

Stahlbau III - WS 2015 / 2016

9. Vorlesung / Übung

Daniel Pak

21.01.2016

Terminübersicht und Übungsinhalte

Termin	Thema	Inhalt
22.10.2015	Ermüdung von Kranbahnträgern	Ermüdungsnachweis nach EN 1993-1-9 Einführung Bemessung von Kranbahnträgern
29.10.2015	Ermüdung von Kranbahnträgern	Bemessung von Kranbahnträgern Ermüdungsnachweis für Kranbahnträger
05.11.2015	Fließgelenkverfahren	Einführung
12.11.2015	Fließgelenkverfahren	Einführung, Traglastermittlung
19.11.2015	Fließgelenkverfahren	Traglastermittlung
03.12.2015	Fließgelenkverfahren	M-N-V-Interaktion, Abhängigkeit von Lasten
07.01.2016	Fließgelenkverfahren	Theorie II. Ordnung
14.01.2016	Beulen	Stabilitätsfall Beulen Einführung, Beulen unter Normalspannungen / Schub
21.01.2016	Beulen	Stabilitätsfall Beulen Knickstabähnliches Verhalten
28.01.2016	Beulen	Stabilitätsfall Beulen 3
11.02.2016	Biegedrillknicken	Vertiefung Drehfederbettung / Kranbahnträger

xx.xx.2016

schriftliche Prüfung

Änderungen vorbehalten!

Normen

Erhältlich als Download unter www.perinorm.com

- DIN EN 1993-1-5 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5:
Plattenförmige Bauteile + **NA**

Weiterführende 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

Beulen unter Längsspannungen, längs ausgesteifte Blechfelder

Nachweis:

Kap. 4, EN 1993-1-5

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y \cdot \frac{A_{eff}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N}{f_y \cdot \frac{W_{y,eff}}{\gamma_{M0}}} \leq 1,0$$

EN 1993-1-5, (Gl. 4.14)

η_1 : Plattenbeulen bei Längsspannungen

A_{eff}	wirksame Querschnittsfläche
W_{eff}	wirksames Widerstandsmoment
e_N	Verschiebung der neutralen Achse
γ_{M0}	Teilsicherheitsbeiwert
M_{Ed}	Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes
N_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft

Effektive Querschnittsgrößen, A_{eff} :

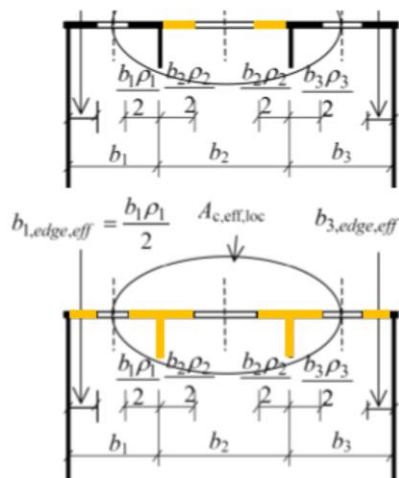
Bei längs ausgesteiften Blechfeldern sind in der Regel sowohl die wirksamen Flächen infolge lokalen Beulens der Einzelfelder im Blech und in den Steifen als auch die wirksamen Flächen aus den Gesamtfeldbeulen des ausgesteiften Gesamtfeldes zu berücksichtigen.

Zweischrittige Vorgehensweise:

1. Ermittlung der wirksamen Flächen der Einzelfelder mit Hilfe des Abminderungsfaktors nach EN 1993-1-5, Kap. 4.4 zur Berücksichtigung des Einzelfeldbeulens (vgl. letzte Vorlesung, ausfallende Querschnittsteile)
2. Ermittlung der wirksamen Fläche des ausgesteiften Gesamtfeldes aus den wirksamen Flächen der Steifen mit Hilfe des Abminderungsfaktors ρ_c zur Berücksichtigung des Gesamtfeldbeulens (z. B. über das Modell der äquivalenten orthotropen Platte)

$$A_{c,eff} = \rho_c \cdot A_{c,eff,loc} + \sum b_{edge,eff} \cdot t$$

EN 1993-1-5, Kap. 4.5



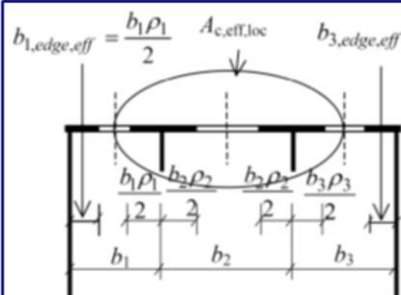
Effektive Querschnittsgrößen, A_{eff} :

Wirksame Fläche der Druckzone:

$$A_{c,eff} = \rho_c \cdot \underline{A_{c,eff,loc}} + \sum b_{edge,eff} \cdot t \quad \text{EN 1993-1-5, Gl. 4.5}$$

$$A_{c,eff,loc} = A_{sl,eff} + \sum \rho_{loc} \cdot b_{c,loc} \cdot t \quad \text{EN 1993-1-5, Gl. 4.6}$$

$A_{sl,eff}$ die Summe der wirksamen Fläche aller Längssteifen mit der Bruttoquerschnittsfläche A_{sl} in der Druckzone (EN 1993-1-5, Kap. 4.4, vgl. letzte Vorlesung)

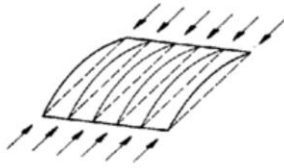


EN 1993-1-5, Bild 4.4

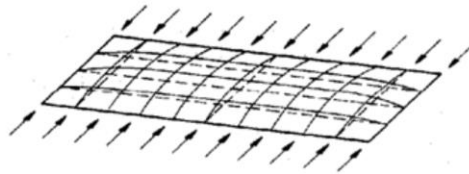
$A_{c,eff,loc}$ besteht aus den wirksamen Flächen aller Steifen und Einzelfelder, die sich ganz oder teilweise im Druckbereich befinden, mit Ausnahme derjenigen wirksamen Querschnittsteile der Breite $b_{edge,eff}$, die durch ein angrenzendes Plattenbauteil gestützt werden.

Effektive Querschnittsgrößen, A_{eff} :

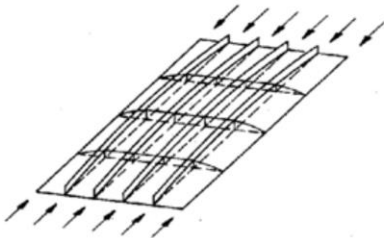
Abminderungsfaktors ρ_c , Interpolation zwischen plattenartigem und knickstabähnlichem Verhalten



a) knickstabähnliches Verhalten eines Beulfeldes ohne Lagerung in Längsrichtung



b) knickstabähnliches Verhalten eines nicht ausgesteiften Beulfeldes mit kleinem Seitenverhältnis α



c) knickstabähnliches Verhalten eines längs ausgesteiften Blechfeldes mit großem Seitenverhältnis α

Berücksichtigung von knickstabähnlichem Verhalten:

- bei Beulfeldabmessungen $a/b < 1$
- bei längs ausgesteiften Blechfeldern auch für $a/b \geq 1$

Effektive Querschnittsgrößen, A_{eff} :

Interpolation zwischen plattenartigem und knickstabähnlichem Verhalten

$$A_{c,eff} = \rho_c \cdot A_{c,eff,loc} + \sum b_{edge,eff} \cdot t$$

EN 1993-1-5, Gl. 5

Der Abminderungsfaktor ρ_c ist in der Regel durch Interpolation zwischen dem

1. Abminderungsfaktor ρ für **plattenartiges Verhalten** und dem
2. Abminderungsfaktor χ_c für **knickstabähnliches Verhalten**

zu ermitteln:

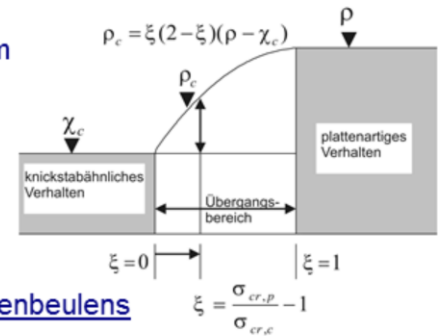
$$\rho_c = (\rho - \chi_c) \cdot \xi \cdot (2 - \xi) + \chi_c$$

- ρ Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung des Plattenbeulens
- χ_c Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung knickstabähnlichen Verhaltens
- ξ Verhältnis von Beulspannung zu Knickspannung

$$\xi = \frac{\sigma_{cr,p}}{\sigma_{cr,c}} - 1 \quad 0 \leq \xi \leq 1$$

$\sigma_{cr,p}$ elastische Plattenbeulspannung

$\sigma_{cr,c}$ elastische Knickspannung



Effektive Querschnittsgrößen, A_{eff} :

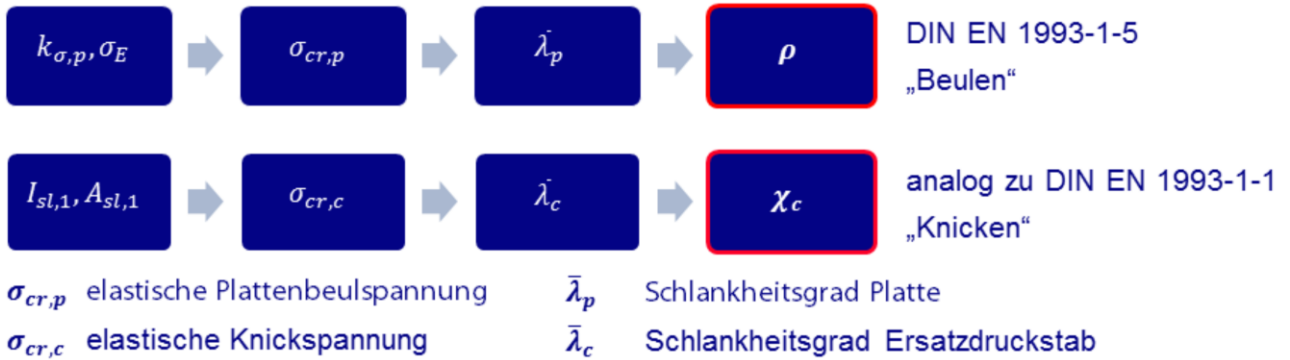
Interpolation zwischen plattenartigem und knickstabähnlichem Verhalten

$$\rho_c = (\rho - \chi_c) \cdot \xi \cdot (2 - \xi) + \chi_c$$

EN 1993-1-5, Gl. 4.13

ρ Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung des Plattenbeulens

χ_c Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung knickstabähnlichen Verhaltens



Plattenartiges Verhalten, ρ

Ermittlung des Abminderungsbeiwertes nach DIN EN 1993-1-5

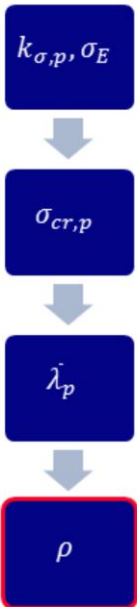
EN 1993-1-5, 4.4 (2)

$$\rho = 1,0$$

$$\text{für } \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi}$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0$$

$$\text{für } \bar{\lambda}_p > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi}$$



Plattenartiges Verhalten, ρ

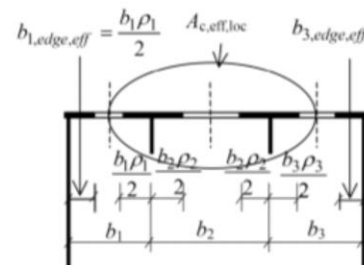
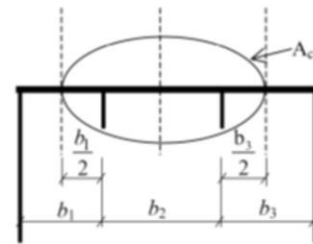
Ermittlung des Abminderungsbeiwertes nach DIN EN 1993-1-5

EN 1993-1-5, Gl. 4.7

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\beta_{A,c} \cdot \frac{f_y}{\sigma_{cr,p}}} \quad \beta_{A,c} = \frac{A_{c,eff,loc}}{A_c}$$

A_c : **Bruttoquerschnittsfläche** des längs ausgesteiften Blechfeldes ohne Berücksichtigung der durch ein angrenzendes Plattenbauteil gestützten Randbleche (A_c ist ggf. mit einem Faktor zur Berücksichtigung der Effekte aus Schubverzerrungen zu multiplizieren, EN 1993-1-5, Kap. 3.3)

$A_{c,eff,loc}$: **effektive Querschnittsfläche** (ggf. unter Berücksichtigung von Schubverzerrungen) des oben beschriebenen Bereiches des längsausgesteiften Blechfeldes unter Berücksichtigung des Einzelfeldbeulens und/oder des Gesamtfeldbeulens.



$k_{\sigma,p}, \sigma_E$



$\sigma_{cr,p}$



$\bar{\lambda}_p$



ρ

Plattenartiges Verhalten, ρ

Ermittlung des Abminderungsbeiwertes nach DIN EN 1993-1-5

$$\sigma_{cr,p} = k_{\sigma,p} \cdot \sigma_E$$

EN 1993-1-5, A.1

$$\sigma_E = 19.000 \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 \left[\frac{kN}{cm^2}\right] = 19.000 \cdot \left(\frac{1,2}{420}\right)^2 = 0,155 \left[\frac{kN}{cm^2}\right]$$

Beulwert für die orthotrope Platte mit verschmierten Steifen
(ohne Betrachtung des Einzelfeldbeulens):

Für längs ausgesteifte Blechfelder mit mindestens drei äquidistant verteilten Längssteifen darf der Beulwert $k_{\sigma,p}$ zur Berücksichtigung des Gesamtfeldbeulens des ausgesteiften Blechfeldes näherungsweise wie folgt bestimmt werden:

$$k_{\sigma,p} = \frac{2 \cdot \left[(1 + \alpha^2)^2 + \gamma - 1\right]}{\alpha^2 \cdot (\psi + 1) \cdot (1 + \delta)} \quad \text{für} \quad \alpha \leq \sqrt[4]{\gamma}$$

EN 1993-1-5, A.2

$$k_{\sigma,p} = \frac{4 \cdot (1 + \sqrt{\gamma})}{(\psi + 1) \cdot (1 + \delta)} \quad \text{für} \quad \alpha > \sqrt[4]{\gamma}$$

$k_{\sigma,p}, \sigma_E$



$\sigma_{cr,p}$



λ_p



ρ

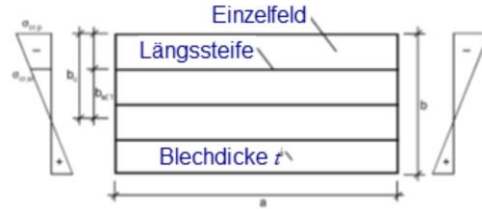
Plattenartiges Verhalten, ρ

Ermittlung des Abminderungsbeiwertes nach DIN EN 1993-1-5

EN 1993-1-5, A.2

$$k_{\sigma,p} = \frac{2 \cdot [(1 + \alpha^2)^2 + \gamma - 1]}{\alpha^2 \cdot (\psi + 1) \cdot (1 + \delta)} \quad \text{für } \alpha \leq \sqrt[4]{\gamma}$$

$$k_{\sigma,p} = \frac{4 \cdot (1 + \sqrt{\gamma})}{(\psi + 1) \cdot (1 + \delta)} \quad \text{für } \alpha > \sqrt[4]{\gamma}$$



$k_{\sigma,p}, \sigma_E$

$\sigma_{cr,p}$

λ_p

ρ

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \geq 0,5$$

$$\alpha = \frac{a}{b}$$

$$\gamma = \frac{I_{sl}}{I_p}$$

$$\delta = \frac{A_{sl}}{A_p}$$

I_{sl} Flächenträgheitsmoment des gesamten längsversteiften Blechfeldes

I_p Flächenträgheitsmoment für Plattenbiegung, $I_p = \frac{b \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} = \frac{b \cdot t^3}{10,92}$

A_{sl} Summe der Bruttoquerschnittsflächen aller Längssteifen ohne Anteile des Blechfeldes

A_p Bruttoquerschnittsfläche des Bleches, $A_p = b \cdot t$

Knickstabähnliches Verhalten, χ_c

Ermittlung des Abminderungsbeiwertes nach DIN EN 1993-1-1 / DIN EN 1993-1-5

$$\chi_c = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_c^2}} \quad \Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_c - 0,2) + \bar{\lambda}_c^2]$$

α Imperfektionsbeiwert; bei ausgesteiften Blechfeldern ist der Imperfektionsbeiwert α i.d.R. zur Berücksichtigung größerer Imperfektionen geschweißter Platten durch den vergrößerten Wert α_e zu ersetzen:

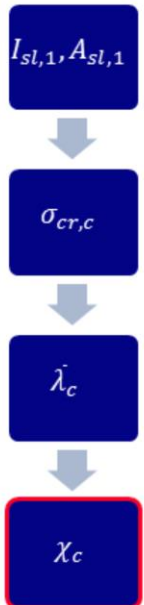
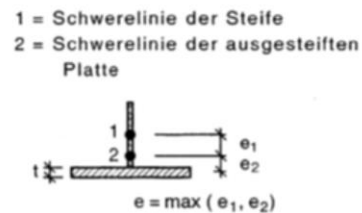
$$\alpha_e = \alpha + \frac{0,09}{i/e} \quad i = \sqrt{\frac{I_{sl,1}}{A_{sl,1}}}$$

$\alpha = 0,34$ (Kurve b) für Hohlsteifenquerschnitte

$\alpha = 0,49$ (Kurve c) für offene Steifenquerschnitte

$A_{sl,1}$ Bruttoquerschnittsfläche des Ersatzdruckstabes, die sich aus der Steife und den angrenzenden mittragenden Blechstreifen entsprechend zusammensetzt

$I_{sl,1}$ Flächenträgheitsmoment des Ersatzdruckstabes



Knickstabähnliches Verhalten, χ_c

Ermittlung des Abminderungsbeiwertes nach DIN EN 1993-1-1 / DIN EN 1993-1-5

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\beta_{A,c} \cdot \frac{f_y}{\sigma_{cr,c}}}$$

EN 1993-1-5, Gl. 4.11

$$\beta_{A,c} = \frac{A_{sl,ef}}{A_{sl,1}}$$

$\beta_{A,c} = 1$ bei nicht ausgesteiften Blechfeldern

EN 1993-1-5, Gl. 4.10

$A_{sl,1}$ Bruttoquerschnittsfläche des Ersatzdruckstabes, die sich aus der Steife und den angrenzenden mittragenden Blechstreifen entsprechend zusammensetzt

$A_{sl,1,eff}$ die wirksame Querschnittsfläche der Steife und der angrenzenden mittragenden Blechstreifen unter Berücksichtigung des Beulens

$I_{sl,1}, A_{sl,1}$



$\sigma_{cr,c}$



λ_c



χ_c

Knickstabähnliches Verhalten, χ_c

Ermittlung des Abminderungsbeiwertes nach DIN EN 1993-1-1 / DIN EN 1993-1-5

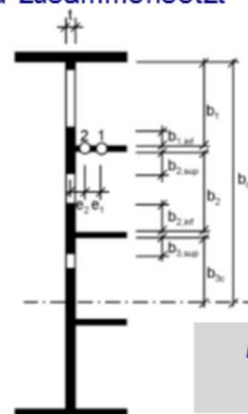
$$\sigma_{cr,c} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{sl,1}}{A_{sl,1} \cdot a^2}$$

$\sigma_{cr,c}$ elastische Knickspannung

$A_{sl,1}$ Bruttoquerschnittsfläche des Ersatzdruckstabes, die sich aus der Steife und den angrenzenden mittragenden Blechstreifen entsprechend zusammensetzt

$I_{sl,1}$ Flächenträgheitsmoment des Ersatzdruckstabes

	Breite bei Bruttoquerschnittsfläche	Breite bei wirksamen Flächen nach Tabelle 4.1	Bedingung für ψ_i
$h_{1,inf}$	$\frac{3-\psi_1}{5-\psi_1} h_1$	$\frac{3-\psi_1}{5-\psi_1} h_{1,eff}$	$\psi_1 = \frac{\sigma_{cr,sl,1}}{\sigma_{cr,p}} > 0$
$h_{2,sup}$	$\frac{2}{5-\psi_2} h_2$	$\frac{2}{5-\psi_2} h_{2,eff}$	$\psi_2 = \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr,sl,1}} > 0$
$h_{2,inf}$	$\frac{3-\psi_2}{5-\psi_2} h_2$	$\frac{3-\psi_2}{5-\psi_2} h_{2,eff}$	$\psi_2 > 0$
$h_{3,sup}$	$0,4 h_{3c}$	$0,4 h_{3c,eff}$	$\psi_3 = \frac{\sigma_3}{\sigma_2} < 0$



$I_{sl,1}, A_{sl,1}$

$\sigma_{cr,c}$

λ_c

χ_c

EN 1993-1-5,
Bild A.1

Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

gegeben:

- Querschnittswerte:

$$A_{ges} = 714,3 \text{ cm}^3$$

$$I_{sl} = 57.130 \text{ cm}^4$$

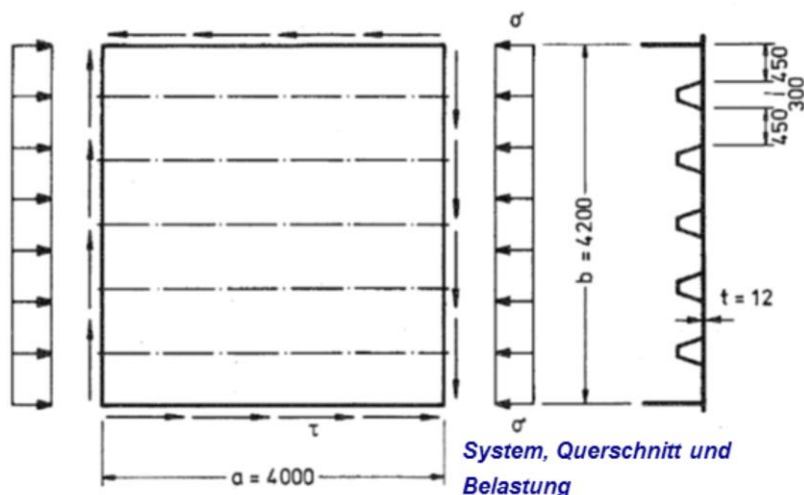
- Steifenquerschnittswerte:

$$I_{sl,l} = 10.500 \text{ cm}^4$$

- Stahl S355

- Belastung:

$$\sigma_{Sd} = 24,5 \text{ kN/cm}^2$$



gesucht:

Weisen Sie die ausreichende Sicherheit der orthotropen Platte gegen Beulen unter Längsspannungen nach.

Hinweis:

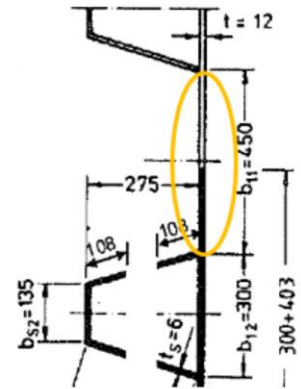
- Blechränder und Randsteifen sind starr

Blechfelder nicht ausgesteift

Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Plattenbeulen der Einzelfelder (Blechränder und Steifen sind starr)

Einzelblech 1: $b = 45\text{cm}$, $t = 1,2\text{cm}$



$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{45/1,2}{28,4 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{4}} = 0,815$$

$$> 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,673$$

$$\Rightarrow \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,815 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{0,815^2}$$

$$= 0,896$$

$$A_{c,eff} = \rho \cdot A_c$$

$$= 0,896 \cdot 45[\text{cm}] \cdot 1,2[\text{cm}]$$

$$= 48,8[\text{cm}^2]$$

Tabelle 4.1 — Zweiseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile

Spannungsverteilung (Druck positiv)			Wirksame Breite b_{eff}		
	σ_1	σ_2	$\psi = 1$: $b_{eff} = \rho \cdot \bar{b}$		
			$b_{e1} = 0,5 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5 b_{eff}$		
	σ_1	σ_2	$1 > \psi \geq 0$: $b_{eff} = \rho \cdot \bar{b}$		
			$b_{e1} = \frac{2}{5-\psi} b_{eff}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$		
	σ_1	σ_2	$\psi < 0$: $b_{eff} = \rho \cdot b_c = \rho \cdot \bar{b} (1 - \psi)$		
			$b_{e1} = 0,4 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6 b_{eff}$		
$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Beulwert k_σ	4,0	$8,2/(1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9
					$5,98 (1 - \psi)^2$

Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Plattenbeulen der Einzelfelder (Blechränder und Steifen sind starr)

Einzelblech 2: $b = 30\text{cm}$, $t = 1,2\text{cm}$

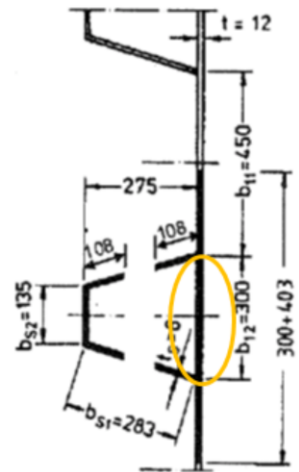
$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1,0 \Rightarrow k_\sigma = 4,0$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{30/1,2}{28,4 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{4}} = 0,543$$

$$< 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,673$$

$$\Rightarrow \rho = 1,0$$

$$A_{c,eff} = \rho \cdot A_c = 1,0 \cdot 30[\text{cm}] \cdot 1,2[\text{cm}] = 36[\text{cm}^2]$$



Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Plattenbeulen der Einzelfelder (Blechränder und Steifen sind starr)

Einzelblech 3: $b = 30\text{cm}$, $t = 0,6\text{cm}$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1,0 \Rightarrow k_\sigma = 4,0$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{28,3/0,6}{28,4 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{4}} = 1,025$$

$$> 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,673$$

$$\Rightarrow \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,025 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{1,025^2}$$

$$= 0,766$$

$$A_{c,eff} = \rho \cdot A_c = 0,766 \cdot 28,3[\text{cm}] \cdot 0,6[\text{cm}] = 13,0[\text{cm}^2]$$



Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Plattenbeulen der Einzelfelder (Blechränder und Steifen sind starr)

Einzelblech 3: $b = 13,5\text{cm}$, $t = 1,2\text{cm}$

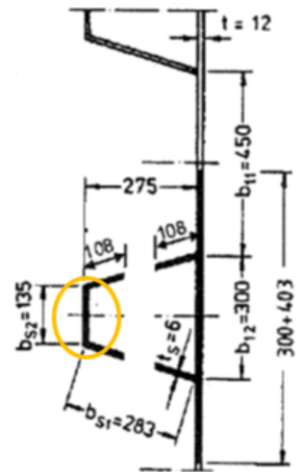
$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1,0 \Rightarrow k_\sigma = 4,0$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{13,5/1,2}{28,4 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{4}} = 0,489$$

$$< 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,673$$

$$\Rightarrow \rho = 1,0$$

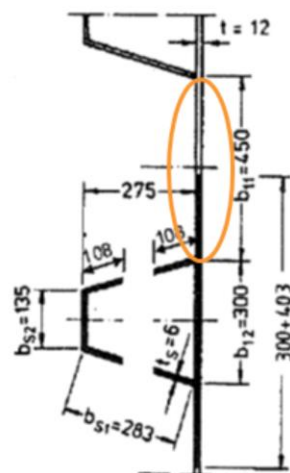
$$A_{c,eff} = \rho \cdot A_c = 1,0 \cdot 13,5[\text{cm}] \cdot 0,6[\text{cm}] = 8,1[\text{cm}^2]$$



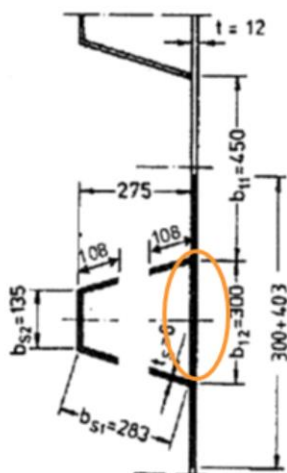
Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Plattenbeulen der Einzelfelder (Blechränder und Steifen sind starr)

Zusammenfassung:



$$\rho = 0,896 \Rightarrow A_{c,eff} = 48,8 [cm^2]$$



$$\rho = 1,0 \Rightarrow A_{c,eff} = 36,0 [cm^2]$$



$$\rho = 0,766 \Rightarrow A_{c,eff} = 13,0[cm^2]$$



$$\rho = 1, 0 \Rightarrow A_{c,eff} = 8, 1 [cm^2]$$

Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Plattenbeulen des Gesamtfeldes

Wirksame Fläche der Druckzone:

$$A_{c,eff} = \rho_c \cdot A_{c,eff,loc} + \sum b_{edge,eff} \cdot t \quad \text{EN 1993-1-5, Gl. 4.5}$$

Der Abminderungsfaktor ρ_c ist in der Regel durch Interpolation zwischen dem

1. Abminderungsfaktor ρ für **plattenartiges Verhalten** und dem
2. Abminderungsfaktor χ_c für **knickstabähnliches Verhalten**

zu ermitteln.

1. Plattenartiges Verhalten, beidseitig gestützte Querschnittsteile:

$$\rho = 1,0 \quad \text{für} \quad \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi}$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 \quad \text{für} \quad \bar{\lambda}_p > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi}$$

Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

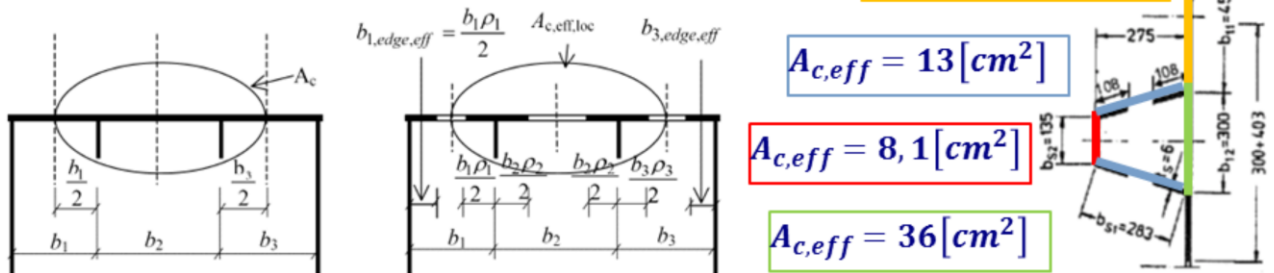
Plattenbeulen des Gesamtfeldes

1. Untersuchung „Plattenartiges Verhalten“

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\beta_{A,c} \cdot \frac{f_y}{\sigma_{cr,p}}} \quad \beta_{A,c} = \frac{A_{c,eff,loc}}{A_c}$$

$$A_{c,eff,loc} = 5 \cdot (48,4 + 36 + 2 \cdot 13 + 8,1) = 592,5 [cm^2]$$

die Querschnittsteile $b_{1,edge,eff}$ und $b_{3,edge,eff}$ werden nicht berücksichtigt!



Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

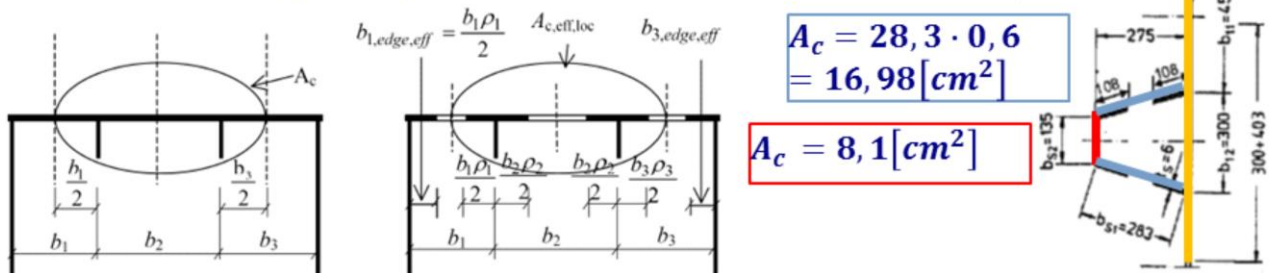
Plattenbeulen des Gesamtfeldes

1. Untersuchung „Plattenartiges Verhalten“

$$A_c = 5 \cdot (16,98 \cdot 2 + 8,1) + 1,2 \cdot \left(420 - 2 \cdot \frac{45}{2} \right) = 660,3 [cm^2]$$

$$\beta_{A,c} = \frac{A_{c,eff,loc}}{A_c} = \frac{592,5 [cm^2]}{660,3 [cm^2]} = 0,897$$

die Querschnittsteile $b_1/2$ und $b_3/2$ werden nicht berücksichtigt!



Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Plattenbeulen des Gesamtfeldes

1. Untersuchung „Plattenartiges Verhalten“

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\beta_{A,c} \cdot \frac{f_y}{\sigma_{cr,p}}} \quad \sigma_{cr,p} = k_{\sigma,p} \cdot \sigma_E$$

$$\sigma_E = 19.000 \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 \left[\frac{kN}{cm^2}\right] = 19.000 \cdot \left(\frac{1,2}{420}\right)^2 = 0,155 \left[\frac{kN}{cm^2}\right]$$

$$k_{\sigma,p} = \frac{2 \cdot [(1 + \alpha^2)^2 + \gamma - 1]}{\alpha^2 \cdot (\psi + 1) \cdot (1 + \delta)} \quad \text{für} \quad \alpha \leq \sqrt[4]{\gamma} \quad \gamma = \frac{I_{sl}}{I_p}$$

$$k_{\sigma,p} = \frac{4 \cdot (1 + \sqrt{\gamma})}{(\psi + 1) \cdot (1 + \delta)} \quad \text{für} \quad \alpha > \sqrt[4]{\gamma} \quad \gamma = \frac{I_{sl}}{I_p}$$

$$\alpha = \frac{a}{b} = \frac{400}{420} = 0,952 \geq 0,5 \Rightarrow \alpha = 0,952$$

Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Plattenbeulen des Gesamtfeldes

1. Untersuchung „Plattenartiges Verhalten“

$$\gamma = \frac{I_{sl}}{I_p} = \frac{I_{sl}}{\left(\frac{b \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \right)} = \frac{57.130}{\left(\frac{420 \cdot 1,2^3}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \right)} = 859,6$$

$$\alpha = 0,952 \leq \sqrt[4]{859,6} = 5,42 \quad \longrightarrow \quad k_{\sigma,p} = \frac{2 \cdot \left[(1 + \alpha^2)^2 + \gamma - 1 \right]}{\alpha^2 \cdot (\psi + 1) \cdot (1 + \delta)}$$

$$\psi = 1,0$$

$$\text{Steifenquerschnittswerte: } A = 42,06 \text{ cm}^2 \quad \delta = \frac{\sum A_{sl}}{A_p} = \frac{5 \cdot 42,06}{420 \cdot 1,2} = 0,417$$

$$k_{\sigma,p} = \frac{2 \cdot \left[(1 + 0,952^2)^2 + 859,6 - 1 \right]}{0,952^2 \cdot (1 + 1) \cdot (1 + 0,417)} = 671,4$$

Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Plattenbeulen des Gesamtfeldes

1. Untersuchung „Plattenartiges Verhalten“

$$\sigma_{cr,p} = k_{\sigma,p} \cdot \sigma_E = 671,4 \cdot 0,155 \left[\frac{kN}{cm^2} \right] = 104,07 \left[\frac{kN}{cm^2} \right]$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\beta_{A,c} \cdot \frac{f_y}{\sigma_{cr,p}}} = \sqrt{0,987 \cdot \frac{35,5}{104,07}} = 0,533$$

$$< 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,673$$

$$\Rightarrow \rho = 1,0$$

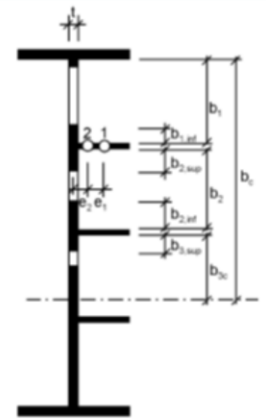
Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Plattenbeulen des Gesamtfeldes

2. Untersuchung „Knickstabähnliches Verhalten“

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\beta_{A,c} \cdot \frac{f_y}{\sigma_{cr,c}}} \quad \beta_{A,c} = \frac{A_{sl,1,eff}}{A_{sl,1}}$$

$$\sigma_{cr,c} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{sl,1}}{A_{sl,1} \cdot a^2}$$



	Breite bei Bruttoquerschnittsfläche	Breite bei wirksamen Flächen nach Tabelle 4.1	Bedingung für ψ_i
$b_{1,inf}$	$\frac{3-\psi_1}{5-\psi_1} b_1$	$\frac{3-\psi_1}{5-\psi_1} b_{1,eff}$	$\psi_1 = \frac{\sigma_{cr,sl,1}}{\sigma_{cr,p}} > 0$
$b_{2,sup}$	$\frac{2}{5-\psi_2} b_2$	$\frac{2}{5-\psi_2} b_{2,eff}$	$\psi_2 = \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr,sl,1}} > 0$
$b_{2,inf}$	$\frac{3-\psi_2}{5-\psi_2} b_2$	$\frac{3-\psi_2}{5-\psi_2} b_{2,eff}$	$\psi_2 > 0$
$b_{3,sup}$	$0,4 b_{3c}$	$0,4 b_{3c,eff}$	$\psi_3 = \frac{\sigma_3}{\sigma_2} < 0$

Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Plattenbeulen des Gesamtfeldes

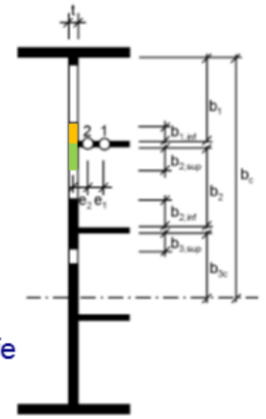
2. Untersuchung „Knickstabähnliches Verhalten“

$A_{sl,1}$

$$= 2 \cdot 16,98 + 8,1 + 30 \cdot 1,2 + \frac{3-1}{5-1} \cdot 45 \cdot 1,2 + \frac{2}{5-1} \cdot 45 \cdot 1,2$$

$$= 132,06 [cm^2]$$

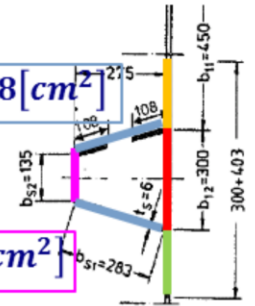
$A_{sl,1}$: Bruttoquerschnittsfläche des Ersatzdruckstabes, die sich aus der Steife und den angrenzenden mittragenden Blechstreifen zusammensetzt



	Breite bei Bruttoquerschnittsfläche	Breite bei wirksamen Flächen nach Tabelle 4.1
$b_{1,inf}$	$\frac{3-\psi_1}{5-\psi_1} b_1$	$\frac{3-\psi_1}{5-\psi_1} b_{1,eff}$
$b_{2,sup}$	$\frac{2}{5-\psi_2} b_2$	$\frac{2}{5-\psi_2} b_{2,eff}$
$b_{2,inf}$	$\frac{3-\psi_2}{5-\psi_2} b_2$	$\frac{3-\psi_2}{5-\psi_2} b_{2,eff}$
$b_{3,sup}$	$0,4 b_{3c}$	$0,4 b_{3c,eff}$

$$A_c = 16,98 [cm^2]$$

$$A_c = 8,1 [cm^2]$$



Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Plattenbeulen des Gesamtfeldes

2. Untersuchung „Knickstabähnliches Verhalten“

$$A_{sl,1,eff}$$

$$= 2 \cdot 13,0 + 8,1 + 36,0 + \frac{3-1}{5-1} \cdot 48,8 + \frac{2}{5-1} \cdot 48,8$$

$$= 118,9 [cm^2]$$

$A_{sl,1,eff}$: wirksame Querschnittsfläche der Steife und der angrenzenden mittragenden Blechstreifen unter Berücksichtigung des Beulens

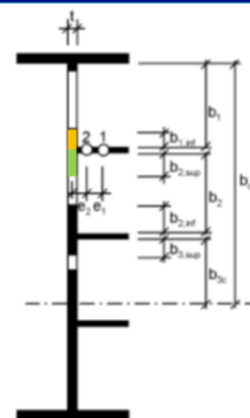
	Breite bei Bruttoquerschnittsfläche	Breite bei wirksamen Flächen nach Tabelle 4.1
$b_{1,inf}$	$\frac{3-\psi_1}{5-\psi_1} b_1$	$\frac{3-\psi_1}{5-\psi_1} b_{1,eff}$
$b_{2,sup}$	$\frac{2}{5-\psi_2} b_2$	$\frac{2}{5-\psi_2} b_{2,eff}$
$b_{2,inf}$	$\frac{3-\psi_2}{5-\psi_2} b_2$	$\frac{3-\psi_2}{5-\psi_2} b_{2,eff}$
$b_{3,sup}$	$0,4 b_{3c}$	$0,4 b_{3c,eff}$

$$A_{c,eff} = 36,0 [cm^2]$$

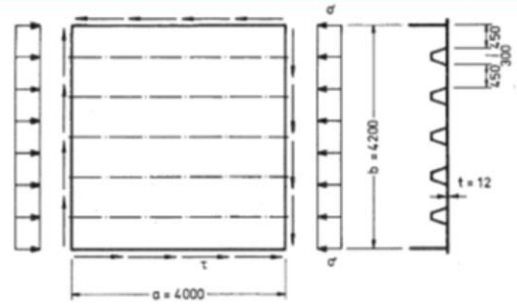
$$A_{c,eff} = 13,0 [cm^2]$$

$$A_{c,eff} = 8,1 [cm^2]$$

$$A_{c,eff} = 48,8 [cm^2]$$



Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen Plattenbeulen des Gesamtfeldes 2. Untersuchung „Knickstabähnliches Verhalten“



$$\beta_{A,c} = \frac{A_{sl,1,eff}}{A_{sl,1}} = \frac{118,9}{132,06} = 0,897$$

$$\sigma_{cr,c} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{sl,1}}{A_{sl,1} \cdot a^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21.000 \cdot 10.500}{132,06 \cdot 400^2} = 103,0 \left[\frac{kN}{cm^2} \right]$$

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{0,897 \cdot \frac{35,5}{103,0}} = 0,556$$

σ_{cr} immer mit Bruttoflächen

Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen Plattenbeulen des Gesamtfeldes 2. Untersuchung „Knickstabähnliches Verhalten“

Ermittlung des Knickbeiwertes nach EN 1993-1-5 / 1-1:

$$\chi_c = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_c^2}}$$

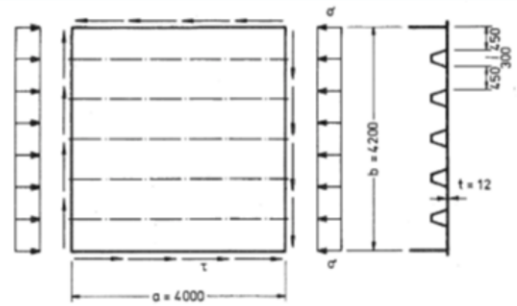
$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_c - 0,2) + \bar{\lambda}_c^2]$$

Bei ausgesteiften Blechfeldern ist der Imperfektionsbeiwert α in der Regel zur Berücksichtigung größerer Imperfektionen geschweißter Platten durch den vergrößerten Wert α_e zu ersetzen:

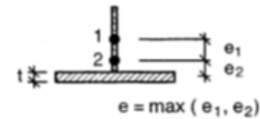
$$\alpha_e = \alpha + \frac{0,09}{i/e} \quad i = \sqrt{\frac{I_{sl,1}}{A_{sl,1}}} = \sqrt{\frac{10.500}{132,06}} = 8,92 [cm]$$

$\alpha = 0,34$ (Kurve b) für Hohlsteifenquerschnitte

$\alpha = 0,49$ (Kurve c) für offene Steifenquerschnitte



1 = Schwerelinie der Steife
2 = Schwerelinie der ausgesteiften Platte



Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Plattenbeulen des Gesamtfeldes

2. Untersuchung „Knickstabähnliches Verhalten“

Ermittlung des Knickbeiwertes nach EN 1993-1-5 / 1-1:

$$e = \max(e_1, e_2)$$

$$e_1 + e_2 = \frac{2 \cdot 16,98 \cdot 14,35 + 8,1 \cdot 27,8}{2 \cdot 16,98 + 8,1}$$

$$= 16,94[cm]$$

$$e_2 = \frac{(2 \cdot 16,98 + 8,1) \cdot 16,94 + A_{Platte} \cdot 0}{132,06} = 5,40[cm]$$

$$e_1 = 16,94[cm] - 5,40[cm] = 11,54[cm]$$

$$\Rightarrow e = e_1 = 11,54[cm]$$

$$\alpha_e = 0,34 + \frac{0,09}{8,92[cm]/11,54[cm]} = 0,457$$

$$z = \frac{27,5}{2} + 0,6 = 14,35$$

$$A_c = 16,98[cm^2]$$

$$A_c = 8,1[cm^2]$$

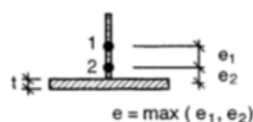
$$z = 27,5 - 0,3 + 0,6 = 27,8$$

$$A_{sl,1} = 132,06[cm^2]$$



1 = Schwerlinie der Steife

2 = Schwerlinie der ausgesteiften Platte



Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Plattenbeulen des Gesamtfeldes

2. Untersuchung „Knickstabähnliches Verhalten“

Ermittlung des Knickbeiwertes nach EN 1993-1-5 / 1-1:

$$\begin{aligned}\Phi &= 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_c - 0,2) + \bar{\lambda}_c^2] \\ &= 0,5 \cdot [1 + 0,457 \cdot (0,556 - 0,2) + 0,556^2] \\ &= 0,736\end{aligned}$$

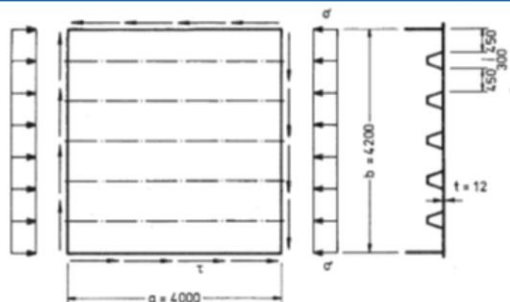
$$\chi_c = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_c^2}} = \frac{1}{0,736 + \sqrt{0,736^2 - 0,556^2}} = 0,821$$

Interpolation zwischen plattenartigem und knickstabähnlichen Verhalten:

$$\rho_c = (\rho - \chi_c) \cdot \xi \cdot (2 - \xi) + \chi_c$$

$$\xi = \frac{\sigma_{cr,p}}{\sigma_{cr,c}} - 1 = \frac{104,7}{103} - 1 = 0,01$$

$$\Rightarrow \rho_c = (1 - 0,821) \cdot 0,01 \cdot (2 - 0,01) + 0,821 = 0,823$$



Beispiel 2: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen Plattenbeulen des Gesamtfeldes

Effektiver Querschnitt:

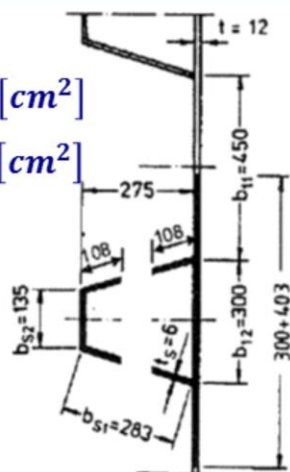
$$A_{c,eff,loc} = 592,5 [cm^2]$$

$$A_{ges} = 714,3 [cm^2]$$

$$A_{c,eff} = \rho_c \cdot A_{c,eff,loc} + \sum b_{edge,eff} \cdot t$$

$$= 0,832 \cdot 592,5 [cm^2] + 2 \cdot \frac{45 [cm]}{2} \cdot 1,2 [cm]$$

$$= 541,6 [cm^2]$$



Nachweis:

$$\eta_1 = \frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}} = \frac{N_{Ed}}{f_{yd} \cdot A_{c,eff}} = \frac{24,5 \left[\frac{kN}{cm^2} \right] \cdot 714,3 [cm^2]}{\left(35,5 \left[\frac{kN}{cm^2} \right] / 1,0 \right) \cdot 541,6 [cm^2]} = 0,91 < 1$$

Beispiel 3: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

gegeben:

- Querschnittswerte:

$$A_{ges} = 714,3 \text{ cm}^3$$

$$I_{sl} = 57.130 \text{ cm}^4$$

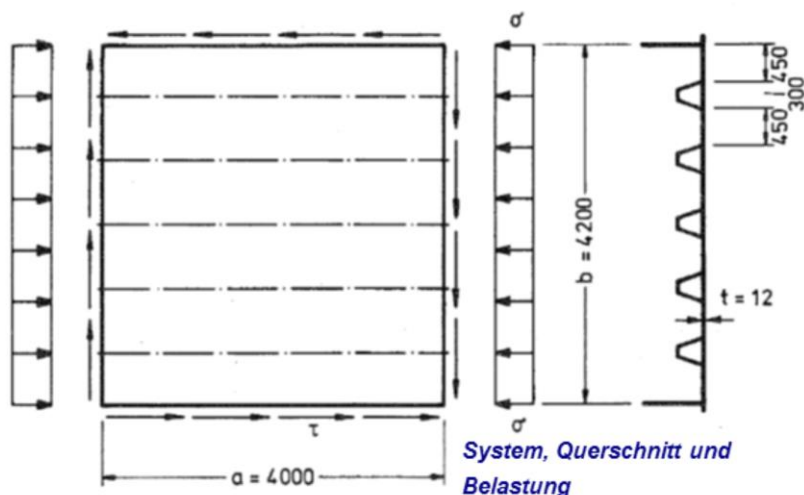
- Steifenquerschnittswerte:

$$I_{sl,l} = 10.675 \text{ cm}^4$$

- Stahl S355

- Belastung:

$$\tau_{sd} = 4,1 \text{ kN/cm}^2$$



gesucht:

Weisen Sie die ausreichende Sicherheit der orthotropen Platte gegen Beulen unter Schubspannungen nach.

Hinweis:

- Blechränder und Randsteifen sind starr

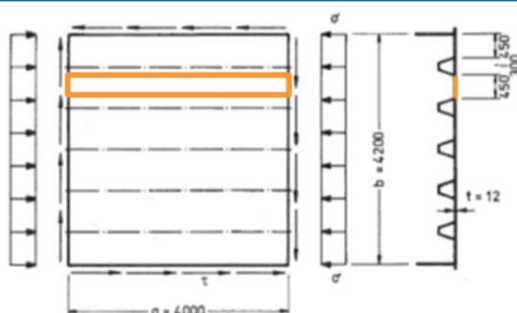
Blehfelder nicht ausgesteift

Beispiel 3: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Nachweis für das Einzelfeld

Nachweis:

Nachweis auf Schubbeulen (nicht ausgesteifte Blechfelder) erforderlich, wenn:



$$\frac{h_w}{t} > \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon \quad \frac{450}{12} = 37,5 > \frac{72}{1,2} \cdot 0,81 = 48,6$$

Ermittlung des Bemessungswiderstandes gegen Querkraft unter Berücksichtigung des Schubbeulens:

$$V_{b,Rd} = \underbrace{V_{bw,Rd}}_{\text{Beitrag Steg}} + \underbrace{V_{bf,Rd}}_{\text{Beitrag Flansch}} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

der Beitrag der Flansche wird i.d.R. vernachlässigt

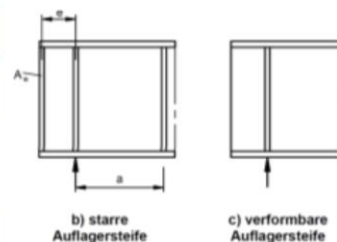
$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

Beispiel 3: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Nachweis für das Einzelfeld

Bei Stegen mit Quersteifen nur an den Auflagern und Stegen die quer und/oder längs ausgesteift sind, ist χ_w zu bestimmen nach:

	starre Auflagersteife	verformbare Auflagersteife
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	$\chi_w = \eta$	$\chi_w = \eta$
$\frac{0,83}{\eta} \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w}$	$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w}$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$\chi_w = \frac{1,37}{0,7 + \bar{\lambda}_w}$	$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w}$



EN 1993-1-5, (Tab. 5.1)

$$\bar{\lambda}_w = 0,76 \cdot \sqrt{\frac{f_{yw}}{\tau_{cr}}} \equiv \frac{h_w}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}}$$

Beispiel 3: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen Nachweis für das Einzelfeld



$$k_{\tau} = 5,34 + 4,00 \cdot (h_w/a)^2 + k_{\tau Sl} \quad \text{für } a/h_w \geq 1,0$$

$$k_{\tau} = 4,00 + 5,34 \cdot (h_w/a)^2 + k_{\tau Sl} \quad \text{für } a/h_w < 1,0$$

$$a/h_w = 400/45 = 8,89 > 1,0$$

$$k_{\tau Sl} = 0 \quad (\text{keine Steife im Einzelfeld})$$

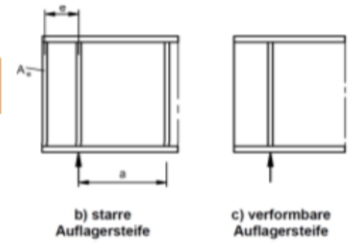
$$k_{\tau} = 5,34 + 4,00 \cdot (45/400)^2 = 5,39$$

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}_w &= \frac{h_w}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\tau}}} \\ &= \frac{45}{37,4 \cdot 1,2 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{5,39}} = 0,533 \end{aligned}$$

Beispiel 3: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Nachweis für das Einzelfeld

	starre Auflagersteife	verformbare Auflagersteife
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	$\chi_w = \eta$	$\chi_w = \eta$
$\frac{0,83}{\eta} \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w}$	$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w}$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$\chi_w = \frac{1,37}{0,7 + \bar{\lambda}_w}$	$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w}$



EN 1993-1-5, (Tab. 5.1)

$\eta = 1,2$ für Stahlsorten bis S460

Verformbare Auflagersteife:

$$\bar{\lambda}_w = 0,533 < \frac{0,83}{1,2} = 0,69$$

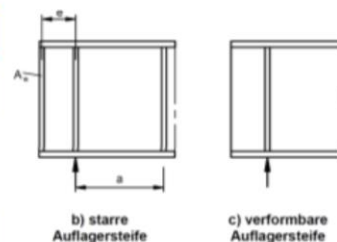
$$\chi_w = \eta = 1,2$$

Beispiel 3: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Nachweis des Gesamtbleches

Bei Stegen mit Quersteifen nur an den Auflagern und Stegen die quer und/oder längs ausgesteift sind, ist χ_w zu bestimmen nach:

	starre Auflagersteife	verformbare Auflagersteife
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	$\chi_w = \eta$	$\chi_w = \eta$
$\frac{0,83}{\eta} \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w}$	$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w}$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$\chi_w = \frac{1,37}{0,7 + \bar{\lambda}_w}$	$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w}$



EN 1993-1-5, (Tab. 5.1)

$$\bar{\lambda}_w = 0,76 \cdot \sqrt{\frac{f_{yw}}{\tau_{cr}}} \equiv \frac{h_w}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}}$$

Beispiel 3: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Nachweis des Gesamtbleches

$$k_{\tau} = 5,34 + 4,00 \cdot (h_w/a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{für} \quad a/h_w \geq 1,0$$

$$k_{\tau} = 4,00 + 5,34 \cdot (h_w/a)^2 + k_{\tau sl} \quad \text{für} \quad a/h_w < 1,0$$

$$a/h_w = 400/420 = 0,95 < 1,0$$

$$k_{\tau sl} < 0 \quad (\text{Berücksichtigung der Steifen})$$

$$k_{\tau,sl} = 9 \cdot \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 \cdot \left(\frac{I_{sl}}{t^3 \cdot h_w}\right)^{3/4} > \frac{2,1}{t} \cdot \left(\frac{I_{sl}}{h_w}\right)^{1/3} \Rightarrow$$

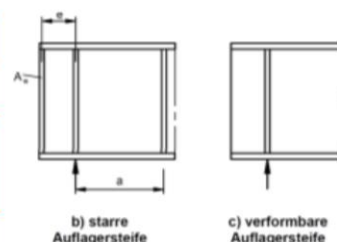
$$k_{\tau,sl} = 9 \cdot \left(\frac{420}{400}\right)^2 \cdot \left(\frac{5 \cdot 10.675}{1,2^3 \cdot 420}\right)^{3/4} = 249,19 > \frac{2,1}{1,2} \cdot \left(\frac{5 \cdot 10.675}{420}\right)^{1/3} = 8,80$$

$$k_{\tau} = 4,00 + 5,34 \cdot (420/400)^2 + 249,19 = 259,08$$

Beispiel 3: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Nachweis des Gesamtbleches

	starre Auflagersteife	verformbare Auflagersteife
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	$\chi_w = \eta$	$\chi_w = \eta$
$\frac{0,83}{\eta} \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w}$	$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w}$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$\chi_w = \frac{1,37}{0,7 + \bar{\lambda}_w}$	$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w}$



EN 1993-1-5, (Tab. 5.1)

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{420}{37,4 \cdot 1,2 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{259,09}} = 0,718$$

Verformbare Auflagersteife:

$$\frac{0,83}{1,2} = 0,69 < \bar{\lambda}_w = 0,718 < 1,08$$

$$\Rightarrow \chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{0,718} = 1,156$$

Beispiel 3: Orthotrope Platte mit Trapezsteifen

Nachweis des Gesamtbleches

$$\chi_w = \min\{\chi_{v1}, \chi_{v2}\} = \min\{1,20, 1,156\} = 1,156 \leq \eta = 1,20$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1,156 \cdot 35,5 \cdot 420 \cdot 1,2}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 10.855,84[kN]$$

Nachweis:

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = \frac{4,10[kN/cm^2] \cdot 1,2[cm] \cdot 420[cm]}{10.855,84[kN]} = 0,19 \leq 1,0$$

$$\bar{\eta}_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = \eta_3 \leq 0,5 \Rightarrow \text{Einfluss aus Interaktion (EN 1993-1-5, Kap. 7.1) ist nicht zu untersuchen}$$

$\eta_3 = \bar{\eta}_3$ da $V_{bf,Rd}$ vernachlässigt wurde