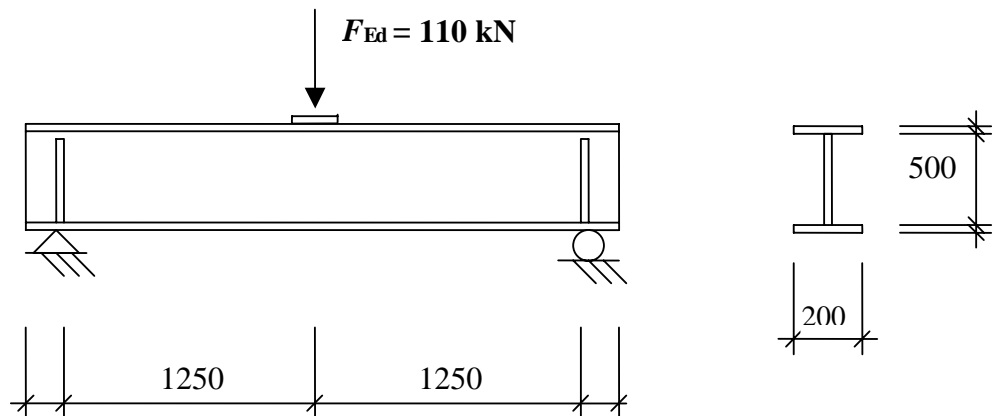


Nr.	Blatt	1 von 6	Index	B
Titel ECSC Stainless Steel Valorisation Project				
Inhalt Bemessungsbeispiel 8 – Stahlträger der Querschnittsklasse 4 unter Biegung				
Auftraggeber ECSC	Aufgestellt	AO	Datum	Juni 2002
	Geprüft	AT	Datum	Okt. 2002
	Korrigiert	MEB	Datum	April 2006

BEMESSUNGSBEISPIEL 8 – STAHLTRÄGER DER QUERSCHNITTSKLASSE 4 UNTER BIEGUNG, QUERKRAFT ALS MAßGEBENDE BEMESSUNGSGRÖßE.

Ein existierender Stahlträger, ursprünglich beansprucht durch eine gleichmäßige Last, wird instand gesetzt und wird nun beansprucht durch eine konzentrierte Last. Es soll geprüft werden, ob der Träger ausreichend tragfähig ist gegenüber der neuen Last, die über eine 12 mm dicke Platte aufgebracht wird. Der Träger ist als Einfeldträger mit der Spannweite wie dem Bild unten zu entnehmen ist, ausgeführt. Der Querschnitt ist ein I-Profil. Der obere Flansch ist in Querrichtung gehalten.



Material Stahlsorte 1.4462, warmgewalzt
 $f_y = 460 \text{ N/mm}^2$
 $E = 200\,000 \text{ N/mm}^2$

- Flansche: $12 \times 200 \text{ mm}^2$
- Steg: $4 \times 500 \text{ mm}^2$
- Steifen: $12 \times 98 \text{ mm}^2$
- Schweißnahtdicke: 4 mm

Statische Berechnung

Maximale Querkraft und Biegemoment ergeben sich zu

$$V_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{2} = \frac{110}{2} = 55 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed} L}{4} = \frac{110 \times 2,5}{4} = 68,75 \text{ kNm}$$

Teilsicherheitsbeiwerte

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

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

Tabelle 3.1
Abschnitt
3.2.4

Tabelle 2.1

 <p>Department of Civil and Mining Engineering Division of Steel Structures, University campus, SE-971 87 Luleå, Sweden Tel: +46 920 91 000 Fax: +46 920 91 913</p> <p>Statikpapier</p>	Nr.	Blatt	2 von 6	Index	B
	Titel ECSC Stainless Steel Valorisation Project				
	Inhalt Bemessungsbeispiel 8 – Stahlträger der Querschnitts- klasse 4 unter Biegung				
	Auftraggeber	Aufgestellt	AO	Datum	Juni 2002
ECSC	Geprüft	AT	Datum	Okt. 2002	
	Korrigiert	MEB	Datum	April 2006	

Querschnittsklassifizierung

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{460} \frac{200}{210}} = 0,698$$

Biegebeanspruchter Steg

$$\frac{c}{t\varepsilon} = \frac{500 - 2 \times \sqrt{2} \times 4}{4 \times 0,698} = 175 > 74,8, \text{ somit ist der Steg Klasse 4 zuzuordnen}$$

Druckbeanspruchter Flansch

$$\frac{c}{t\varepsilon} = \frac{200 - 4 - 2 \times \sqrt{2} \times 4}{2 \times 12 \times 0,698} = 11,0 \leq 11,0, \text{ somit ist der gedrückte Flansch Klasse 3}$$

zuzuordnen.

Somit ist der Gesamtquerschnitt Klasse 4 zuzuordnen.

Widerstand gegenüber lokaler Lasteinleitung

Die Bemessungslast sollte nicht den Bemessungswiderstand überschreiten, d.h.

$$F_{Rd} = f_{yw} L_{eff} t / \gamma_{M1}$$

Die wirksame Länge L_{eff} ist definiert als

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

worin die Funktion für den Reduktionsfaktor wie folgt gegeben ist

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

mit der Schlankheit wie folgt

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

Die wirksame Belastungsbreite ergibt sich aus

$$l_y = s_s + 2t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2})$$

Worin

s_s ist die Länge der steifen Lasteinleitungsplatte und m_1 und m_2 sind dimensionslose Parameter.

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

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

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

Abschnitt 4.3
Tabelle 4.2

Tabelle 4.2

Tabelle 4.2

Abschnitt
5.4.4

Glch. 5.24

Glch. 5.32


Glch. 5.33

Glch. 5.27

Glch. 5.25

Glch. 5.26a

Glch. 5.26b

 <p>Department of Civil and Mining Engineering Division of Steel Structures, University campus, SE-971 87 Luleå, Sweden Tel: +46 920 91 000 Fax: +46 920 91 913</p> <p>Statikpapier</p>	Nr.	Blatt	3 von 6	Index	B
	Titel ECSC Stainless Steel Valorisation Project				
	Inhalt Bemessungsbeispiel 8 – Stahlträger der Querschnitts- klasse 4 unter Biegung				
	Auftraggeber	Aufgestellt	AO	Datum	Juni 2002
ECSC	Geprüft	AT	Datum	Okt. 2002	
	Korrigiert	MEB	Datum	April 2006	

s_s ist auf der sicheren Seite liegend zweimal die Dicke der Lastverteilungsplatte, d.h. 24 mm.

$$m_1 = \frac{460 \times 200}{460 \times 4} = 50$$

Glch. 5.25

$$m_2 = 0,02 \times \left[\frac{500}{12} \right]^2 = 34,72, \text{ unter der Annahme } \bar{\lambda}_F > 0,5$$

Glch. 5.26a

$$I_y = 24 + 2 \times 12 \times \left[1 + \sqrt{50 + 34,72} \right] = 268,90 \text{ mm}$$

Glch. 5.27

Die kritische Last ergibt sich aus

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

Glch. 5.34

Worin der Knickbeiwert durch die Belastungssituation gegeben ist, hier Typ a.

$$k_f = 6 + 2 \left[\frac{h_w}{a} \right]^2$$

Bild 5.4

$$= 6 + 2 \times \left[\frac{500}{2500} \right]^2 = 6,08$$

$$F_{cr} = 0,9 \times 6,08 \times 200000 \times \frac{4^3}{500} = 140,08 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{268,90 \times 4 \times 460}{140,08 \times 10^3}} = 1,88 > 0,5, \text{ Annahme richtig}$$

Glch. 5.33

$$\chi_F = \frac{0,5}{1,88} = 0,266 \leq 1,0, \text{ OK}$$

Glch. 5.32

$$L_{eff} = 0,266 \times 268,90 = 71,53 \text{ mm}$$

$$F_{Ed} = 110 \leq 460 \times 71,53 \times 4 / (1,1 \times 10^3) = 119,65 \text{ kN}$$

D.h. der Widerstand ist größer als die Einwirkung.

Interaktion von Querkraft, Biegung und Normalkraft

Interaktion von konzentrierter Einwirkung und Biegung wird gemäß prEN 1993-1-5:2004 untersucht.

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

prEN 1993-1-5, Glch. 7.2

 Department of Civil and Mining Engineering Division of Steel Structures, University campus, SE-971 87 Luleå, Sweden Tel: +46 920 91 000 Fax: +46 920 91 913 Statikpapier	Nr.	Blatt	4 von 6	Index	B
	Titel ECSC Stainless Steel Valorisation Project				
	Inhalt Bemessungsbeispiel 8 – Stahlträger der Querschnitts- klasse 4 unter Biegung				
	Auftraggeber	Aufgestellt	AO	Datum	Juni 2002
ECSC	Geprüft	AT	Datum	Okt. 2002	
	Korrigiert	MEB	Datum	April 2006	

Worin

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

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{f_{yw} L_{eff} t / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

prEN 1993-1-5, Glch. 4.14

prEN 1993-1-5, Glch. 6.14

Berechnung der wirksamen Querschnittseigenschaften

Die Flansche sind Querschnittsklasse 3 zuzuordnen und somit voll wirksam.

Die Tiefe des Steges muss mit dem Reduktionsfaktor ρ beaufschlagt werden, geschweißter Steg.

$$\rho = \frac{0,772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1$$

Glch. 4.1a

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} \quad \text{worin } b = d = 500 - 2 \times 4 \times \sqrt{2} = 488,68 \text{ mm}$$

Glch. 4.2

Es wird eine symmetrische, lineare Spannungsverteilung über den Steg angenommen,

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -1$$

$$\Rightarrow k_\sigma = 23,9$$

Tabelle 4.3

$$\bar{\lambda}_p = \frac{488,68/4}{28,4 \times 0,698 \times \sqrt{23,9}} = 1,26$$

$$\rho = \frac{0,772}{1,26} - \frac{0,125}{1,26^2} = 0,534 \leq 1$$

$$b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi) = 0,534 \times 488,68 / (1 - (-1)) = 130,48$$

Tabelle 4.3

$$b_{e1} = 0,4 b_{eff} = 0,4 \times 130,48 = 52,19 \text{ mm}$$

Tabelle 4.3

$$b_{e2} = 0,6 b_{eff} = 0,6 \times 130,48 = 78,29 \text{ mm}$$

Berechnung des Widerstandsmoments

e_i ist positiv von der Mittelachse des oberen Flansches und nach unten

$$A_{eff} = \sum_i A_i = b_f t_f \times 2 + b_{e1} t_w + b_{e2} t_w + (h_w / 2) t_w = 6321,92 \text{ mm}^2$$

$$e_{eff} = \frac{1}{A_{eff}} \sum_i A_i e_i = \frac{1}{A_{eff}} [b_f t_f (0) + b_f t_f (h_w + t_f)] + [b_{e1} t_w (0,5(b_{e1} + t_f)) + b_{e2} t_w (0,5(h_w + t_f) - b_{e2} / 2) + (h_w / 2) t_w (0,75 h_w + 0,5 t_f)] = 266,44 \text{ mm}$$

 <p>Department of Civil and Mining Engineering Division of Steel Structures, University campus, SE-971 87 Luleå, Sweden Tel: +46 920 91 000 Fax: +46 920 91 913</p> <p>Statikpapier</p>	Nr.	Blatt	5 von 6	Index	B
	Titel ECSC Stainless Steel Valorisation Project				
	Inhalt Bemessungsbeispiel 8 – Stahlträger der Querschnitts- klasse 4 unter Biegung				
	Auftraggeber	Aufgestellt	AO	Datum	Juni 2002
ECSC	Geprüft	AT	Datum	Okt. 2002	
	Korrigiert	MEB	Datum	April 2006	

$$I_{\text{eff}} = \sum_i I_i + \sum_i A_i (e_{\text{eff}} - e_i)^2 = 2 \times \frac{b_f t_f^3}{12} + \frac{t_w b_{e1}^3}{12} + \frac{t_w b_{e2}^3}{12} + \frac{t_w (h_w / 2)^3}{12} + b_f t_f (e_{\text{eff}} - 0)^2 + b_f t_f [e_{\text{eff}} - (h_w + t_f)]^2 + b_{e1} t_w [e_{\text{eff}} - 0,5(b_{e1} + t_f)]^2 + b_{e2} t_w [e_{\text{eff}} - 0,5(h_w + t_f + b_{e2})]^2 + (h_w / 2) t_w [e_{\text{eff}} - (0,75 h_w + 0,5 t_f)]^2$$

$$= 3,459 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$W_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{eff}}}{e_{\text{eff}} + 0,5 t_f} = 1,270 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\eta_1 = \frac{68,75 \times 10^6}{460 \times 1,270 \times 10^6 / 1,1} = 0,129$$

$$\eta_2 = \frac{110}{119,63} = 0,920$$

$$0,8 \times \eta_1 + \eta_2 = 0,8 \times 0,129 + 0,920 = 1,023 < 1,4$$

Somit ist der Träger ausreichend tragfähig bei Interaktion von konzentrierter Last und Biegung.

Schubtragfähigkeit

Abschnitt
5.4.3

Die Schubbeultragfähigkeit muss untersucht werden, falls $h_w / t_w \geq \frac{52}{\eta} \varepsilon$ für unausgesteifte Stege.

$$h_w / t_w = 500 / 4 = 125 \geq \frac{52}{1,2} \times 0,698 = 30,2$$

Somit ist die Schubbeultragfähigkeit zu untersuchen. Sie berechnet sich aus

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}}$$

Gleich. 5.12a

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

Gleich. 5.12b

$$\chi_w = \eta = 1,2 \quad \text{für } \bar{\lambda}_w \leq 0,60 / \eta = 0,5$$

Gleich. 5.13a


$$\chi_w = 0,11 + \frac{0,64}{\bar{\lambda}_w} - \frac{0,05}{\bar{\lambda}_w^2} \quad \text{für } \bar{\lambda}_w > 0,50$$

Gleich. 5.13b

$$\bar{\lambda}_w = \left(\frac{h_w}{86,4 t_w \varepsilon} \right) = \left(\frac{500}{86,4 \times 4 \times 0,698} \right) = 2,072 > 0,5$$

Gleich. 5.14

$$\chi_w = 0,11 + \frac{0,64}{2,072} - \frac{0,05}{2,072^2} = 0,407$$

 <p>Department of Civil and Mining Engineering Division of Steel Structures, University campus, SE-971 87 Luleå, Sweden Tel: +46 920 91 000 Fax: +46 920 91 913</p> <p>Statikpapier</p>	Nr.	Blatt	6 von 6	Index	B
	Titel ECSC Stainless Steel Valorisation Project				
	Inhalt Bemessungsbeispiel 8 – Stahlträger der Querschnitts- klasse 4 unter Biegung				
	Auftraggeber	Aufgestellt	AO	Datum	Juni 2002
ECSC	Geprüft	AT	Datum	Okt. 2002	
	Korrigiert	MEB	Datum	April 2006	

Die Mitwirkung der Flansche kann angesetzt werden, wenn die Flansche nicht vollständig durch die Biegebeanspruchung ausgenutzt werden. Die Mitwirkung ist gering und wird auf der sicheren Seite liegend nicht berücksichtigt, d.h. $V_{bf,Rd} = 0$.

Die Schubbeultragfähigkeit kann berechnet werden aus:

$$V_{bw,Rd} = \frac{0,407 \times 460 \times 500 \times 4}{1,1 \times \sqrt{3}} = 196,53 \text{ kN} > V_{Ed} = 55 \text{ kN}$$

Die Schubtragfähigkeit ist somit ausreichend.

Interaktion von Querkraft und Biegung

Wenn $\bar{\eta}_3$ 0,5 nicht übersteigt, muss die Normalkraft- und Biegetragfähigkeit nicht infolge Querkraft reduziert werden.

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 1,0$$

$$= \frac{55}{196,53} = 0,280 \leq 0,5, \text{ somit muss die Interaktion nicht untersucht werden.}$$

Gleich. 5.23

Abschließende Bemerkung

Die Querschnittstragfähigkeit übersteigt die Lasteinwirkung. Es ist zu beachten, dass die vertikalen Aussteifungen an den Lagern nicht untersucht wurden. Dies sollte gemäß der Vorgehensweise in Bemessungsbeispiel 7 durchgeführt werden.