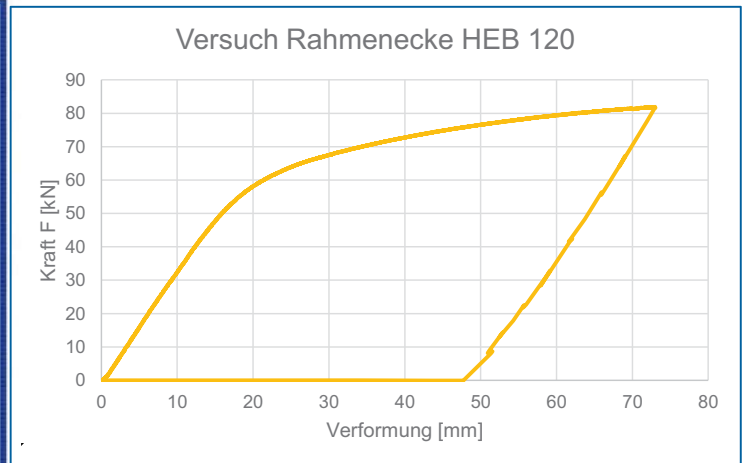
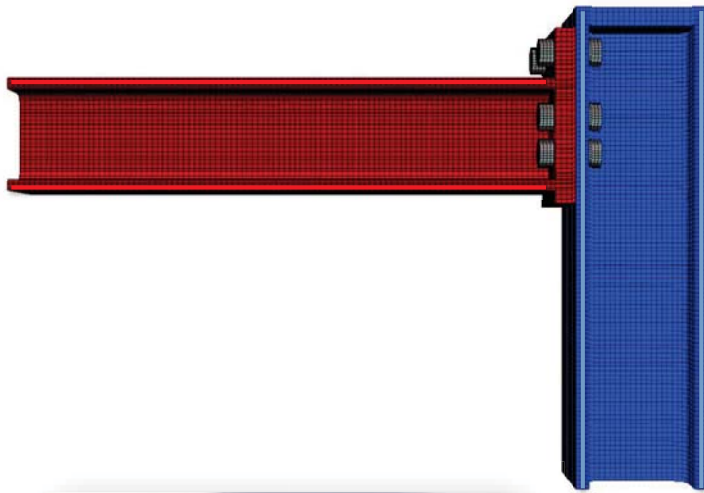
Quelle: Kindmann, R., Krahwinkel, M., Stahl- und Verbundkonstruktionen - Entwurf, Konstruktion und Berechnungsbeispiele, Springer 2012

Kraftübertragung in der Rahmenecke

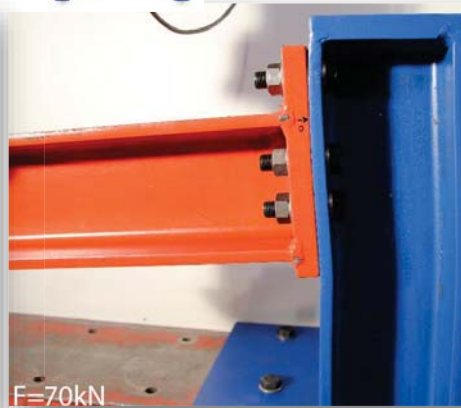


Kraftübertragung in der Rahmenecke





F=0kN (vor Versuch)



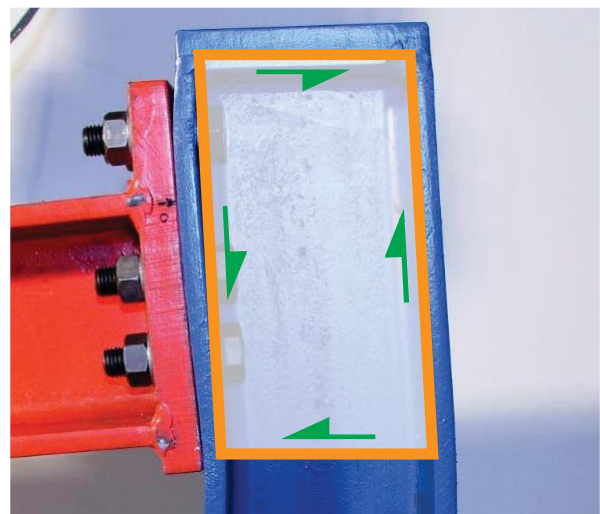
F=70kN



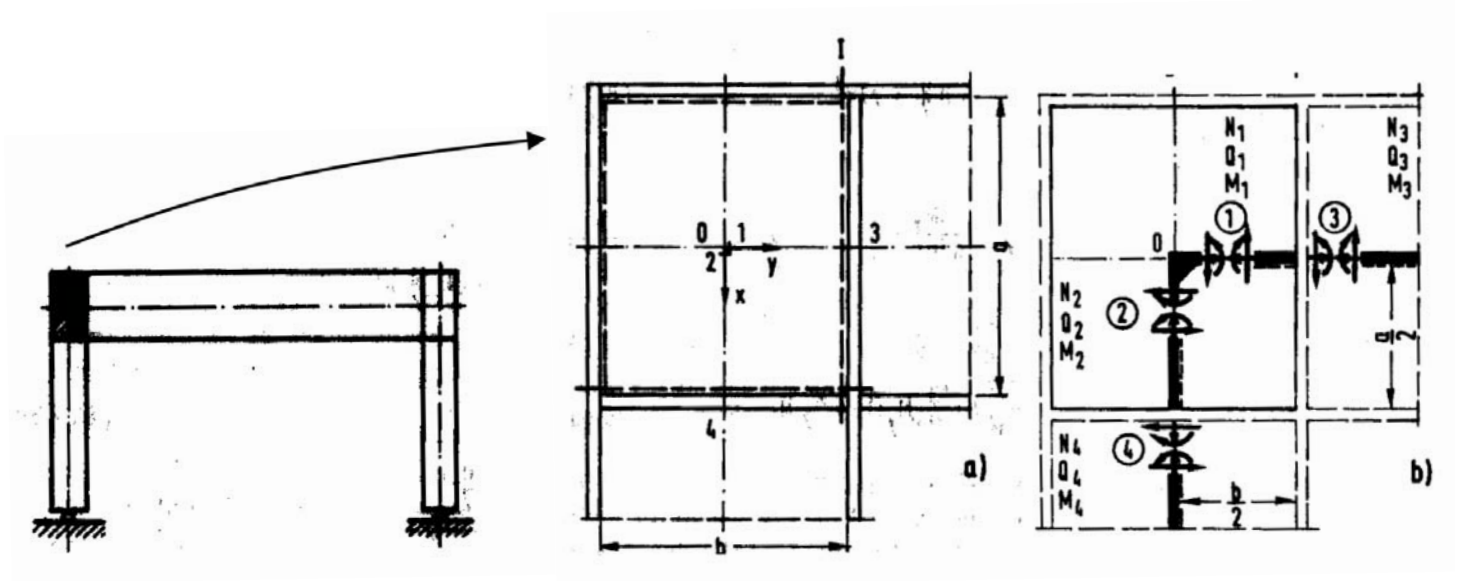
F=0kN (nach Versuch)

Kraftübertragung in der Rahmenecke: Schubnachweis

- Aktivierung des Schubfeldes:
 - Querschnittsnachweis (Schubfeld)
 - Stabilitätsnachweis (Schubbeulen)
- Stahlbau III



Schnittgrößen im Rahmeneck:



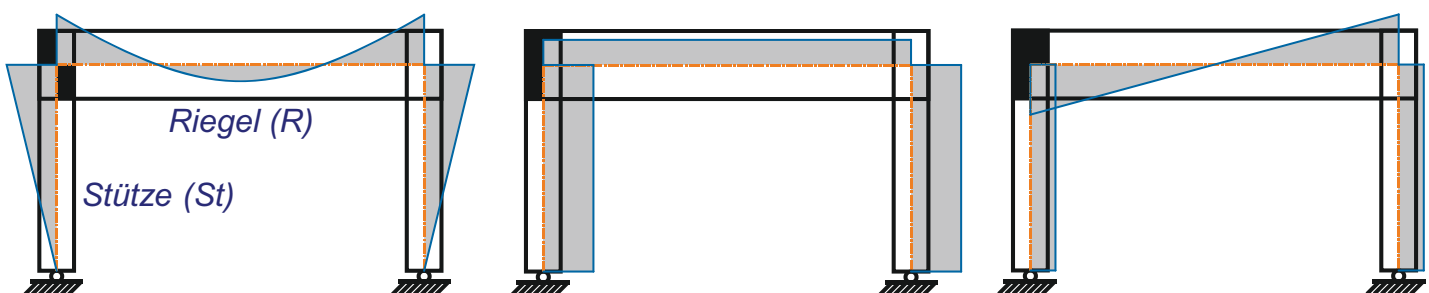
Bemessung von Rahmenecken

Schnittgrößen im Rahmeneck:

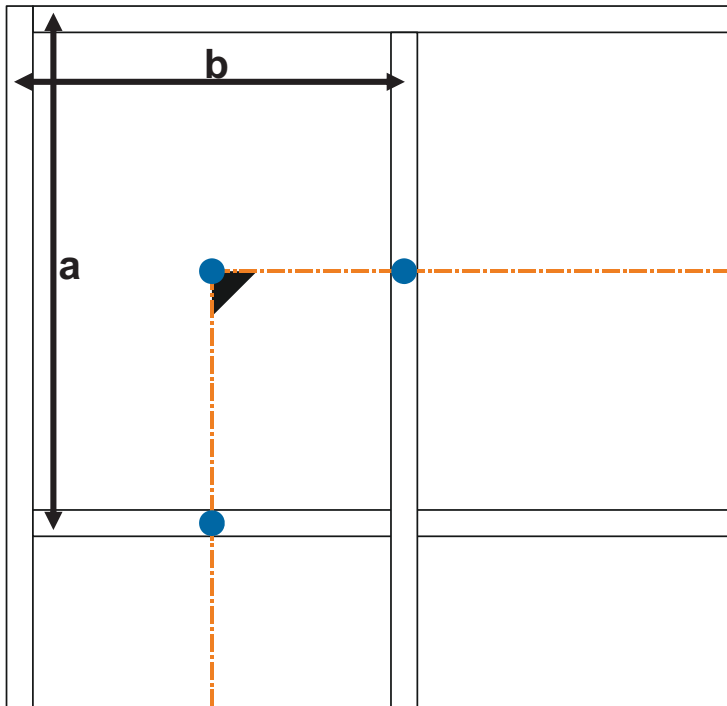
Moment (M)

Normalkraft (N)

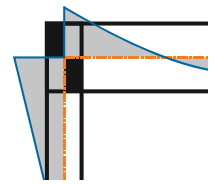
Querkraft (V)



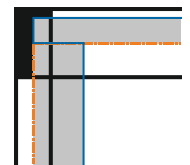
Schnittgrößen in Rahmenecke (Systempunkt):



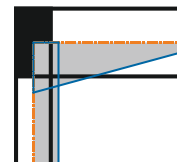
Moment (M)



Normalkraft (N)

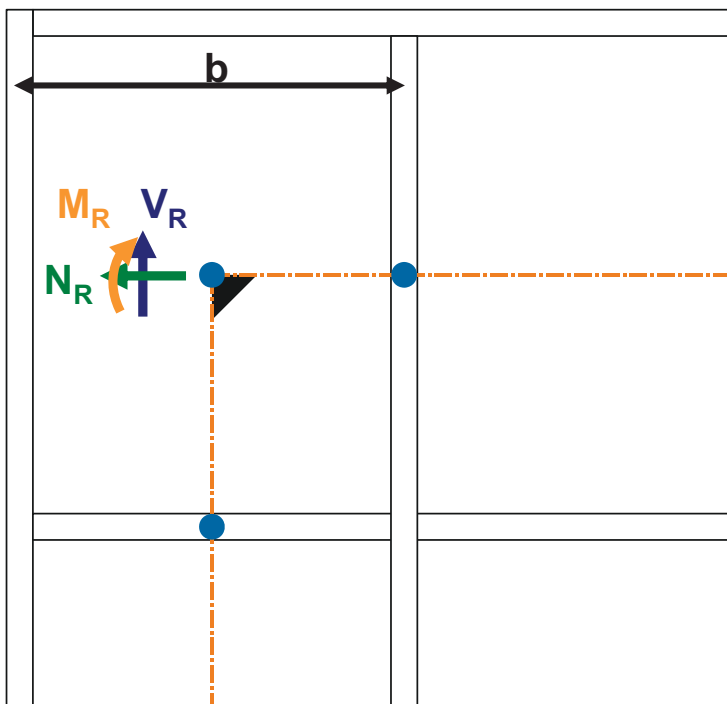


Querkraft (V)

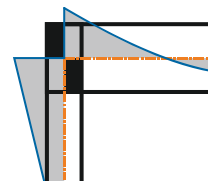


Bemessung von Rahmenecken

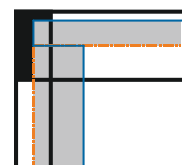
Schnittgrößen im Anschnitt:



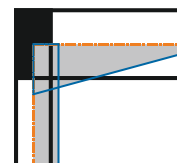
Moment (M)



Normalkraft (N)

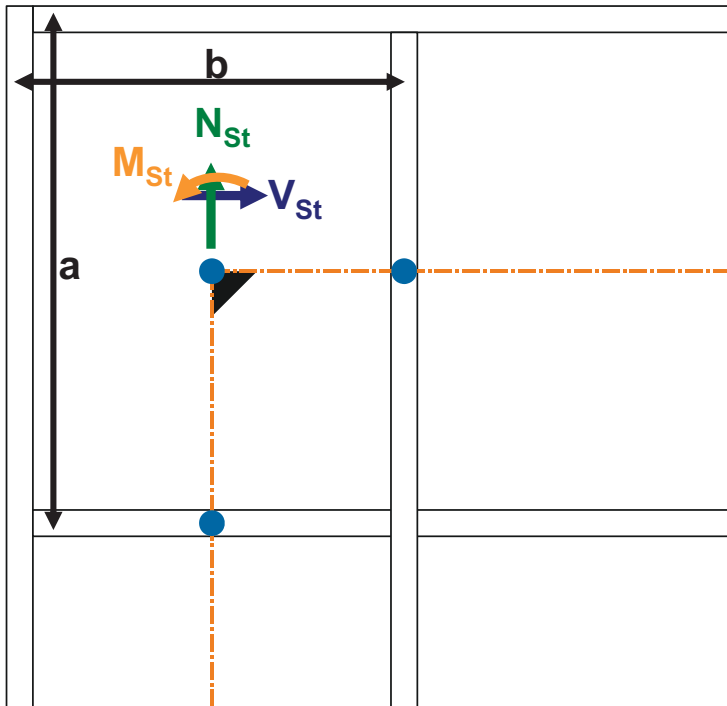


Querkraft (V)

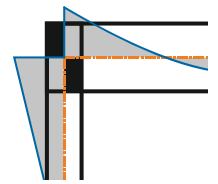


(evtl. vorhandene Riegelbelastung über $b/2$ ist unberücksichtigt)

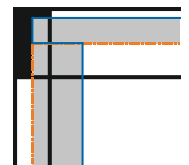
Schnittgrößen im Anschnitt:



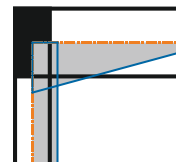
Moment (M)



Normalkraft (N)

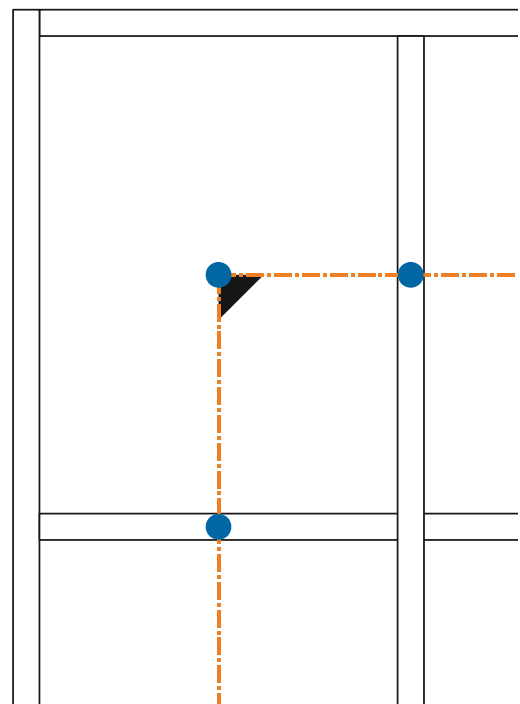
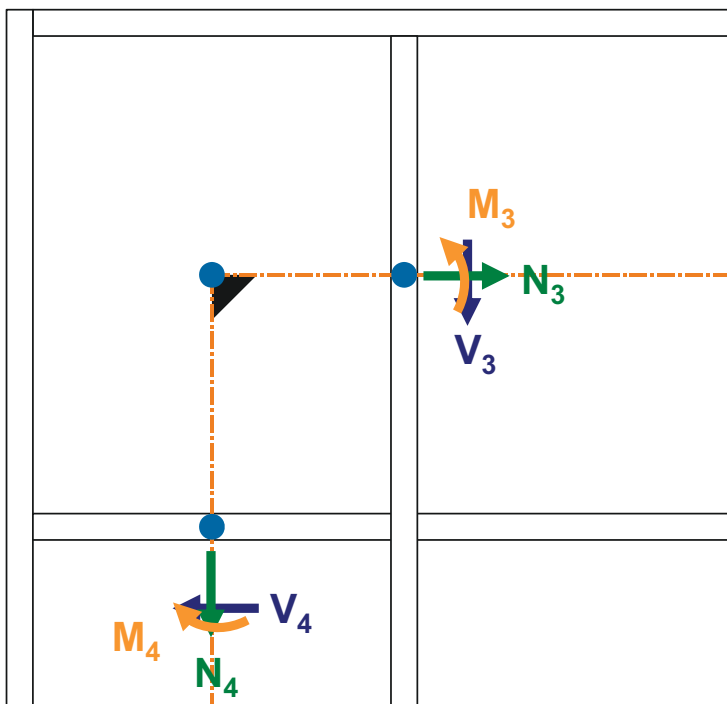


Querkraft (V)

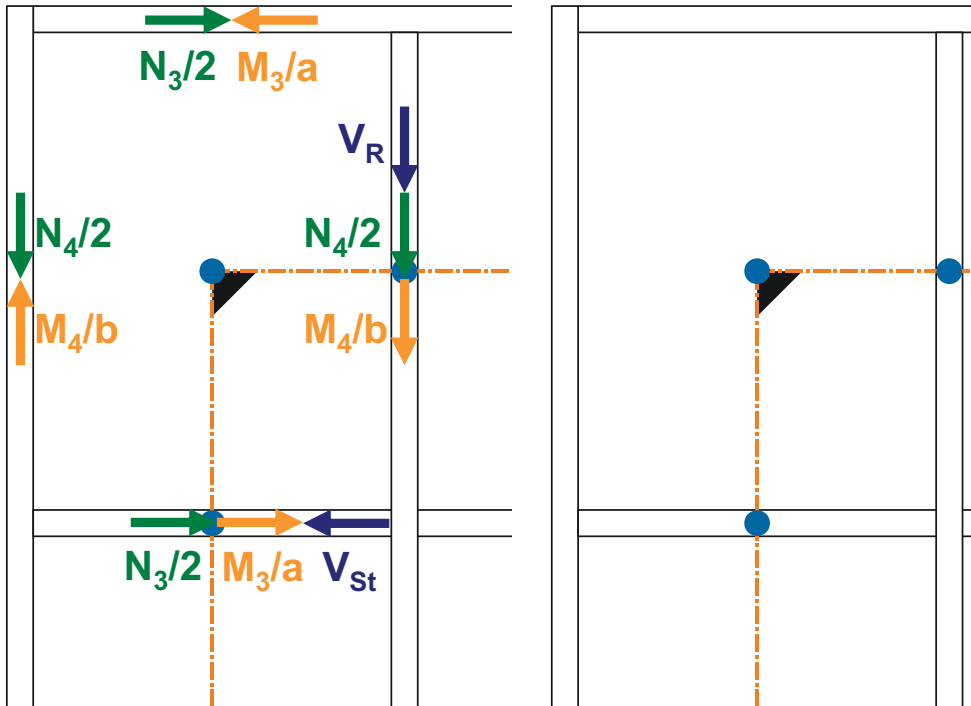


Bemessung von Rahmenecken

Schubkräfte am Übergang zu den Flanschen:



Schubkräfte am Übergang zu den Flanschen:



Bemessung von Rahmenecken

Schubkräfte am Übergang zu den Flanschen:

$$M_3 = M_R + \frac{b}{2} \cdot V_R$$

$$N_3 = N_R$$

$$V_3 = V_R$$

$$M_4 = M_{St} + \frac{a}{2} \cdot V_{St}$$

$$N_4 = N_{St}$$

$$V_4 = V_{St}$$

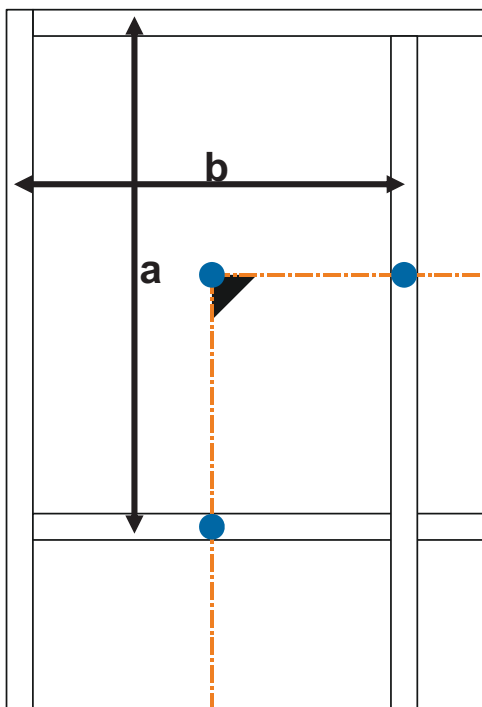
Schubkräfte am Übergang zu den Flanschen:

$$M_R = M_{St}$$

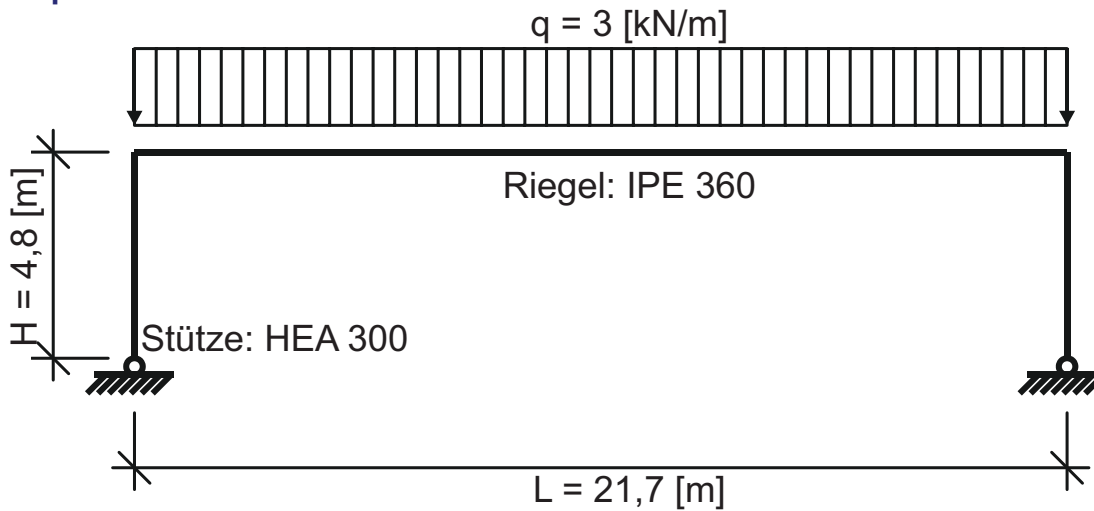
$$N_R = V_{St}$$

$$V_R = -N_{St}$$

Schubkräfte am Übergang zu den Flanschen:



Beispiel 3:



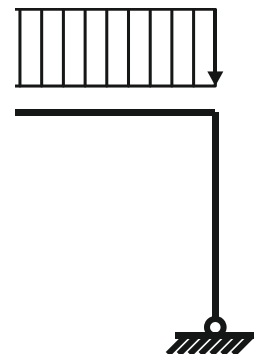
Material: S 235; $E = 21.000 \text{ kN/cm}^2$

Ermitteln Sie die Schubspannungen in der Rahmenecke

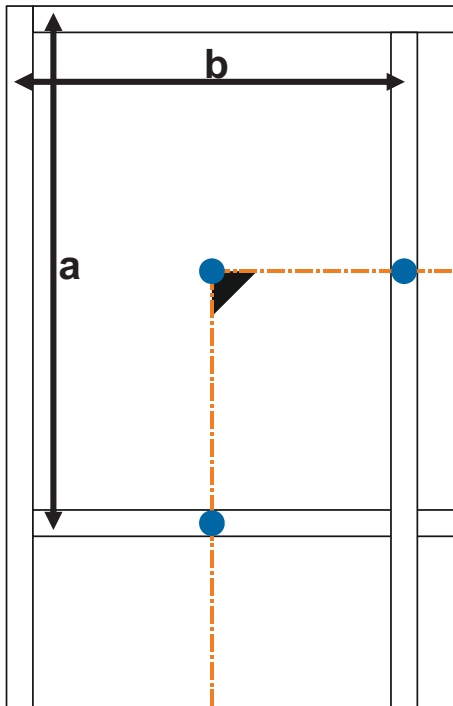
	HEA 300	IPE 360
h	29 cm	36 cm
t_w	0,85 cm	0,8 cm
t_F	1,4 cm	1,27 cm
I_{yy}	18.260 cm ⁴	16.270 cm ⁴

Bemessung von Rahmenecken

Rahmentafeln aus (z.B.) Schneider Bautabellen



Schnittgrößen in Rahmenecke (Systempunkt):

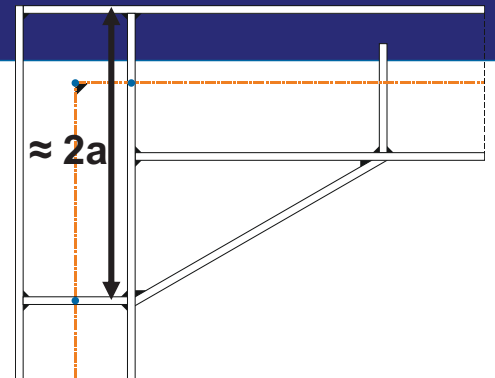


Schubkräfte am Übergang zu den Flanschen:

Schubspannungen am Übergang zu den Flanschen:

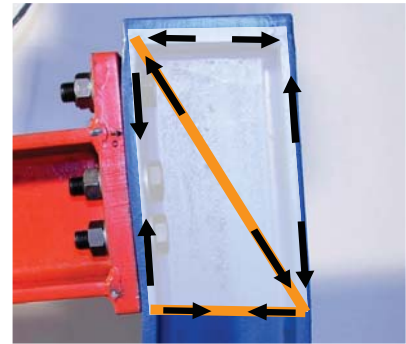
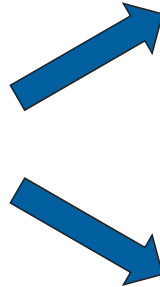
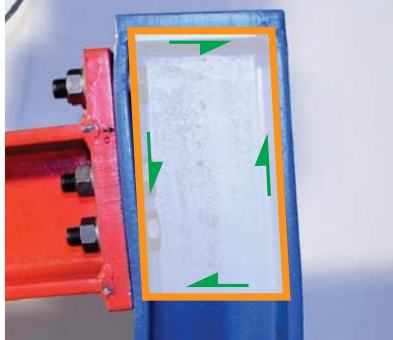
Bemessung von Rahmenecken

Einbau einer Voute:

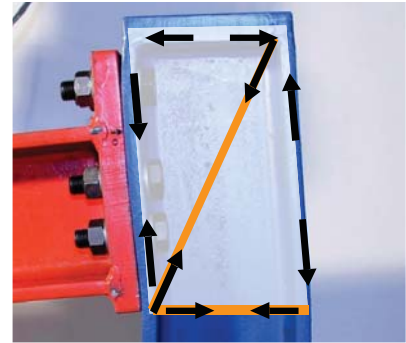


Weitere Maßnahmen zur Reduktion der Schubspannungen:

Anordnung von Diagonalsteifen



Zugdiagonale



Druckdiagonale