



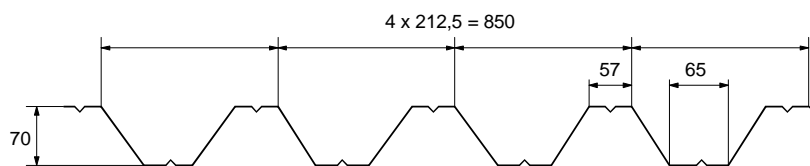
VTT TECHNICAL RESEARCH  
CENTRE OF FINLAND  
VTT BUILDING AND TRANSPORT  
Kemistintie 3, Espoo  
P.O.Box 1805, FIN-02044 VTT, Finland  
Telephone: + 358 9 4561  
Fax: + 358 9 456 7003

**Statikpapier**

Nr.	R0SU00658	Blatt	1 von 7	Index	B
Titel		ECSC Stainless Steel Valorisation Project			
Inhalt		Bemessungsbeispiel 3 – Bemessung eines Stahltrapezprofils für Dächer der Querschnittklasse 4			
Auftraggeber  ECSC	Aufgestellt	AAT	Datum	Juni 2002	
	Geprüft	JEK	Datum	Juni 2002	
	Korrigiert	JBL/MEB	Datum	April 2006	

**BEMESSUNGSBEISPIEL 3 – BEMESSUNG EINES STAHLTRAPEZPROFILS FÜR DÄCHER DER QUERSCHNITTKLASSE 4, BIEGEBEANSPRUCHT**

In diesem Beispiel wird die Bemessung eines Stahltrapezprofils für Dächer behandelt. Es besteht aus Edelstahl rostfrei der Sorte 1.4401, die Materialdicke beträgt 0,6 mm. Die Abmessungen des Querschnittes sind wie folgt:



In diesem Beispiel sollen folgende Bemessungsschritte veranschaulicht werden:

- Bestimmung der wirksamen Querschnittswerte im Grenzzustand der Tragfähigkeit
- Bestimmung der Biegetragfähigkeit des Querschnittes
- Bestimmung der Tragfähigkeit des mittleren Lagers
- Bestimmung der Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Dieses Beispiel bezieht sich auf die prEN 1993-1-3:2005 und übernimmt die dort verwendeten Symbole und Terminologie. Für die vollständige Vorgehensweise der Bemessung und die Veranschaulichung zugehöriger Abbildungen sollte die prEN 1993-1-3 herangezogen werden.

**Bemessungsdaten**

Spannweite	$L$	=	2900 mm
Auflagerbreite	$s_s$	=	100 mm
Bemessungslast	$Q$	=	1,4 kN/m <sup>2</sup>
Profildicke	$t$	=	0,6 mm
Streckgrenze	$f_{yb}$	=	240 N/mm <sup>2</sup>
Elastizitätsmodul	$E$	=	200 000 N/mm <sup>2</sup>
Teilsicherheitsbeiwert	$\gamma_{M0}$	=	1,1
Teilsicherheitsbeiwert	$\gamma_{M1}$	=	1,1

Tabelle 3.1  
Abschnitt 3.2.4  
Tabelle 2.1  
Tabelle 2.1

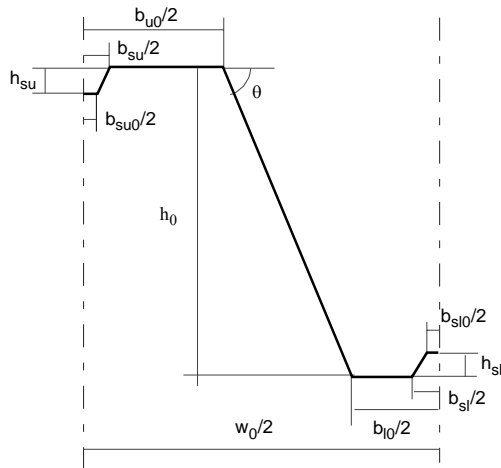
Symbole und detaillierte Abmessungen, die in der Berechnung verwendet werden, sind der folgenden Abbildung zu entnehmen. Die Position des Querschnittes wird so angegeben, dass infolge Biegung am Lager der obere Flansch unter Druck steht.



VTT TECHNICAL RESEARCH  
CENTRE OF FINLAND  
VTT BUILDING AND TRANSPORT  
Kemistintie 3, Espoo  
P.O.Box 1805, FIN-02044 VTT, Finland  
Telephone: + 358 9 4561  
Fax: + 358 9 456 7003

**Statikpapier**

Nr.	R0SU00658	Blatt	2 von 7	Index	B
Titel		ECSC Stainless Steel Valorisation Project			
Inhalt		Bemessungsbeispiel 3 – Bemessung eines Stahltrapezprofils für Dächer der Querschnittklasse 4			
Auftraggeber ECSC	Aufgestellt	AAT	Datum	Juni 2002	
	Gepüft	JEK	Datum	Juni 2002	
	Korrigiert	JBL/MEB	Datum	April 2006	



Auf die Schwerachse bezogene Abmessungen

$h_0 = 70 \text{ mm}$   
 $w_0 = 212,5 \text{ mm}$   
 $b_{u0} = 65 \text{ mm}$   
 $b_{l0} = 57 \text{ mm}$   
 $b_{su} = 20 \text{ mm}$   
 $b_{su0} = 8 \text{ mm}$   
 $h_{su} = 6 \text{ mm}$   
 $b_{sl} = 20 \text{ mm}$   
 $b_{sl0} = 8 \text{ mm}$   
 $h_{sl} = 6 \text{ mm}$

Innerer Radius der Knickpunkte  $r = 3 \text{ mm}$

Winkel des Steges:

$$\theta = \text{atan} \left| \frac{h_0}{0,5(w_0 - b_{u0} - b_{l0})} \right| = 57,1^\circ$$

**WIRKSAME QUERSCHNITTSWERTE IM GRENZUSTAND DER TRAGFÄHIGKEIT**

Prüfen des maximalen Verhältnisses Breite/Dicke:

$h_0 / t = 117$  ist kleiner als  $400 \sin \theta = 336$  und

$b_{l0} / t = 95$  ist kleiner als 400.

**Lage der Schwerachse bei voller Wirksamkeit des Steges**

Wirksame Breite des gedrückten Flansches:

$$b_p = \frac{b_{u0} - b_{su}}{2} = 22,5 \text{ mm} \quad \varepsilon = \left[ \frac{235}{f_y} \frac{E}{210\,000} \right]^{-0,5} = 0,966$$

$$k_\sigma = 4 \quad \bar{\lambda}_p = \frac{b_p / t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} = 0,684$$

$$\rho = \frac{0,772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} = 0,862 \quad \text{da } \rho < 1, \quad b_{\text{eff},u} = \rho b_p = 19,4 \text{ mm}$$

Reduzierte Dicke der Steife des Flansches:

Abschnitt 4.4

Tabelle 4.1

Tabelle 4.1

Abschnitt 4.4.1

Gleich. 4.1a

Abschnitt 4.5.3



VTT TECHNICAL RESEARCH  
CENTRE OF FINLAND  
VTT BUILDING AND TRANSPORT  
Kemistintie 3, Espoo  
P.O.Box 1805, FIN-02044 VTT, Finland  
Telephone: + 358 9 4561  
Fax: + 358 9 456 7003

**Statikpapier**

Nr.	R0SU00658	Blatt	3 von 7	Index	B
Titel					
ECSC Stainless Steel Valorisation Project					
Inhalt					
Bemessungsbeispiel 3 – Bemessung eines Stahltrapezprofils für Dächer der Querschnittklasse 4					
Auftraggeber  ECSC	Aufgestellt	AAT	Datum	Juni 2002	
	Geprüft	JEK	Datum	Juni 2002	
	Korrigiert	JBL/MEB	Datum	April 2006	

$$t_{su} = \frac{\sqrt{h_{su}^2 + \left(\frac{b_{su} - b_{su0}}{2}\right)^2}}{h_{su}} t = 0,849 \text{ mm}$$

$$A_s = (b_{\text{eff},u} + b_{su0})t + 2h_{su}t_{su} = 26,6 \text{ mm}^2$$

$$e_s = \frac{b_{su0}h_{su}t + 2h_{su}\frac{h_{su}}{2}t_{su}}{A_s} = 2,23 \text{ mm}$$

$$I_s = 2(15t^2e_s^2) + b_{su0}t(h_{su} - e_s)^2 + 2h_{su}t_{su}\left(\frac{h_{su}}{2} - e_s\right)^2 + 2\left(\frac{15t^4}{12}\right) + \frac{b_{su0}t^3}{12} + 2\frac{t_{su}h_{su}^3}{12}$$

$$= 159,53 \text{ mm}^4$$

$$b_s = 2\sqrt{h_{su}^2 + \left(\frac{b_{su} - b_{su0}}{2}\right)^2} + b_{su0} = 25,0 \text{ mm}$$

$$l_b = 3,07\left(I_s b_p^2 \frac{2b_p + 3b_s}{t^3}\right)^{1/4} = 251 \text{ mm}$$

$$s_w = \sqrt{\left(\frac{w_0 - b_{u0} - b_{l0}}{2}\right)^2 + h_0^2} = 83,4 \text{ mm}$$

$$b_d = 2b_p + b_s \quad k_{w0} = \sqrt{\frac{s_w + 2b_d}{s_w + 0,5b_d}} = 1,37$$

$$l_b/s_w = 3,01 \quad \text{da } l_b/s_w > 2, \quad k_w = k_{w0} = 1,37$$

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2k_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{4b_p^2(2b_p + 3b_s)}} = 515 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr,s}}} = 0,683$$

$$\text{Da } 0,65 < \bar{\lambda}_d < 1,38, \quad \chi = 1,47 - 0,723\bar{\lambda}_d = 0,98$$

$$t_{\text{red},u} = \chi t = 0,588 \text{ mm}$$

Der Abstand der neutralen Faser vom gedrückten Flansch beträgt:

$$t_l = \frac{\sqrt{h_{sl}^2 + \left(\frac{b_{sl} - b_{sl0}}{2}\right)^2}}{h_{sl}} t = 0,849 \text{ mm}$$

Fig. 4.3

Fig. 4.3

Gleich. 4.9

Gleich. 4.10  
and 4.11

Gleich. 4.3

Gleich. 4.15



VTT TECHNICAL RESEARCH  
CENTRE OF FINLAND  
VTT BUILDING AND TRANSPORT  
Kemistintie 3, Espoo  
P.O.Box 1805, FIN-02044 VTT, Finland  
Telephone: + 358 9 4561  
Fax: + 358 9 456 7003

**Statikpapier**

Nr.	R0SU00658	Blatt	4 von 7	Index	B
Titel		ECSC Stainless Steel Valorisation Project			
Inhalt		Bemessungsbeispiel 3 – Bemessung eines Stahltrapezprofils für Dächer der Querschnittklasse 4			
Auftraggeber ECSC	Aufgestellt	AAT	Datum	Juni 2002	
	Geprüft	JEK	Datum	Juni 2002	
	Korrigiert	JBL/MEB	Datum	April 2006	

$$t_w = t / \sin \theta = 0,714 \text{ mm}$$

$e_i =$	$A_i =$	
0	$0,5b_{\text{eff,u}} t$	$A_{\text{tot}} = \sum A_i = 87,5 \text{ mm}^2$
0	$0,5b_{\text{eff,u}} \chi t$	
$0,5h_{\text{su}}$	$h_{\text{su}} \chi t_{\text{su}}$	$e_c = \frac{\sum A_i e_i}{A_{\text{tot}}} = 34,9 \text{ mm}$
$h_{\text{su}}$	$0,5b_{\text{su0}} \chi t$	
$0,5h_0$	$h_0 t_w$	
$h_0$	$0,5(b_{l0} - b_{sl}) t$	
$h_0 - 0,5h_{sl}$	$h_{sl} t_{sl}$	
$h_0 - h_{sl}$	$0,5b_{sl0} t$	

**Wirksamer Querschnitt des gedrückten Bereiches des Steges**

Abschnitt  
4.4.1

$$\psi = -\frac{h_0 - e_c}{e_c} = -1,006 \quad k_\sigma = 5,98(1 - \psi)^2 = 24,1$$

Tabelle 4.3

$$b_p = h_0 / \sin \theta = 83,4 \text{ mm} \quad \bar{\lambda}_p = \frac{b_p / t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} = 1,032$$

$$\rho = \frac{0,772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} = 0,630 \quad \text{Wegen } \rho < 1, b_{\text{eff}} = \rho \frac{b_p}{1 - \psi} = 26,2 \text{ mm}$$

Gleich. 4.1a  
Tabelle 4.3

$$s_{\text{eff,l}} = 0,4b_{\text{eff}} = 10,5 \text{ mm} \quad s_{\text{eff,n}} = 0,6b_{\text{eff}} = 15,7 \text{ mm}$$

Tabelle 4.3

**Wirksame Querschnittswerte für die halbe Riffelung**

$$h_{\text{eff,l}} = s_{\text{eff,l}} \sin \theta \quad h_{\text{eff,n}} = s_{\text{eff,n}} \sin \theta$$

$e_{\text{eff},i} =$	$A_{\text{eff},i} =$	$I_{\text{eff},i}$
0	$0,5b_{\text{eff,u}} t$	0
0	$0,5b_{\text{eff,u}} \chi t$	0
$0,5h_{\text{su}}$	$h_{\text{su}} \chi t_{\text{su}}$	$\chi^2 t_{\text{su}} h_{\text{su}}^3 / 12$




VTT TECHNICAL RESEARCH  
CENTRE OF FINLAND  
VTT BUILDING AND TRANSPORT  
Kemistintie 3, Espoo  
P.O.Box 1805, FIN-02044 VTT, Finland  
Telephone: + 358 9 4561  
Fax: + 358 9 456 7003

**Statikpapier**

Nr.	R0SU00658	Blatt	5 von 7	Index	B
Titel		ECSC Stainless Steel Valorisation Project			
Inhalt		Bemessungsbeispiel 3 – Bemessung eines Stahltrapezprofils für Dächer der Querschnittklasse 4			
Auftraggeber  ECSC	Aufgestellt	AAT	Datum	Juni 2002	
	Geprüft	JEK	Datum	Juni 2002	
	Korrigiert	JBL/MEB	Datum	April 2006	

$h_{su} = 0,5b_{su} \chi t = 0$ $0,5h_{eff,1} = h_{eff,1} t_w = t_w h_{eff,1}^3 / 12$ $h_0 - 0,5(h_0 - e_c + h_{eff,n}) = (h_0 - e_c + h_{eff,n}) t_w = t_w (h_0 - e_c + h_{eff,n})^3 / 12$ $h_0 = 0,5(b_{l0} - b_{sl}) t = 0$ $h_0 - 0,5h_{sl} = h_{sl} t_{sl} = t_{sl} h_{sl}^3 / 12$ $h_0 - h_{sl} = 0,5b_{sl} t = 0$ $A_{tot} = \sum A_{eff,i} = 78,2 \text{ mm}^2 \quad e_c = \frac{\sum A_{eff,i} e_{eff,i}}{A_{tot}} = 37,20 \text{ mm}$ $I_{tot} = \sum I_{eff,i} + \sum A_{eff,i} (e_c - e_{eff,i})^2 = 58\,400 \text{ mm}^2$ <p>Optional können die wirksamen Querschnittswerte auch iterativ in Bezug auf die Lage der Schwerachse ermittelt werden.</p> <p><b>Momententragfähigkeit pro Längeneinheit (1 m)</b></p> $I = \frac{1000 \text{ mm}}{0,5w_0} I_{tot} = 549\,000 \text{ mm}^4$ $W_u = \frac{I}{e_c} = 14\,800 \text{ mm}^3 \quad W_l = \frac{I}{h_0 - e_c} = 16\,800 \text{ mm}^3$ <p>da <math>W_u &lt; W_l</math>, <math>W_{eff,min} = W_u = 14\,800 \text{ mm}^3</math></p> $M_{c,Rd} = W_{eff,min} f_y / \gamma_{M0} = 3,22 \text{ kNm}$ <p><b>BESTIMMUNG DER TRAGFÄHIGKEIT DES MITTLEREN LAGERS</b> <b>Tragfähigkeit des Steges hinsichtlich Krüppeln</b></p> <p>Hier <math>\varphi = \theta</math></p> $l_a = s_s \quad \text{and} \quad \alpha = 0,15$ $R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E} \left( 1 - 0,1 \sqrt{\frac{r}{t}} \right) \left( 0,5 + \sqrt{0,02 \frac{l_a}{t}} \right) \left[ 2,4 + \left( \frac{\phi}{90 \text{ deg}} \right)^2 \right] \frac{1}{\gamma_{M1}} \frac{1000 \text{ mm}}{0,5w_0}$ $= 16,2 \text{ kN}$	<p>prEN 1993-1-3, Satz 5.5.3.3(3)</p> <p>Abschnitt 4.7.4</p> <p>Gleich. 4.29</p> <p>Abschnitt 5.4.4</p> <p>prEN 1993-1-3, Gleich. 6.19b und 6.20c</p> <p>prEN 1993-1-3, Gleich. 6.18</p>
--	--

 <b>VTT TECHNICAL RESEARCH</b> <b>CENTRE OF FINLAND</b> VTT BUILDING AND TRANSPORT Kemistintie 3, Espoo P.O.Box 1805, FIN-02044 VTT, Finland Telephone: + 358 9 4561 Fax: + 358 9 456 7003 <b>Statikpapier</b>	Nr.	R0SU00658	Blatt	6 von 7	Index	B	
	Titel						ECSC Stainless Steel Valorisation Project
	Inhalt						Bemessungsbeispiel 3 – Bemessung eines Stahltrapezprofils für Dächer der Querschnittsklasse 4
	Auftraggeber	Aufgestellt	AAT	Datum	Juni 2002		
ECSC	Gepüft	JEK	Datum	Juni 2002			
	Korrigiert	JBL/MEB	Datum	April 2006			

### Interaktion aus Biegung und Lagerreaktion

Erhöhte Lasteinwirkung pro Einheitsbreite (1m):

$$\gamma_G = 1,35 \quad \gamma_Q = 1,5 \quad \text{Eigengewicht: } G = 70 \text{ N/m}^2$$

$$q = (\gamma_G G + \gamma_Q Q) = 2,20 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = \frac{qL^2}{8} = 2,31 \text{ kNm}$$

$$F_{Ed} = \frac{5}{4} qL = 7,96 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = 0,716$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} = 0,491$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} = 1,21$$

Interaktion aus Biegung und Lagerreaktion genügt den Bedingungen:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1,25$$

Abschnitt  
2.3.2  
Gleich. 2.3

prEN 1993-1-3, Gleichn. 6.28a-c

### BESTIMMUNG DER VERFORMUNG IM GRENZZUSTAND DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT (SLS)

#### Wirksame Querschnittswerte

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sollte die wirksame Breite der gedrückten Bauteile basierend auf der Druckspannungsverteilung im Bauteil infolge Gebrauchslasten ermittelt werden.

Maximale Druckspannung im wirksamen Querschnitt im SLS. Es wurde eine konservative Näherung mittels  $W_u$ , bestimmt im Grenzzustand der Tragfähigkeit, vorgenommen.

$$M_{y,Ed,ser} = \frac{(G+Q)L^2}{8} = 1,55 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{com,Ed,ser} = \frac{M_{y,Ed,ser}}{W_u} = 105 \text{ N/mm}^2$$

prEN 1993-1-3, Satz 5.5.1(4)

Abschnitt  
2.3.4

Die wirksamen Querschnittswerte werden wie zuvor im Grenzzustand der Tragfähigkeit bestimmt, wobei allerdings  $f_{yb}$  durch  $\sigma_{com,Ed,ser}$  ersetzt wird und die Dicke der Steife des Flansches nicht reduziert wird.

Die Ergebnisse der Berechnung sind:

Wirksame Breite des gedrückten Flansches


Der Flansch ist vollständig wirksam

Lage der Schwerachse bei vollständig wirksamen Steg

$$e_c = 34,1 \text{ mm}$$

Wirksamer Querschnitt des gedrückten Bereiches des Steges

Der Steg ist vollständig wirksam

 <b>VTT TECHNICAL RESEARCH</b> <b>CENTRE OF FINLAND</b> VTT BUILDING AND TRANSPORT Kemistintie 3, Espoo P.O.Box 1805, FIN-02044 VTT, Finland Telephone: + 358 9 4561 Fax: + 358 9 456 7003 <b>Statikpapier</b>	Nr.	R0SU00658	Blatt	7 von 7	Index	B	
	Titel						ECSC Stainless Steel Valorisation Project
	Inhalt						Bemessungsbeispiel 3 – Bemessung eines Stahltrapezprofils für Dächer der Querschnittklasse 4
	Auftraggeber		Aufgestellt	AAT	Datum	Juni 2002	
ECSC		Geprüft	JEK	Datum	Juni 2002		
		Korrigiert	JBL/MEB	Datum	April 2006		
<p>Wirksamer Bereich des Steges</p> <p>Wirksame Querschnittswerte für die halbe Riffelung</p> <p>Wirksame Querschnittswerte pro Einheitsbreite (1 m)</p> <p><b>Bestimmung der Verformung</b></p> <p>Sekantenmodul der Elastizität entsprechend des Maximalwertes des Biegemomentes:</p> $\sigma_{1,Ed,ser} = \frac{M_{y,Ed,ser}}{W_u} = 89,5 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{2,Ed,ser} = \frac{M_{y,Ed,ser}}{W_l} = 90,8 \text{ N/mm}^2$ $E_{s,1} = \frac{E}{1 + 0,002 \frac{E}{\sigma_{1,Ed,ser}} \left( \frac{\sigma_{1,Ed,ser}}{f_{yb}} \right)^n} = 199 \text{ kN/mm}^2 \quad n = 7,0$ $E_{s,2} = \frac{E}{1 + 0,002 \frac{E}{\sigma_{2,Ed,ser}} \left( \frac{\sigma_{2,Ed,ser}}{f_{yb}} \right)^n} = 199 \text{ N/mm}^2$ $E_{s,ser} = \frac{E_{s,1} + E_{s,2}}{2} = 199 \text{ N/mm}^2$ <p>Prüfen der Verformung:</p> <p>Als konservative Näherung wird die Veränderlichkeit von <math>E_{s,ser}</math> entlang der Bauteilachse vernachlässigt.</p> $x = \frac{1 + \sqrt{33}}{16} L = 1,22 \text{ m (Lage der maximalen Verformung)}$ $\delta = \frac{(G + Q)L^4}{48E_{s,ser}I} \left( \frac{x}{L} - 3 \frac{x^3}{L^3} + 2 \frac{x^4}{L^4} \right) = 4,7 \text{ mm}$ <p>Die Verformung darf <math>L/200 = 14,5 \text{ mm}</math> nicht überschreiten, daher ist die berechnete Verformung akzeptabel.</p>							
						Anhang C	
						Anhang C Tabelle C.1	
						Anhang C	

