



**The Steel
Construction
Institute**

Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623345
Fax: (01344) 622944

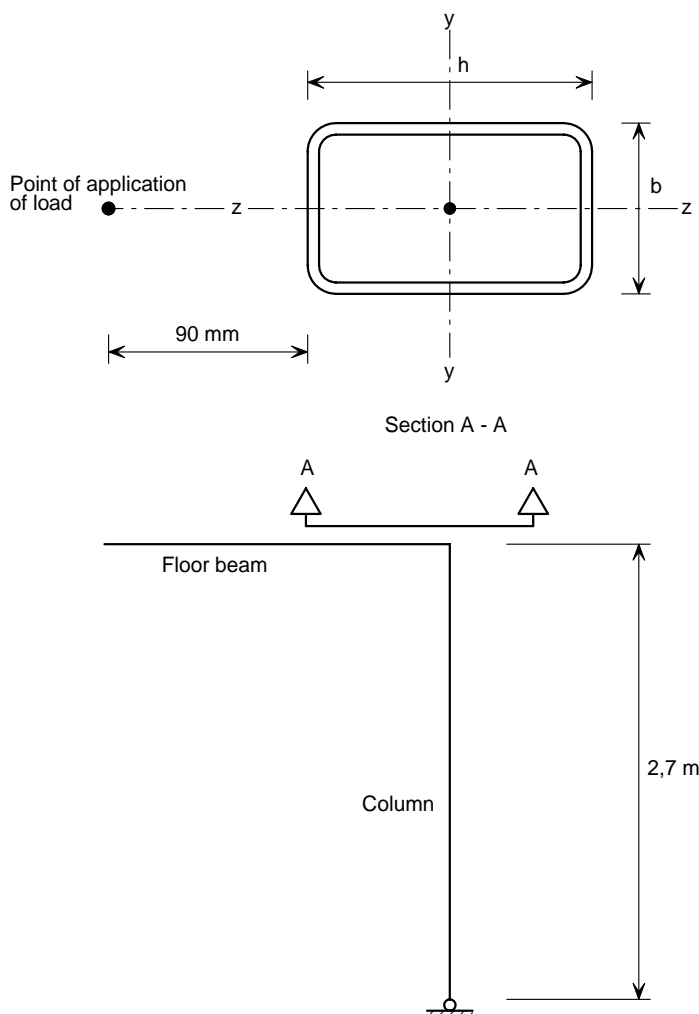
Statikpapier

Nr.	OSM 466	Blatt	1 von 8	Index	B
Titel		ECSC Stainless Steel Valorisation Project			
Inhalt		Bemessungsbeispiel 10 – Profil unter zentrischem Druck und Biegung mit 30-minütigem Feuerwiderstand			
Auftraggeber ECSC	Nr.	SMH	Datum	Aug 2001	
	Titel	NRB	Datum	Nov 2001	
	Inhalt	MEB	Datum	April 2006	

BEMESSUNGSBEISPIEL 10 - RECHTECKHOHLPROFIL UNTER KOMBINIRTER BEANSPRUCHUNG AUS ZENTRISCHEM DRUCK UND BIEGUNG MIT 30-MINÜTIGEM FEUERWIDERSTAND

Bemessung eines ungeschützten Rechteckhohlprofils, das durch zentrische Druckbelastung und Biegung beansprucht wird und einem 30-minütigem Feuer widerstehen muss

Die Stütze hat eine Länge von 2,7 m und wird in Stabachse durch die Stabendreaktionen eines Deckenträgers belastet, die Last greift mit einer Exzentrizität von 90 mm gemessen von der schmalen Seite der Stütze an.



Einwirkungen

Die Exzentrizität beträgt $90 \text{ mm} + h/2$, mit h als Querschnittstiefe. Somit wird durch den Träger ein Biegemoment in der Stütze erzeugt.

Die charakteristischen Einwirkungen betragen:

Ständige Last:	6 kN
Veränderliche Last:	7 kN



**The Steel
Construction
Institute**

Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623345
Fax: (01344) 622944

Statikpapier

Nr.	OSM 466	Blatt	2 von 8	Index	B
Titel		ECSC Stainless Steel Valorisation Project			
Inhalt		Bemessungsbeispiel 10 – Profil unter zentrischem Druck und Biegung mit 30-minütigem Feuerwiderstand			
Auftraggeber ECSC	Nr.	SMH	Datum	Aug 2001	
	Titel	NRB	Datum	Nov 2001	
	Inhalt	MEB	Datum	April 2006	

Die Stütze wird zu Beginn im Grenzzustand der Tragfähigkeit untersucht (LC1) und anschließend im Grenzzustand unter Feuerbelastung (LC2) für ein 30-minütiges Feuer. Folgende Lastfallkombinationen werden untersucht :

LC1 (Grenzzustand der Tragfähigkeit)
$$\sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}$$

$\gamma_{G,j} = 1,35$ (ungünstiger Einfluss)

$\gamma_{Q,1} = 1,5$

LC2 (Brandschutzbemessung)
$$\sum_j \gamma_{GA,j} G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1}$$

$\gamma_{GA} = 1,0$

Werte für $\psi_{1,1}$ sind der EN 1990 und dem NAD der EN 1990 zu entnehmen, in diesem Beispiel wird auf der sicheren Seite liegend $\psi_{1,1} = 1,0$ angesetzt.

Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit (LC1)

Belastung der Eckstütze infolge Querkraft am Balkenende (LC1):

Normalkraftbeanspruchung $N_{Ed} = 1,35 \times 6 + 1,5 \times 7 = 18,6$ kN

Wähle $100 \times 50 \times 6$ Rechteckhohlprofil

Biegung um die Hauptachsen (infolge der Exzentrizität der Querkraft des Balkens in Bezug auf die Stabachse), $M_{y,Ed} = 18,6 \times (0,09 + 0,10/2) = 2,60$ kNm

Materialeigenschaften

Stahlsorte 1.4401

0,2% Streckgrenze = 220 N/mm² und $f_u = 530$ N/mm²

f_y als 0,2% Streckgrenze = 220 N/mm²

$E = 200\,000$ N/mm² and $G = 76\,900$ N/mm²

Querschnitseigenschaften – 100 x 50 x 6 mm RHS

$W_{el,y} = 32,58 \times 10^3$ mm³ $i_y = 32,9$ mm

$W_{pl,y} = 43,75 \times 10^3$ mm³ $i_z = 19,1$ mm

$A_g = 1500$ mm² $t = 6$ mm

Querschnittsklassifizierung

$\epsilon = 1,01$

Auf der sicheren Seite liegend wird $c = h - 2t = 100 - 12 = 88$ mm für den Steg angenommen.

Glechn. 2.3

Abschnitt
2.3.2

Tabelle 3.1
Abschnitt
3.2.4
Abschnitt
3.2.4

Tabelle 4.2



Nr.	OSM 466	Blatt	3 von 8	Index	B
Titel		ECSC Stainless Steel Valorisation Project			
Inhalt		Bemessungsbeispiel 10 – Profil unter zentrischem Druck und Biegung mit 30-minütigem Feuerwiderstand			
Auftraggeber ECSC	Nr.	SMH	Datum	Aug 2001	
	Titel	NRB	Datum	Nov 2001	
	Inhalt	MEB	Datum	April 2006	

Stege unter Druckbeanspruchung: $\frac{c}{t} = \frac{88}{6} = 14,7$

Für Querschnittsklasse 1, $\frac{c}{t} \leq 25,7\varepsilon = 25,96$: Der Steg kann Klasse 1 zugeordnet werden.

Aus genauerer Betrachtung folgt aus der Querschnittsklasse 1 des Steges bei Druckbeanspruchung für den Flansch ebenso Klasse 1: Querschnitt ist Klasse 1

Teilsicherheitsbeiwerte

Die folgenden Teilsicherheitsbeiwerte werden im Bemessungsbeispiel für LC1 verwendet: Tabelle 2.1

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

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

Knickwiderstand bei axialer Druckbeanspruchung

Biegeknickwiderstand bezügl. der Achse z-z:

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z A_g f_y}{\gamma_{M1}} \text{ Für Querschnittsklasse 1, 2 und 3}$$

$$\chi = \text{Reduktionsfaktor für Knicken} = \frac{1}{\varphi + [\varphi^2 - \bar{\lambda}^2]^{0,5}} \leq 1$$

$$\varphi = 0,5 \left(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2 \right)$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr}}{i_z} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

L_{cr} = Knicklänge der Stütze, auf der sicheren Seite liegend wird $1,0 \times$ Stützenlänge = 2,7 m angenommen

$$\bar{\lambda}_z = \frac{2700}{19,1} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{220}{200000}} = 1,492$$

Für biegebeanspruchte Hohlprofile, $\alpha = 0,49$ und $\bar{\lambda}_0 = 0,40$ Tabelle 5.1

$$\varphi = 0,5 \left(1 + 0,49(1,492 - 0,4) + 1,492^2 \right) = 1,881$$

$$\chi_z = \frac{1}{1,881 + [1,881^2 - 1,492^2]^{0,5}} \leq 1$$

$$\chi_z = 0,3305$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{0,3305 \times 1500 \times 220}{1,1} = 99,15 \text{ kN}$$

Tabelle 4.2

Tabelle 2.1

Abschnitt
5.3.3

Gleich. 5.2a

Gleich. 5.3

Gleich. 5.4

Gleich. 5.5a

Tabelle 5.1



**The Steel
Construction
Institute**

Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623345
Fax: (01344) 622944

Statikpapier

Nr.	OSM 466	Blatt	4 von 8	Index	B
Titel		ECSC Stainless Steel Valorisation Project			
Inhalt		Bemessungsbeispiel 10 – Profil unter zentrischem Druck und Biegung mit 30-minütigem Feuerwiderstand			
Auftraggeber ECSC	Nr.	SMH	Datum	Aug 2001	
	Titel	NRB	Datum	Nov 2001	
	Inhalt	MEB	Datum	April 2006	

(Drillknickwiderstand ist nicht maßgebend für Rechteckhohlprofile mit einem Verhältnis h/b von 2.)

$N_{Ed} = 18,6$ kN Knickwiderstand ist nachgewiesen

Normalkraft- und Biegetragfähigkeit

Untersuchung der Querschnittstragfähigkeit bei Interaktion

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{M_{c,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{M_{c,z,Rd}} \leq 1$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1500 \times 220}{1,1} = 300 \text{ kN}$$

$$e_{Ny} = e_{Nz} = 0$$

$$M_{z,Ed} = 0$$

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{43,75 \times 10^3 \times 220}{1,1} = 8,75 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{c,y,Rd}} = \frac{18,6}{300} + \frac{2,60}{8,75} = 0,062 + 0,297 = 0,359 < 1,00$$

Querschnittstragfähigkeit ist nachgewiesen

Stabilitätsuntersuchung unter Berücksichtigung der Interaktion

$$\frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{\min}} + k_y \left(\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{\beta_{W,y} W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq 1$$

$\beta_{W,y} = 1,0$ für Querschnittsklasse 1

$$k_y = 1,0 + 2(\bar{\lambda}_y - 0,5) \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} \text{ aber } 1,2 \leq k_y \leq 1,2 + 2 \left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} \right)$$

Bestimmung von $N_{b,Rd,y}$ nach gleicher Methode wie bei der Berechnung $N_{b,Rd,z}$ auf Blatt 3.

Für Hohlprofile bei Biegeknickbeanspruchung, $\alpha = 0,49$ und $\bar{\lambda}_0 = 0,40$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{2700}{32,9} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{220}{200000}} = 0,866$$

$$\varphi = 0,5 \left(1 + 0,49(0,866 - 0,4) + 0,866^2 \right) = 0,989$$

Abschnitt
5.3.1

Abschnitt
4.7.6

prEN 1993-
1-3, Satz
6.1.9

Gleich. 4.25

Gleich. 4.27

Abschnitt
5.5.2

Gleich. 5.40

Tabelle 5.1



Nr.	OSM 466	Blatt	5 von 8	Index	B
Titel		ECSC Stainless Steel Valorisation Project			
Inhalt		Bemessungsbeispiel 10 – Profil unter zentrischem Druck und Biegung mit 30-minütigem Feuerwiderstand			
Auftraggeber ECSC	Nr.	SMH	Datum	Aug 2001	
	Titel	NRB	Datum	Nov 2001	
	Inhalt	MEB	Datum	April 2006	

$$\chi_y = \frac{1}{0,989 + [0,989^2 - 0,866^2]^{0,5}} \leq 1$$

$$\chi_y = 0,682 < 1,0$$

$$N_{b,Rd,y} = \frac{0,682 \times 1500 \times 220}{1,1} = 204,6 \text{ kN}$$

$$k_y = 1,0 + 2(\bar{\lambda}_y - 0,5) \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}}$$

$$k_y = 1,0 + 2(0,866 - 0,5) \frac{18,6}{204,6} = 1,07 < 1,2$$

Somit ist $k_y = 1,2$

$$\frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{\min}} + k_y \left(\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{\beta_{w,y} W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}} \right)$$

$$\frac{18,6}{99,15} + 1,2 \left(\frac{2,60 \times 10^6 + 0}{1,0 \times 43,75 \times 10^3 \times 220 / 1,1} \right) = 0,188 + 0,297 = 0,485 < 1,0$$

Nachweis für kombinierte Beanspruchung aus Normalkraft und einachsiger Biegung für LC1 erbracht.

Brandschutzbemessung (LC2)

Für LC2 wird die Stütze für folgende Normalkraft und Biegemomente bemessen.

Normalkraftdruckbeanspruchung, $N_{fi,Ed} = 1,0 \times 6 + 1,0 \times 7 = 13,0 \text{ kN}$

Maximales Biegemoment $M_{y,fi,Ed} = 13,0 \times (0,09 + 0,05) = 1,82 \text{ kNm}$

Bestimmung der Stahltemperatur nach 30-minütiger Feuerbelastung

Es wird ein ungeschützter Querschnitt und eine gleichmäßige Temperaturverteilung innerhalb des Stahlprofils angenommen. Die Temperaturerhöhung während des Zeitintervalles Δt ergibt sich wie folgt:

$$\Delta \theta_{a,t} = \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{\text{net,d}} \Delta t$$

$$\dot{h}_{\text{net,d}} = \dot{h}_{\text{net,c}} + \dot{h}_{\text{net,r}}$$

$$\dot{h}_{\text{net,c}} = \alpha_c (\theta_g - \theta_a)$$

Abschnitt
7.4.7

Gleich. 7.34

Gleich. 7.35

Gleich. 7.36



**The Steel
Construction
Institute**

Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623345
Fax: (01344) 622944

Statikpapier

Nr.	OSM 466	Blatt	6 von 8	Index	B
Titel		ECSC Stainless Steel Valorisation Project			
Inhalt		Bemessungsbeispiel 10 – Profil unter zentrischem Druck und Biegung mit 30-minütigem Feuerwiderstand			
Auftraggeber ECSC	Nr.	SMH	Datum	Aug 2001	
	Titel	NRB	Datum	Nov 2001	
	Inhalt	MEB	Datum	April 2006	

Mit:

θ_g = Gastemperatur der Umgebung des Bauteils bei Feuerbeanspruchung, die sich aus der zeitabhängigen Nenntemperaturkurve ergibt:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1)$$

Gleich. 7.38

θ_a = Oberflächentemperatur des Bauteils

$$\dot{h}_{\text{net},r} = \varphi \varepsilon_{\text{res}} 5,67 \times 10^{-8} \left[(\theta_g + 273)^4 - (\theta_a + 273)^4 \right]$$

Gleich. 7.37

Eingangsparameter zur Bestimmung der End-Stahltemperatur sind die folgenden :

$$A_m/V = 200 \text{ m}^{-1}$$

$$\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Anfängliche Stahltemperatur, $\theta_a = 20^\circ\text{C}$

Resultierendes Emissionsvermögen, $\varepsilon_{\text{res}} = 0,2$

Masse des Stahls, $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$

Konfigurationsfaktor, $\varphi = 1,0$

Die spezifische Hitze ist temperaturabhängig und kann durch den folgenden Ausdruck ermittelt werden:

$$c_a = 450 + 0,28\theta_a - 2,91 \times 10^{-4}\theta_a^2 + 1,34 \times 10^{-7}\theta_a^3 \text{ J/kgK}$$

Gleich. 7.4

$$\Delta t = 2 \text{ Sekunden}$$

Die oben angegebenen Formeln und Eingangsparameter wurden in einer Excel-Tabelle programmiert, woraus sich die folgende Stahltemperatur nach einem 30-minütigem Feuer ergibt.

$$\theta_a = 811^\circ\text{C}$$

Reduzierung der mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen

Folgende Reduktionsfaktoren werden für die Berechnung des Widerstandes bei hohen Temperaturen benötigt.

Retentionsfaktor E-Modul $k_{E,\theta} = E_\theta/E$

Retentionsfaktor 0,2% Streckgrenze $k_{0,2\text{proof},\theta} = f_{0,2\text{proof},\theta}/f_y$

Retentionsfaktor Zugfestigkeit $k_{u,\theta} = f_{u,\theta}/f_u$

Der Wert für die 2% Streckgrenze bei hohen Temperaturen wird ebenso für die Berechnung der Tragfähigkeit benötigt. Dieser wird durch folgenden Ausdruck gegeben:

$$f_{2,\theta} = f_{0,2\text{proof},\theta} + g_{2,\theta} (f_{u,\theta} - f_{0,2\text{proof},\theta})$$

Gleich. 7.1

Die Retentionsfaktoren bei 811°C werden durch lineare Interpolation ermittelt.

Tabelle 7.1

$$k_{0,2\text{proof},\theta} = 0,377$$

$$k_{u,\theta} = 0,322$$

$$k_{E,\theta} = 0,610$$



**The Steel
Construction
Institute**

Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623345
Fax: (01344) 622944

Statikpapier

Nr.	OSM 466	Blatt	7 von 8	Index	B
Titel		ECSC Stainless Steel Valorisation Project			
Inhalt		Bemessungsbeispiel 10 – Profil unter zentrischem Druck und Biegung mit 30-minütigem Feuerwiderstand			
Auftraggeber ECSC	Nr.	SMH	Datum	Aug 2001	
	Titel	NRB	Datum	Nov 2001	
	Inhalt	MEB	Datum	April 2006	

$$g_{2\theta} = 0,353$$

Somit

$$f_{2,\theta} = 0,377 \times 220 + 0,353 \times (0,322 \times 530 - 0,377 \times 220)$$

$$= 113,9 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{2,\theta} = 113,9/220 = 0,518$$

Teilsicherheitsbeiwert

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

Knickwiderstand

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{z,fi} A_g k_{0,2,proof,\theta} f_y / \gamma_{M,fi}$$

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_{\theta} + \sqrt{\varphi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}} \text{ aber } \leq 1,0$$

$$\varphi_{\theta} = 0,5 \left(1 + \alpha (\bar{\lambda}_{\theta} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}_{\theta}^2 \right)$$

$$\bar{\lambda}_{z,\theta} = \bar{\lambda}_z [k_{0,2,proof,\theta} / k_{E,\theta}]^{0,5} = 1,492 \times (0,377/0,610)^{0,5} = 1,173$$

Für Biegeknicken eines Hohlprofils gilt $\alpha = 0,49$ und $\bar{\lambda}_0 = 0,4$

$$\varphi_{z,\theta} = 0,5 \left(1 + 0,49(1,173 - 0,4) + 1,173^2 \right) = 1,377$$

$$\chi_{z,fi} = \frac{1}{1,377 + \sqrt{1,377^2 - 1,173^2}} = 0,477$$

$$N_{b,fi,t,Rd} = 0,477 \times 1500 \times 0,377 \times 220 / 1,0 = 59,3 \text{ kN}$$

$$N_{fi,Ed} = 13,0 \text{ kN}, \text{ Knickwiderstand ist nachgewiesen}$$

Axialer Druck und Biegung

Folgender Ausdruck für Querschnittsklasse 1 muss eingehalten werden:

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min,fi} \left(A_g k_{0,2,proof,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \right)} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{M_{y,fi,\theta,Rd}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{M_{z,fi,\theta,Rd}} \leq 1$$

Worin

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{fi,Ed}}{\chi_{y,fi} A_g k_{0,2,proof,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3$$

$$\mu_y = (1,2\beta_{M,y} - 3)\bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44\beta_{M,y} - 0,29 \leq 0,8$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,866$$

Abschnitt 7.1

Abschnitt
7.4.3

Gleich. 7.8

Gleich. 7.10

Gleich. 7.11

Gleich. 7.12

Tabelle 5.1

Gleich. 7.24

Gleich. 7.28

Gleich. 7.29

Blatt 4



**The Steel
Construction
Institute**

Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623345
Fax: (01344) 622944

Statikpapier

Nr.	OSM 466	Blatt	8 von 8	Index	B
Titel		ECSC Stainless Steel Valorisation Project			
Inhalt		Bemessungsbeispiel 10 – Profil unter zentrischem Druck und Biegung mit 30-minütigem Feuerwiderstand			
Auftraggeber ECSC	Nr.	SMH	Datum	Aug 2001	
	Titel	NRB	Datum	Nov 2001	
	Inhalt	MEB	Datum	April 2006	

$$\bar{\lambda}_{y,\theta} = \bar{\lambda}_y [k_{0,2\text{proof},\theta} / k_{E,\theta}]^{0,5} = 0,866 \times (0,377/0,610)^{0,5} = 0,681$$

Es wird angenommen, dass die Stütze am Fußpunkt gehalten ist. Eine dreiecksförmige Momentenverteilung stellt sich ein und $\beta_M = 1,8$

$$\begin{aligned} \mu_y &= (1,2 \times 1,8 - 3) \times 0,681 + 0,44 \times 1,8 - 0,29 \\ &= -0,070 \end{aligned}$$

$$\varphi_{y,\theta} = 0,5 \left(1 + 0,49(0,681 - 0,4) + 0,681^2 \right) = 0,801$$

$$\chi_{y,\text{fi}} = \frac{1}{0,801 + \sqrt{0,801^2 - 0,681^2}} = 0,818$$

$$k_y = 1 - \frac{(-0,07) \times 13,0 \times 10^3}{0,818 \times 1500 \times 0,377 \times \frac{220}{1,00}} = 1,009 < 3,0$$

Interaktion:

$$\frac{N_{\text{fi,Ed}}}{A_g k_{0,2\text{proof},\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,\text{fi}}}} + \frac{k_y M_{y,\text{fi,Ed}}}{M_{y,\text{fi},\theta,\text{Rd}}}$$

$$M_{y,\text{fi},\theta,\text{Rd}} = k_{2,\theta} \left(\frac{\gamma_{M0}}{\gamma_{M,\text{fi}}} \right) M_{\text{Rd}} = 0,518 \times \left(\frac{1,1}{1,0} \right) \times 8,75 = 4,99 \text{ kNm}$$

$$\frac{13,0 \times 10^3}{0,477 \times 1500 \times 0,377 \times \frac{220}{1,0}} + \frac{1,009 \times 1,82}{4,99} = 0,219 + 0,368 = 0,587$$

$$0,587 < 1,00$$

Somit ist der Querschnitt nachgewiesen für kombinierte Normalkraftbeanspruchung und Biegung bei Feuerbeanspruchung

Glch. 7.12

Tabelle 7.3

Glch. 7.13