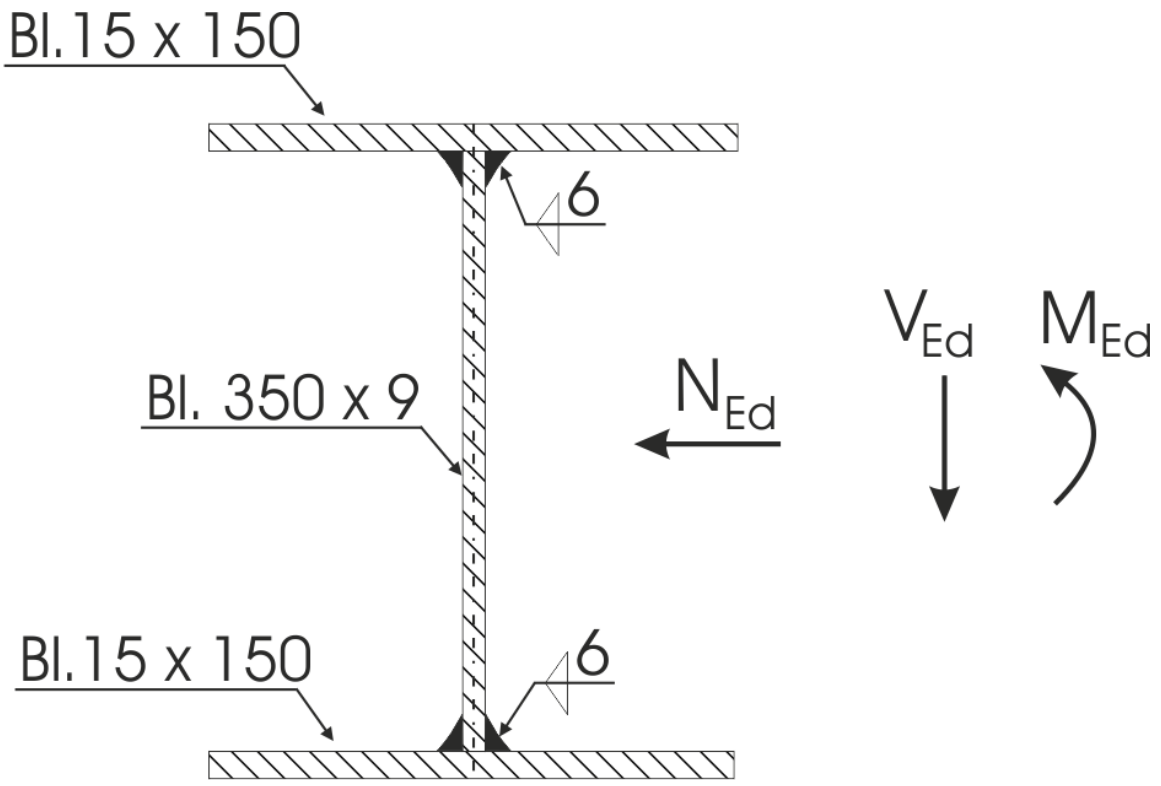
Beispiel 1: Querschnittstragfähigkeit



Belastung: $M_{y,Ed}$ = 190 kNm
N_{Ed} = 700 kN
$V_{z,Ed}$ = 100 kN

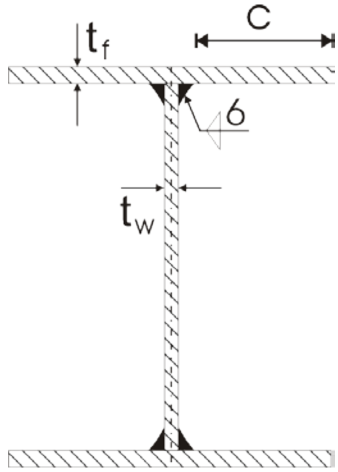
Material: S 235

- Nachweis des Querschnitts nach DIN-EN 1993-1-1
- Querschnittswerte befinden sich im Anhang

1. Einstufung des Querschnittes in eine Querschnittsklasse:

Nach Abschnitt 5.5, Tabelle 5.2 definiert das maximale c/t-Verhältnis der Querschnittsteile die Querschnittsklasse.

1.1. Einstufung des Flansches:



Bedingung Klasse 1: $c/t_f \leq 9 \cdot \varepsilon$

Eingangswerte:

Querschnittswerte:

$b = 150\ \text{mm}$
$t_f = 15\ \text{mm}$
$b^* = b - t_w - 2a$
$b^* = 150 - 9 - 2 \cdot 6 = 129\text{mm}$
$c = b^*/2 = 129/2 = 64{,}5\ \text{mm}$

Vorhandenes c/t Verhältnis: (gedrückter Flansch) $\text{vorh.}\,(c/t_f) = 64{,}5/15 = 4{,}3$

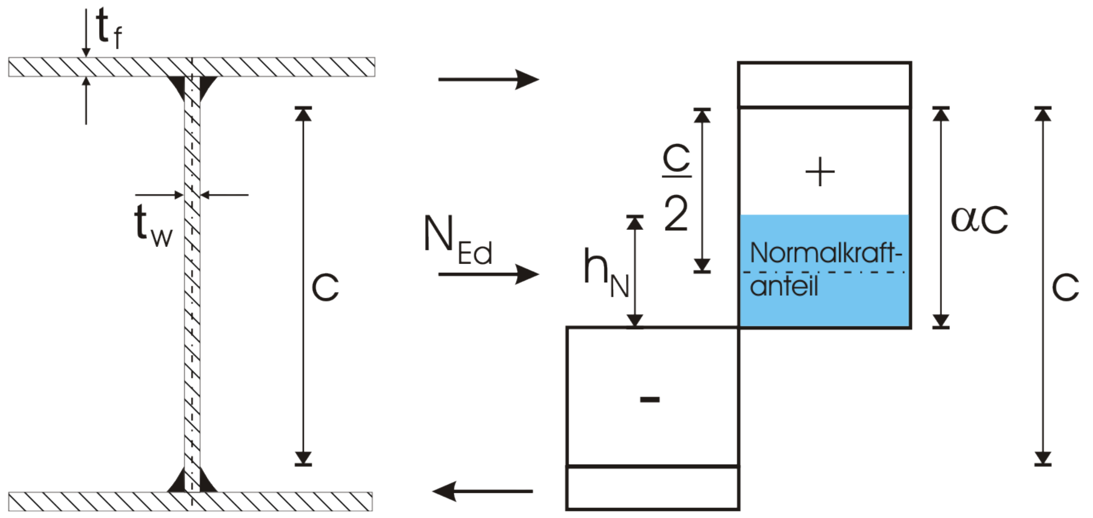
Beiwert in Abhängigkeit von f_y: (Tabelle 5.2, unten) $\varepsilon = 1$ für S 235 $f_y = 235\ \text{N/mm}^2$ (siehe Anhang)

Check für Klasse 1:

$4{,}3 \leq 9 \cdot 1$
$4{,}3 \leq 9$

$\Rightarrow$ Der Flansch gehört in die Querschnittsklasse 1.

1.2. Einstufung des Stegs:



Bedingung für Klasse 1: für $\alpha > 0{,}5$: $c/t_w \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$

für $\alpha \leq 0{,}5$: $c/t_w \leq \frac{36 \cdot \varepsilon}{\alpha}$

<u>Querschnittswerte:</u>

(siehe Anhang) $h = 380 \text{ mm}$

$a = 6 \text{ mm}$

$$c = h - t_f - t_f - 2\,a$$

$$c = 380 - 15 - 15 - 2 \cdot 6 = 338 \text{ mm}$$

Bestimmung der plastischen Nulllinie:

$$h_N = \frac{N_{Ed}}{f_{y,d} \cdot t_w} = \frac{700 \text{ kN}}{23{,}5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 0{,}9 \text{ cm}} = 33{,}097 \text{ cm}$$

$$\alpha c = \frac{c}{2} + \frac{h_N}{2} = \frac{33{,}8}{2} + \frac{33{,}097}{2} = 33{,}449 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha c}{c} = \frac{33{,}449 \text{ cm}}{33{,}8 \text{ cm}} = 0{,}989$$

Vorhandenes c/t Verhältnis:

$$\text{vorh.}\,(c/t_w) = 338/9 = 37{,}56$$

<u>Check für Klasse 1:</u>

$$37{,}56 \leq \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 0{,}989 - 1}$$

$$37{,}56 \nleq 33{,}39$$

$\Rightarrow$ Der Steg erfüllt <u>nicht</u> die Bedingung für QKL 1.

Bedingung Klasse 2: $\quad$ für $\alpha > 0{,}5$: $c/t_w \leq \frac{456 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$

<u>Check für Klasse 2:</u>

$$37{,}55 \leq \frac{456 \cdot 1}{13 \cdot 0{,}989 - 1}$$

$$37{,}55 \leq 38{,}46$$

$\Rightarrow$ Der Steg gehört in die Querschnittsklasse 2.

Somit muss der gesamte Querschnitt in Querschnittsklasse 2 eingestuft werden.

2. Nachweis des Querschnitts nach DIN EN 1993-1-1, Abschnitt 6.1

Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Normalkraft.
Für die Nachweise werden nach DIN EN 1993-1-1, Abschnitt 6.1 folgende Teilsicherheitsbeiwerte angesetzt:

$\gamma_{M0} =$ 1,00

2.1 Querkraftbeanspruchung nach Abschnitt 6.2.8:

Unterschreitet der Bemessungswert der Querkraft die Hälfte des Bemessungswertes der plastischen Querkraftbeanspruchbarkeit, dann kann die Abminderung des Bemessungswertes der Momententragfähigkeit vernachlässigt werden.

Wirksame Schubfläche nach 6.2.6 (3) d):

$$A_v = \eta \cdot \sum(h_w t_w)$$

$$A_v = 1{,}0 \cdot \sum(35\text{cm} \cdot 0{,}9\text{cm})$$

$$A_v = 31{,}5\ \text{cm}^2$$

Anmerkung: η siehe DIN EN 1993-1-5, hier mit 1,0 auf der sicheren Seite angenommen.

Plastische Grenzquerkraft:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{y,d}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \qquad (6.18)$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{31{,}5\ cm^2 \cdot 23{,}5 kN/cm^2}{\sqrt{3} \cdot 1{,}0} = 427\ kN$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 0{,}5$$

$$\frac{100\ kN}{427\ kN} = 0{,}23 \ll 0{,}5$$

$\Rightarrow$ Somit kann die Abminderung der Momententragfähigkeit infolge Querkraft vernachlässigt werden.

Nach DIN EN 1993-1-1, Abschnitt 6.2.6 ist zusätzlich der Nachweis gegen Schubbeulen zu führen, wenn

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{350}{9} = 38 < 72 \cdot \frac{1{,}0}{1{,}0} = 72$$

$\Rightarrow$ Nachweis kann entfallen.

2.2 Beanspruchung aus Biegung und Normalkraft (Interaktion M-N)

- Normalkraft nach Abschnitt 6.2.9.1 (4)

Bei doppelt-symmetrischen Querschnitten braucht der Einfluss der Normalkraft auf die plastische Momentenbeanspruchbarkeit nicht berücksichtigt zu werden, wenn die beiden folgenden Bedingungen erfüllt sind:

(1) $$N_{Ed} \leq 0{,}25\ N_{pl,Rd} \qquad (6.33)$$

und

(2) $$N_{Ed} \leq \frac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_{y,d}}{\gamma_{M0}} \qquad (6.34)$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{y,d}/\gamma_{M0} \qquad (6.6)$$

$$N_{pl,Rd} = 76{,}5\ cm^2 \cdot \frac{\frac{23{,}5 kN}{cm^2}}{1{,}0} = 1.798\ kN$$

Untersuchung der Bedingungen:

(1) $700\ kN \nleq 0{,}25 \cdot 1.798\ kN = 449\ kN$ nicht erfüllt

(2) $700\ kN \nless \frac{0{,}5 \cdot 35\ cm \cdot 0{,}9\ cm \cdot 23{,}5\ kN/cm^2}{1{,}0} = 370{,}125\ kN$ nicht erfüllt

Da beide Bedingungen nicht erfüllt sind, muss der Einfluss der Normalkraft berücksichtigt werden.

Nach Abschnitt 6.2.9.1 (5) darf folgende Näherung angewendet werden:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd}\,(1-n)/(1-0{,}5a) \qquad (6.36)$$

wobei:

$$n = N_{Ed}/N_{pl,Rd}$$
$$\Rightarrow n = 700\text{ kN}/1.798\text{ kN} = 0{,}39$$

$$a = (A - 2bt_f)/A \leq 0{,}5$$
$$\Rightarrow a = (76{,}5\text{ cm}^2 - 2\cdot 15{,}0\text{ cm}\cdot 1{,}5\text{ cm})/76{,}5\text{ cm}^2$$
$$\Rightarrow a = 0{,}412 \leq 0{,}5$$

Biegebeanspruchbarkeit:

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y}\cdot f_{y,d}}{\gamma_{M0}} \qquad (6.13)$$

$$\Rightarrow M_{pl,y,Rd} = \frac{1.069{,}88\text{ cm}^3\cdot 23{,}5\text{ kN/cm}^2}{1{,}0} = 251{,}42\text{ kNm}$$

$$M_{N,y,Rd} = 251{,}4\text{ kNm}\cdot(1-0{,}39)/(1-0{,}5\cdot 0{,}412)$$
$$M_{N,y,Rd} = 193{,}14\text{ kNm}$$

<u>Check:</u>

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{190\text{kNm}}{193{,}14\text{kNm}} = 0{,}98 \leq 1{,}0$$

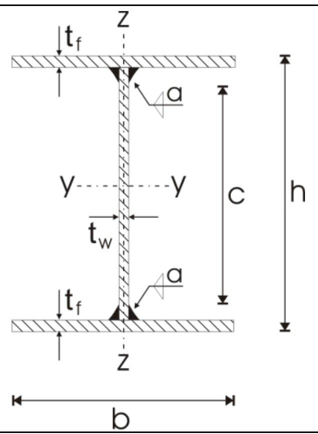
Nachweis erfüllt.

→ Hinweis: Bei Querschnitten der Klasse 2 muss eine Überprüfung der Rotationskapazitäten erfolgen.

Anhang

Werkstoff:	S 235 (Tabelle 3.1) für t < 40 mm		
Streckgrenze	f_y =	23,5	kN/cm²
E-Modul	E =	21000	kN/cm²
Schubmodul	G =	8077	kN/cm²

Querschnitt: Schweißprofil



Abmessungen			Werte		
h =	380	mm	A =	76,5	cm²
b =	150	mm	I_{yy} =	18.212	cm^4
c =	338	mm	$W_{el,y}$ =	958,5	cm³
t_w =	9	mm	$W_{pl,y}$ =	1.097	cm³
t_f =	15	mm			
a =	6	mm			

Querschnittsfläche:

$$A = t_f \cdot b + (h - t_f - t_f) \cdot t_w + t_f \cdot b$$

$$A = 1{,}5\text{ cm} \cdot 15{,}0\text{ cm} + (38{,}0\text{ cm} - 1{,}5\text{ cm} - 1{,}5\text{ cm}) \cdot 0{,}9\text{ cm} \\ +1{,}5\text{ cm} \cdot 15{,}0\text{ cm}$$

$$A = 76{,}5\text{ cm}^2$$

Elastisches Widerstandsmoment:

$$W_{el,y} = \frac{I_{yy}}{h_{ges}/2}$$

$$W_{el,y} = \frac{18.212\text{ cm}^4}{38{,}0\text{ cm}/2} = 958{,}53\text{ cm}^3$$

Plastisches Widerstandsmoment:

$$W_{pl,y} = \sum(A_i \cdot z_i)$$

$$W_{pl,y} = 2 \cdot (15\text{ cm} \cdot 1{,}5\text{ cm} \cdot 18{,}25\text{ cm}) + 2 \cdot \left(17{,}5\text{ cm} \cdot 0{,}9\text{ cm} \cdot \frac{17{,}5\text{ cm}}{2}\right)$$

$$W_{pl,y} = 1.069{,}875\text{ cm}^3$$

Flächenträgheitsmoment:

$$I_{yy} = \sum\left(I_{yi} + A_i \cdot z_{is}^2\right)$$

$$I_{yy} = \frac{15 \cdot 1{,}5^3}{12} + 15 \cdot 1{,}5 \cdot 18{,}25^2 + \frac{0{,}9 \cdot 35^3}{12} + 0{,}9 \cdot 35 \cdot 0 + \frac{15 \cdot 1{,}5^3}{12} + 15 \cdot 1{,}5 \cdot 18{,}25^2$$

$$I_{yy} = 18.212\text{ cm}^4$$