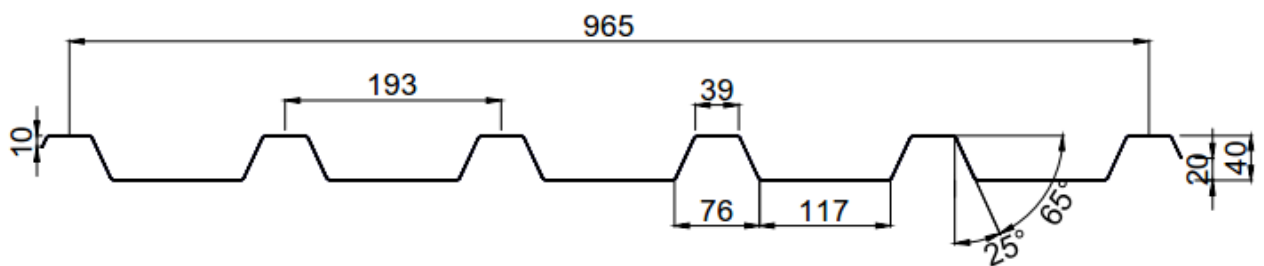


2954 Ridem AG, Nachweise vom Trapezprofilen

Zusammenfassung der statischen Nachweise

Querschnitt



Der dargestellte kaltgeformte Querschnitte einer Stahlqualität S250GD, wurde anhand des Eurocodes 3 (EN1993–3–1:2006+AC:2009) auf dessen Traglast überprüft. Das verwendete Verfahren wird in die folgendem Text beschrieben. Alle erwähnten Artikel beziehen sich auf Artikel aus dieser Norm. Es wurden keine Berechnungen nach der alten DIN 18807 durchgeführt, weil diese Norm durch den neuen Eurocodes 3 ersetzt wurde. Die Sicherheitsfaktoren (z.B. " γ_{M0} ", oder " γ_{M1} ",) wurden mit dem Wert 1.10 berücksichtigt.

Geometrischen Eigenschaften

Normalerweise, müssen die geometrischen Eigenschaften der Querschnitte gemäß §3.2.2 reduziert werden. Jedoch, diese Reduzierung, ebenso gut die von §5.1 vorgeschlagene zusätzliche Reduzierung, ebenso gut die Berechnung der geometrischen Eigenschaften gemäß Anhang C (pp. 134-136) wurden alle mit einer analytischen numerischen Berechnung der geometrischen Eigenschaften durch ein CAD Programm ersetzt, um bessere numerische Genauigkeit zu anschaffen.

Verformungen

Die Berechnungen der Verformungen zur Kontrolle der Verformungsgrenzen " $L/150$," und " $L/300$," (wobei L = Spannweite) wurden einfachweishalber nach Theorie 1. Ordnung berechnet, ohne die Verschiebung der neutralen Achse zu berücksichtigen.

Eindreuen der Flansche

Das Eindreuen " u ," der Flansche ist gemäß §5.3 berücksichtigt worden:

$$u = 2 \cdot \frac{\sigma_{mean}}{E^2} \cdot \frac{b_s^4}{t \cdot z}$$

Mit:

- σ_{mean} Hauptspannung entlang der Flansche
- E Elastizitätsmodul
- b_s Breite der Flansche
- t Dicke der Flansche
- z Vertikaler Abstand der Mitte des Flansches aus dem Schwerpunkt des Querschnitts

Wenn das Eindrehen weniger als 5% der Querschnittshöhe beträgt, ist keine wichtige Durchbiegung der Flansche zu erwarten.

Wirksamen Stegteile

Die wirksamen Stegteile des Querschnitts wurden gemäß §5.5.3.4.3 berechnet. Dabei wurden die Formeln für Stege ohne Aussteifungen verwendet:

$$S_{eff,1} = 1.0 \cdot S_{eff,0} \quad \text{und} \quad S_{eff,n} = 1.5 \cdot S_{eff,0}$$

Mit:

$$S_{eff,0} = 0.76 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{\gamma_{M0} \cdot \sigma_{com}}} \quad , \quad \text{und} \quad \sigma_{com} \cong f_y / 1.10$$

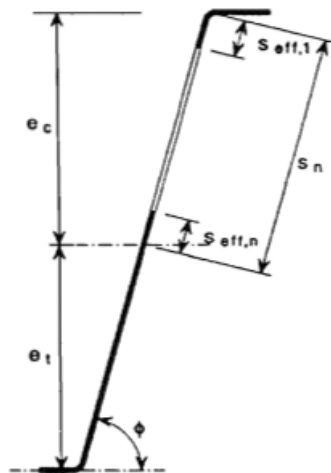


Bild 5.12 (EN 1993-3-1:2006+AC:2009)

Die Berechnung für den Fall $S_{eff,1} + S_{eff,n} > S_n$ mit $S_n = \frac{e_c}{\cos \phi}$ (Bild 5.12) wurde auch durchgeführt.

Wirksamen Flanschteile

Die wirksamen Teile der Flansche wurden gemäß §5.5.3.4.3 berechnet. Die Berechnung der Schlankheit von jedem Teilquerschnitt wurde mit folgender Formel berechnet:

$$\lambda_p = \frac{b_p / t}{28.4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{K_\sigma}}$$

Mit:

- b_p Breite der Flansche

- t Dicke der Flansche
 $\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$ und $f_y \rightarrow N/mm^2$
 K_σ wird mit Hilfe der Tabellen 4.1 und 4.2 der EN 1993-1-5:2006 berechnet, entsprechend der Spannungsverteilung in jedem Flansch

Entsprechend dem Wert der Schlankheit, wurde der Breitereduzierungsfaktor " ρ ", von jedem Flansch berechnet:

- Bei zweifach gelagerten Teilflächen:
 - o Wenn $\lambda_p \leq 0.5 + \sqrt{0.085 - 0.055 \cdot \psi}$, dann $\rho = 1$
 - o Wenn $\lambda_p > 0.5 + \sqrt{0.085 - 0.055 \cdot \psi}$, dann $\rho = \frac{\lambda_p^{-0.055 \cdot (3+\psi)}}{\lambda_p^2} \leq 1$
- Bei einfach gelagerten Teilflächen:
 - o Wenn $\lambda_p \leq 0.748$, dann $\rho = 1$
 - o Wenn $\lambda_p > 0.748$, dann $\rho = \frac{\lambda_p^{-0.188}}{\lambda_p^2} \leq 1$

Wobei " ψ ", für das Spannungsverhältnis steht (Tabellen 4.1 und 4.2 von EN 1993-1-5:2006).

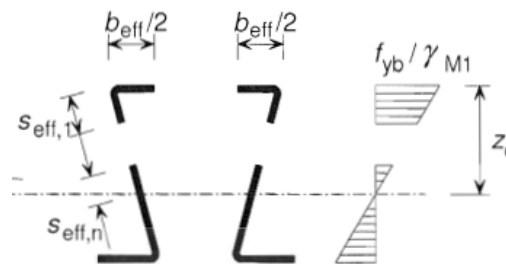


Bild 6.3 (EN 1993-3-1:2006+AC:2009)

Die wirksamen Breiteile sind (Bild 6.3):

$$b_{e1} = b_{e2} = 0.5 \cdot b_{eff}$$

Mit:

$$b_{eff} = \rho \cdot b_p$$

Biegemomententragfähigkeit

Die Biegemomententragfähigkeit wurde gemäß §6.1.4.1 berechnet. Für die untersuchten Querschnitte wurden folgende Gleichungen verwendet:

$$M_{c,Rd} = \begin{cases} W_{eff} \cdot \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} & , \text{ wenn } W_{eff} < W_{el} \\ W_{el} \cdot \frac{f_{ya}}{\gamma_{M0}} & , \text{ wenn } W_{eff} = W_{el} \end{cases}$$

Beim zweiten Fall, wird auch geprüft ob $M_{c,Rd} \leq W_{pl} \cdot \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}}$ gültig ist.

Mit:

- W_{eff} Widerstandsmoment des wirksamen Teilquerschnitts, unter Berücksichtigung der Verschiebung der neutralen Achse
 W_{el} Elastisches Widerstandsmoment des vollen Querschnittes
 W_{pl} Plastisches Widerstandsmoment des vollen Querschnittes
 $f_{y\alpha}$ Durchschnittsstreckgrenze des Materials
 f_{yb} Basisstreckgrenze des Materials

Schubtragfähigkeit

Die Schubtragfähigkeit wurde anhand der Gleichung (6.10a) gemäß §6.1.5 berechnet:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin\varphi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

Mit:

- h_w Höhe der Stege
 φ Winkel von jedem Steg in Bezug auf die vertikale Biegeachse
 t Dicke des Querschnitts
 f_{bv} Grenzschubspannung unter Berücksichtigung lokalen Beulens (nach Tabelle 6.1)

Örtliche Lastenleitung

Um örtliches Zusammendrücken, Stegkrüppeln oder örtliches Beulen im Steg, hervorgerufen durch Auflagerkräfte oder örtliche Lastenleitungen durch den Flansch in den Steg, zu vermeiden, ist die Beanspruchbarkeit " $R_{w,Rd}$ " des Steges unter örtlicher Lastenleitung gemäß §6.1.7.3 zu prüfen:

$$R_{w,Rd} = \alpha \cdot t^2 \cdot \sqrt{f_{yb} \cdot E} \cdot (1 - 0.1 \cdot \sqrt{r/t}) \cdot [0.5 + \sqrt{0.02 \cdot l_a/t}] \cdot (2.4 + (\phi/90)^2) / \gamma_{M1}$$

Mit:

- α Reduzierungsfaktor, anhand der Gleichungen (6.20a-d) und gemäß der Kategorie des Querschnittes berechnet
 t Dicke des Querschnittes
 f_{yb} Streckgrenze des Materials
 E Elastizitätsmodul
 r Krümmungswinkel des Querschnittes
 l_a Wirksame Auflagerlänge, anhand der Gleichung (6.19a-c) und gemäß der Kategorie des Querschnittes berechnet
 ϕ Winkel von jedem Steg in Bezug auf die vertikale Biegeachse

Kombinierte Beanspruchung aus Querkraft und Biegung

Diese kombinierte Beanspruchung wurde mit Hilfe der Gleichung (6.27) gemäß §6.1.10 geprüft, wobei " $N_{Ed} = 0$," und " $V_{Ed} \leq 0.5 \cdot V_{w,Rd}$," gelten:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \cdot \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{w,Rd}} - 1\right)^2 \leq 1.0$$

Mit:

$M_{y,Rd}$ Momententragfähigkeit des Querschnitts nach §6.1.4

$V_{w,Rd}$ Bemessungsschubtragfähigkeit des Querschnitts nach §6.1.5

$M_{f,Rd}$ Plastische Momententragfähigkeit des Querschnitts, der nur aus den wirksamen Flächen der Flansche gebildet wird, nach EN1993-1-5

$M_{pl,Rd}$ Plastische Momenttragfähigkeit des Querschnitts nach EN1993-1-5

Kombinierte Beanspruchung aus lokaler Auflagerreaktion und Biegung

Diese kombinierte Beanspruchung wird mit Hilfe von Gleichung (6.28c) gemäß §6.1.11 geprüft:

$$\frac{M_{E,d}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{E,d}}{R_{w,Rd}} \leq 1.25$$

Mit:

$M_{c,Rd}$ Momenttragfähigkeit des Querschnitts gemäß §6.1.4.1

$R_{w,Rd}$ Beanspruchbarkeit für örtliche Lasteinleitung gemäß §6.1.7.3

Ergebnisse

Alle Beanspruchungen und Verschiebungsgrenzen wurden kombiniert, und die minimalen Werte für jeden Kombinationsfall wurden in den beiliegenden Tabellen ausgeführt. Es wurden zwei verschiedene Querschnitten mit Blechdicken von 0.70 mm und 0.75 mm, für Spannweiten von 0.60 m bis 3.00 m, mit einem Zwischenschritt von 0.20 m berechnet. Eine zusätzliche Spannweite von 1.50 m wurde ebenfalls berechnet. Das Eigengewicht der Querschnitte wurde mit $g = 78.5 \text{ kN/m}^3$ und das Gewicht der Farbelackierung mit $g_f = 95 \text{ g/m}^2$ berücksichtigt. Diese Lasten sind bereits von den in den Tabellen angegebenen Traglastwerten abgezogen worden.

Münchenstein, den 22.10.2015

Theodoros N. Patsios

Dipl. Ing., M.Sc. ADERS, NTUA

Beilage: - Tabelle Primäre Lage
 - Tabelle Sekundäre Lage