

W.0001 Stabilitätsnachweise im Stahlbau Schubfeld, Drehbettung, Biegedrillknicken nach EN 1993-1-1 und EN 1993-1-3 + NA

Insbesondere im Hallenbau ist es seit längerer Zeit üblich, beim Stabilitätsnachweis von Stahlträgern die stabilisierende Wirkung von z.B. Dacheindeckungen aus Trapezblechen und/oder angeschlossenen Querträgern zu berücksichtigen. Nach [1] kann dadurch die Tragfähigkeit der Stahlträger um durchaus 130% gesteigert werden.

Die Berechnungsmethoden sind in EN 1993-1-3 geregelt. Sie verlässt dabei insbesondere bei den Schubfeldnachweisen die Berechnungsmethode nach DIN 18800. Hier wurden Schubfelder nach [2] berechnet und damit die Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel vernachlässigt. EN 1993-1-3 sieht dagegen die Nachweise nach ECCS bzw. Bryan/Davies vor, die in [3] erläutert und [2] gegenübergestellt sind. Auch in [1] wird die Vernachlässigung der Nachgiebigkeit von Verbindungsmitteln kritisch gesehen.

Die neuen Nachweise sehen jedoch für die Profilbleche andere Schubfeldwerte vor. Während diese für Aluminiumprofile vorliegen, beinhalten die meisten Stahltrapezblechtabellen noch die alten Werte, obwohl diese teilweise noch im Frühjahr 2014 für die Typenprüfung nach EN 1993 überarbeitet wurden.

In EN 1993-1-3 NA findet sich im NCI zu 10.3.1, Anmerkung ein Literaturhinweis auf [2]. Daraus wurde von der Stahlblechindustrie und einem Teil der Fachwelt abgeleitet, dass auch heute noch eine Berechnung nach [2] in Deutschland zulässig ist, obwohl auch im NA der detaillierte Nachweis der Verbindungsmittel beschrieben und gefordert wird.

Auf Anfrage hat uns das DIBt jedoch bestätigt, dass in Zukunft nach [3] gerechnet werden sollte und z.Zt. eine Klarstellung in Form einer DIBt-Mitteilung geprüft wird, falls weiterhin Typenprüfungen von Stahltrapezprofilen mit den alten Werten vorgenommen werden.

Wir haben einen Hersteller gefunden, der die Typenprüfung seiner Profile schon nach der neuen Methode durchgeführt hat.

Unter www.muenker.com können für alle Trapezblechprofile Tabellen mit den neuen Werten her-

untergeladen werden. Es scheint uns unbedenklich, diese Werte auch für andere Fabrikate zu verwenden, da die Profile i.d.R. gleich sind. Unser neues Programm W.0001 basiert auf den neuen Nachweismethoden und wird im Folgenden beschrieben:

Systemwerte

Es wird ein 1-feldriger 2-achsiger Ersatzstab betrachtet, bei dem jedoch Einspannungen und Wölbbeschränkungen berücksichtigt werden können.

Systemwerte			
Stablänge	L	10.000	m
Einflussbreite	B	6.000	m
gehalten	links	1	0/1 = nein/ja
	rechts	1	0/1 = nein/ja
Hauptrichtung			
Knicklängenbeiwert	beta y	0.00	0=ermitteln
Einspanngrad	links	50.0	%
	rechts	50.0	%
Nebenrichtung			
Knicklängenbeiwert	beta z	1.00	0=ermitteln
Einspanngrad	links	0.0	%
	rechts	0.0	%
Wölbeinspannung			
Wölblängenbeiwert	beta 0	1.00	0=ermitteln
Stirnplattendicke	links	11.0	mm
	rechts	11.0	mm
Länge des Stabes			

Trägerprofil und -material sind aus den Datenbanken mit allen Abmessungen und Eigenschaften anwählbar.

Profil			
Profilreihe	2		
Profil	11		
IPE 300			
Breite	150.0	mm	
Höhe	300.0	mm	
Stegdick	7.1	mm	
Flanschdicke	10.7	mm	

Bemessungswerte			
Baustahl	S 355		
t<=	40	mm	t<= 80 mm
f _{yk}	355.0	N/mm ²	f _{yk} 335.0 N/mm ²
f _{uk}	490.0	N/mm ²	f _{uk} 470.0 N/mm ²
E _s	210000	N/mm ²	G _s 81000 N/mm ²
alpha t	12.0	*10 ⁻⁶ K ⁻¹	poi 0.30

Stahlbezeichnung

Eindeckung

Um sämtliche Nachweise führen zu können, sind detaillierte Angaben zur Eindeckung z.B. einer Halle einzugeben.

Eindeckung			
Profil	Art 1	0.1/2/3	Bezeichn. M 100/275
Lage	1	1/2	
Dämmung	0	0.1/2/3	Dicke C mm

Querschnittswerte			
t _N	0.88	mm	b _R 275 mm
leff	170.3	cm ⁴ /m	E-modul 210000 N/mm ²

Ausbildung der Eindeckung			
Anzahl Felder	1	Aufl.-Art 1	1/2 gestoßen 0
Befestigung	1	Anordnung 1/2	Anzahl BL 12
Art	1	1/2	eL 30 cm C100 5.2 kNm/m

Schubfeldwerte gem. Zulassung			
LR	8.000	m	zulT1 67.20 kN/m
K'1	0.218	m/kN	K'2 24.66 m ² /kN
K*1	4.240	m/kN	K*2 1.93 m ² /kN
K1		m/kN	K2 m ² /kN

Schubfeld			
Breite	10.000	m	Länge 6.000 m
qw,Ed	0.00	kN/m	nT 11

1 = Stahlprofilblech, 2 = Alu-Profilblech, 3 = Zementplatte
(0 = löschen)

Es werden Stahl- bzw. Aluminiumtrapezprofile sowie Zementplatten wahlweise mit oder ohne

Schubfeldwerte										
Nennblechdicke	Grenz Zustand der Tragfähigkeit ¹⁵⁾				Grenz Zustand der Gebrauchstauglichkeit ¹⁶⁾				F _{T,Rk} in kN ¹⁸⁾	
	L _R ¹¹⁾	T _{1,Rk}	T _{crit,g} ¹¹⁾ ¹²⁾	T _{crit,l} ¹²⁾	T _{3,Rk,N}	T _{3,Rk,S} ¹⁷⁾	k ₁ '	k ₂ '	Einleitungslänge a	
									≥ 130 mm	≥ 280 mm
mm	m	kN/m				m/kN		m ² /kN		
0,75	8,00	56,80	8,75	35,58	1,68	1,60	0,278	48,560	13,50	18,00
0,88	8,00	67,20	11,26	54,17	2,55	2,44	0,235	31,895	15,90	21,30
1,00	8,00	76,80	13,76	75,64	3,56	3,41	0,206	22,843	18,30	24,30
1,13	8,00	87,20	16,65	103,91	4,89	4,68	0,181	16,629	20,70	27,63
1,25	8,00	96,80	19,47	134,91	6,35	6,08	0,163	12,807	22,95	30,75
1,50	8,00	116,80	25,81	215,75	10,16	9,73	0,135	8,008	27,75	37,05

Beiwerte:		
k ₁ ' = 3,76 1/kN	¹⁴⁾	k ₂ ' = 2,17 m ² /kN ¹⁴⁾
k ₃ ' = 0,884	¹⁵⁾	

Schubfeldwerte Stahltrapezblech M 135.1/310 Positivlage

Dämmung in Positiv- oder Negativlage berücksichtigen.

Blechstärke, Rippenbreite, Breite des angeschlossenen Gurtes, Trägheitsmoment und Elastizitätsmodul des Profils sind anzugeben.

Eine Eingabe des statischen Systems und die Art der Befestigung sind ebenfalls vorzunehmen. Unterstützt werden Schrauben bzw. Setzbolzen.

Anordnung und Abstände der Befestigungen sowie die auf eine Trägergurtbreite von 100 mm bezogene Drehsteifigkeit sind zu definieren.

Wahlweise können die C₁₀₀-Werte für gängige Eindeckungen automatisch ermittelt werden.

Unterstützt werden hierbei die Werte nach Tabelle 2 aus [1] sowie teilweise Werte für Aluminiumprofile aus weiteren Fachveröffentlichungen für drückende Belastung.

Tabelle 2. Drehbettungswerte C₁₀₀ für flächenhaft aussteifende Bauteile, nach [1], [3], [4]

Zeile	Last	Dicke t _{eff}	aussteifendes Element Befestigung ohne/mit Dämmung	Art der Befestigung			
				Obergurt e = b _e (b _{1,eff})	Obergurt e = 2 b _e (b _{2,eff})	Untergurt e = b _e (b _{1,eff})	Untergurt e = 2 b _e (b _{2,eff})
1	Auflast	0,75	Trapezprofile Lage positiv Befestigung Schrauben ohne Dämmung			5,2 (40)	3,1 (40)
2	Auflast	0,75	Trapezprofile Lage positiv Befestigung Setzbolzen ohne Dämmung			4,0 (40)	3,1 (40)
3	Auflast	0,75	Trapezprofile Lage negativ Befestigung Schrauben oder Setzbolzen ohne Dämmung	10,0 (40) h)	5,2 (40) h)	3,1 (120)	2,0 (120)
4	Sog	0,75	Trapezprofile Lage positiv Befestigung Schrauben ohne Dämmung			2,6 (40)	1,7 (40)
5	Auflast	0,75	Trapezprofile Dämmung : Extrudiertes Polystyrol nach DIN EN 13164 d = 60 mm	5,0	3,2	4,7	2,9
6	Auflast	0,75	Trapezprofile Dämmung : Extrudiertes Polystyrol nach DIN EN 13164 d = 100 mm	5,6	3,5	4,8	3,4
7	Auflast	0,75	Trapezprofile Dämmung : Mineralwolle nach DIN EN 13162 d = 80 mm, mit Distanzleiste	5,9	3,3	4,9	2,9
8	Auflast	0,75	Trapezprofile Dämmung : Mineralwolle nach DIN EN 13162 d = 80 mm, ohne Distanzleiste	2,1	0,85	2,4	0,97
9	Auflast Sog		Faserzementplatten Faserzementplatten			5,3	2,6

Die Schubfeldwerte sind den Zulassungen bzw. Typenprüfungen der Hersteller zu entnehmen.

VP - MAIL

Juni 2010 Blatt 3

Zusätzlich kann noch eine äußere Last aus z.B. Wind auf einen Hallengiebel, der in das Schubfeld eingeleitet werden soll, bestimmt werden.

Querträger

Zusätzlich oder alternativ können angeschlossene Querträger berücksichtigt werden.

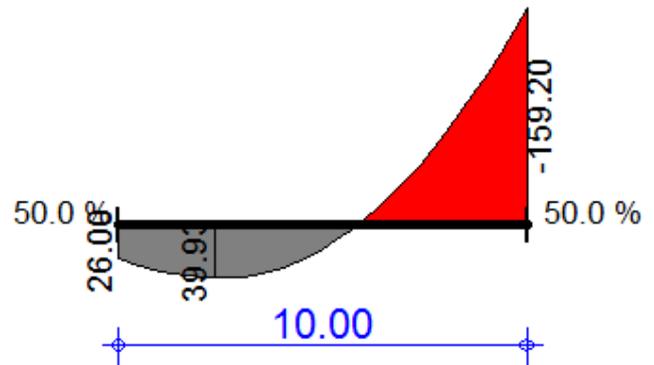
Querträger	
Abstand	3.330 m
Profilreihe	4 0 = freie Eingabe, -1 = löschen
Profil	3 HE-A 140
ly	1030.0 cm ⁴
E-Modul	210000 N/mm ²
Stirnplatte b	140.0 mm
Querträgerabstand (0 = kein Träger)	

Die diskreten Federn aus diesen Trägern werden zu einer kontinuierlichen Drehfeder umgerechnet und falls vorhanden zu den Drehfedern der Eindeckung ergänzt.

Traglastkurven

Für die Nachweise können beliebig viele Traglastkurven für die Haupt- und/oder Nebenrichtung definiert werden.

Schnittkraftlinien						
Nr.	Bezeichnung		Vollast + Wli II. Ordn.			
	Normalkraft	0.00 kN	Druck positiv			
Hauptrichtung		vorhanden	1	0/1	Verlauf 3 1/2/3	
	x = 0	xmax	2.500 m		x = L	
	MEd.li	26.00 kNm	MEd,F	40.00 kNm	MEd,re	-159.20 kNm
	VEd.li	40.00 kN	VEd,F	0.00 kN	VEd,re	-80.00 kN
	qEd	12.0 kN/m	Angriff	15.0 cm	qs,Ed	0.3 kN/m
Nebenrichtung		vorhanden	0	0/1	Verlauf 0 1/2/3	
	x = 0	xmax	0.000 m		x = L	
	MEd.li	0.00 kNm	MEd,F	0.00 kNm	MEd,re	0.00 kNm
	VEd.li	0.00 kN	VEd,F	0.00 kN	VEd,re	0.00 kN
Verlauf der Momentenlinie 1 = unbelastet, 2 = linear, 3 = parabelförmig						



Zur automatischen Generierung der Schnittkraftlinien werden die Extremwerte erfasst. Über einen wahlweise linearen oder parabelförmigen Verlauf werden die Schnittkraftkurven vom Programm erzeugt.

Dieser Verlauf kann interaktiv in L/30-Punkten des Stabes korrigiert werden.

Dies ist wichtig, da das Programm nicht nach der Ersatzstabtheorie ausschließlich das größte Biegemoment berücksichtigt. Es werden die Bereiche positiver und negativer Momente getrennt untersucht, da ein positiver Momentenverlauf über 80% der Trägerlänge maßgebend werden kann, auch wenn im restlichen Trägerbereich ein absolut größeres negatives Moment auftritt.

Ebenfalls sind Riegelbelastung und Lastangriff bezogen auf den Trägerprofilschwerpunkt zu bestimmen. Die Stabilisierungslast $q_{s,Ed}$ wird vom Programm intern nach EN 1993 ermittelt und vorgeschlagen. Sie kann vom Anwender wahlweise geändert werden.

Das folgende Beispiel aus [1] wird mit unserem Programm W.0001 nachgerechnet.

Der Rahmenriegel wird in der Hauptrichtung als in die Stiele zu 50% eingespannt betrachtet und die entsprechenden Knicklängen automatisch ermittelt. Die Wölblänge wird mit der Riegellänge vorgegeben.

Juni 2014 Blatt 4

2.3 Beispiel

Es wird der Riegel eines Hallenrahmens (zwischen den Punkten 2 und 3) betrachtet, der in [23] detailliert untersucht wurde, siehe Bild 6. Die Biegemomente nach Theorie II. Ordnung sind in Bild 6 angegeben, die Normalkraft im Riegel von $N_d = -9,8 \text{ kN}$ wird im Folgenden vernachlässigt.

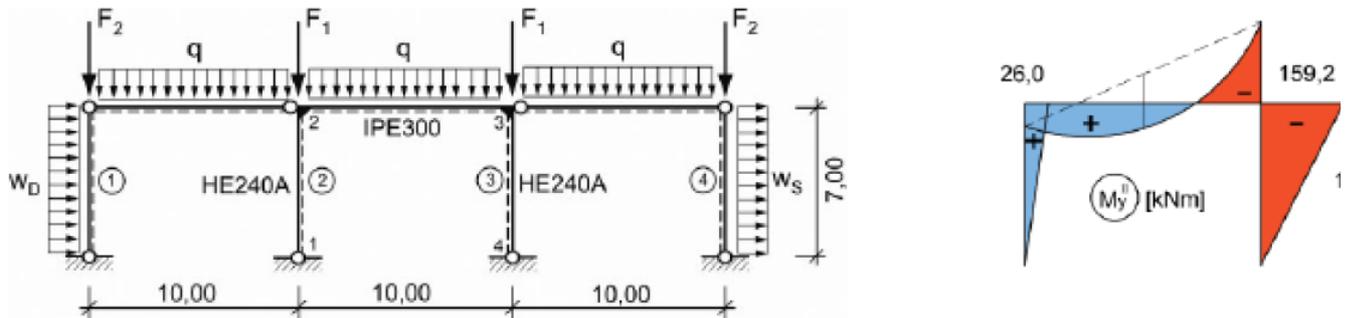


Bild 6. Beispiel Hallenrahmen [23], links : System, rechts : Momente nach Th. II.O.
 $q_d = 12 \text{ kN/m}$

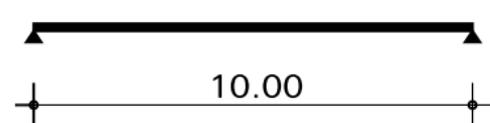
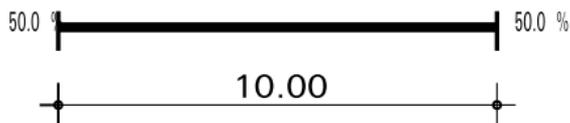
Systemwerte

geh. : 1 = gehalten, 0 = frei

Länge	Einfl.-Br.	geh.	Einspanngrad				Knicklänge			Wölblänge	Stirnpl.	
l	b	li	re	γ_{li}	γ_{re}	z_{li}	z_{re}	β_y	β_z	β_o	d_{li}	d_{re}
m	m			%	%	%	%				mm	mm
10.000	6.000	1	1	50.0	50.0	0.0	0.0	0.72	1.00	1.00	11	11

Hauptsystem M. 1 / 170

Nebensystem M. 1 / 170



Querschnitt

Stahl S 355 $f_y = 355.0 \text{ N/mm}^2$ $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ $Y_{M0} = 1.00$ $Y_{M1} = 1.10$

Bezeichnung	h	b	t_w	t_f	A	I_y	I_z	I_t	CM	i_y	i_z
	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁶	cm	cm
IPE 300	300	150	7.1	10.7	53.8	8360	604	20	125900	12.5	3.4

Zunächst wird ein Stabilitätsnachweis ohne Berücksichtigung der Eindeckung und Querträger

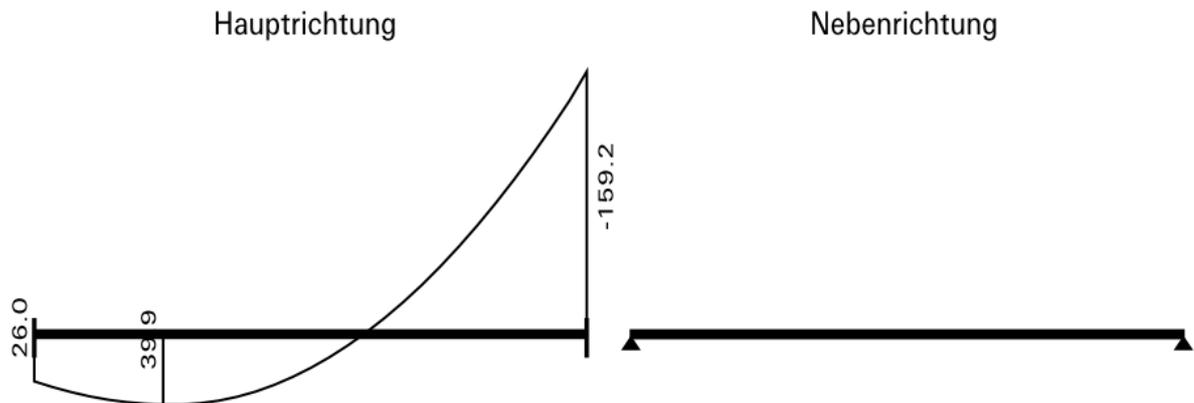
geführt. Das Ergebnis zeigt, dass das Trägerprofil nicht ausreicht.

Juni 2014 Blatt 5

Traglastkurve 1 Vollast + Wli II.Ordn.

Normalkraft 0.00 kN (Druck pos.)
 mittl. Vertikallast $q_{z,Ed}$ 12.00 kN/m Lastangriff 15.0 cm vom Schwerpunkt
 Stabilisierungslast $q_{s,Ed}$ 0.30 kN/m
 äußere Horizontallast $q_{y,Ed}$ 0.50 kN/m

x	M_y	V_z	x	M_z	V_y
m	kNm	kN	m	kNm	kN
0.000	26.00	40.00	0.000	0.00	0.00
2.500	40.00	0.00			
10.000	-159.20	-80.00	10.000	0.00	0.00



Stabilitätsnachweis nach EN 1993-1-1 6.3.2.3

Es werden die Schnittkräfte N_{Ed}/X und $M_{y,Ed}/X_{Lt}$ ermittelt und hierfür mit $M_{z,Ed}$ und V_{Ed} ein plastischer Nachweis geführt. Im vollplastischen Zustand wird von durch die Schubspannungen reduzierten Fließspannungen σ_F ausgegangen. Unter Berücksichtigung der Normalkräfte N_{Ed}/X werden daraus die aufnehmbaren plastischen Momente $M_{pl,Rd}$ ermittelt. Solange die Momente $M_{y,Ed}/X_{Lt}$ und $M_{z,Ed}$ kleiner sind, ist die Tragsicherheit gegeben. (genaues Verfahren gemäß Kindmann: Stahlbau 81 4/2012)

Die Nachweise werden in den lokalen Richtungen y (Haupt-) und z (Nebenrichtung) geführt.

x	N_{Cr}	λ	α	X	N_{Ed}/X	$V_{y,Ed}$	M_z	σ_{Fw}	N_{pl}	$M_{zpl,Rd}$
m	kN/kNm	λ_{LT}	α_{LT}	X_{LT}	$M_{y,Ed}/X_{LT}$	$V_{z,Ed}$	kNm	σ_{Ff}	kN	$M_{yp1,Rd}$
					kN	kN		N/mm ²		kNm
10.000						0.0	0.0	316.3	1909.9	0.0
	53.5	2.04	0.21	0.24	-663.8	-80.0		322.7		201.8

Querschnitt nicht ausreichend

Nachfolgend werden eine Eindeckung und Querträger erfasst und dafür ein Schubfeld- und Drehbettungsnachweise geführt. Diese Nachweise machen einen Stabilitätsnachweis noch nicht entbehrlich, da die hierfür notwendigen Dreh- bzw. Schubsteifigkeiten nicht erreicht werden. Im An-

schluss wird dann der Stabilitätsnachweis unter Einbeziehung der Drehfedern bei der Ermittlung von M_{cr} durchgeführt und nachgewiesen, dass der Träger mit der Trapezblechscheibe und den Querträgern stabilisiert werden kann.

VP - MAIL

Juni 2014 Blatt 6

Eindeckung

Art : 1 = Stahl-, 2 = Alu-Profilblech, 3 = Zementplatten Lage : 1 = Positivlage, 2 = Negativlage
 Däm : 0 = ohne, 1 = Polystyrol, 2 = Mineralwolle mit -, 3 = - ohne Distanzleiste
 AnzF : Anzahl Felder Aufl : 1 = Endauflager, 2 = Mittelaflager
 StKz : Längsrichtung gestoßen 0 / 1 = nein / ja

Art	Bezeichnung	Lage	t_N mm	b_R mm	b_T mm	I_{eff} cm ⁴ /m	E N/mm ²	Däm	t_D mm	AnzF	Aufl	StKz
1	Acelor 100/275	1	0.88	275	40	170.3	210000	0		1	1	0

Befestigungen, Schubfeldgeometrie und äußere Belastung (z.B. Wind etc.)

Anordnung: 1 = 4-seitig, 2 = 2-seitig, Gurt : 0 = am Unter-, 1 = am Obergurt
 Rippe : 1 = jede Rippe, 2 = jede 2. Rippe
 AnzBL : Anzahl Befestigungen am Längsrand eL : Befestigungsabstand im Längsstoß
 nT : Anzahl Profiltafeln in Querrichtung

Schraube	Gurt	AnzBL	n_T cm	e_L cm	C_{100} kNm/m	L_{SF} m	B_{LF} m	$q_{y, Ed}$ kN/m	
Anordnung Rippe	1	1	0	12	11	30.0	5.2	6.000 10.000	0.00

Querträger

Bezeichnung	e m	I_y cm ⁴	E N/mm ²	Stirnplattenbreite mm
HE-A 140	3.330	1030	210000	140

Schubflussbegrenzung und Schubfeldsteifigkeit nach Baehre/Wolfram

L_R m	L_{Si} m	k'_1 m/kN	k'_2 m ² /kN	k^*_1 1/kN	k^*_2 m ² /kN	k'_3	$T'_{1, zul}$ kN/m	$T'_{2, zul}$ kN/m	$T'_{3, zul}$ kN/m	S kN/m
8.000	6.000	0.218	24.66	4.24	1.93	0.727	119.47		3.08	2310.5

Schubfluss und Scherkräfte im Schubfeld

n_L : Anzahl Befestigungen am Längsrand n_Q : am Querrand jede Rippe
 F_L : Scherkraft je Befestigung F_Q : Scherkraft je Befestigung

$V_{y, SF}$ kN	$V_{s, SF}$ kN	T_{vorh} kN/m	n_Q	n_L	F_Q kN	F_L kN
0.00	1.50	0.25 <=	3.08	36	12	0.04 0.05

Drehbettung Eindeckung nach EN 1993-1-3 10.1.5.2 und EN 1993-1-1 BB.2.2 (BB.3)

k_{ba}	k_t	k_{bR}	K_A	k_{bT}	$C_{D, A}$ kNm/m	$C_{D, B}$ kNm/m	k	$C_{D, C}$ kNm/m	C_D kNm/m	k_v	k_δ	$C_{\delta, kerf}$ kNm/m
1.875	1.192	0.673	2.338	1.000	18.28	64.95	2	119.2	12.74	0.35	2.09	28.70

Juni 2014 Blatt 7

Drehbettung Querträger nach EN 1993-1-3 10.1.5.2 und EN 1993-1-1 BB.2.2 (BB.3)

$C_{D,B}$ kNm/m	k	$C_{D,C}$ kNm/m	C_D kNm/m	k_v	k_δ	$C_{\delta,kerf}$ kNm/m
28.6	2	721	8.3	0.35	2.09	28.70

Stabilitätsnachweis nach EN 1993-1-1 6.3.2.3

Es werden die Schnittkräfte $N_{ED/X}$ und $M_{y,Ed}/X_{Lt}$ ermittelt und hierfür mit $M_{z,Ed}$ und V_{Ed} ein plastischer Nachweis geführt. Im vollplastischen Zustand wird von durch die Schubspannungen reduzierten Fließspannungen σ_F ausgegangen. Unter Berücksichtigung der Normalkräfte N_{Ed}/X werden daraus die aufnehmbaren plastischen Momente $M_{pl,Rd}$ ermittelt. Solange die Momente $M_{y,Ed}/X_{Lt}$ und $M_{z,Ed}$ kleiner sind, ist die Tragsicherheit gegeben. (genaues Verfahren gemäß Kindmann: Stahlbau 81 4/2012)

Die Nachweise werden in den lokalen Richtungen y (Haupt-) und z (Nebenrichtung) geführt.

x m	N_{cr} M_{cr} kN/kNm	λ λ_{LT}	α α_{LT}	X X_{LT}	N_{Ed}/X $M_{y,Ed}/X_{LT}$ kN	$V_{y,Ed}$ $V_{z,ED}$ kN	M_z kNm	σ_{Fw} σ_{Ff} N/mm ²	N_{pl} kN	$M_{zpl,Rd}$ $M_{yp1,Rd}$ kNm
10.000	214.1	1.02	0.21	0.81	-197.4	0.0 -80.0	0.0 322.7	316.3 322.7	1909.9	0.0 201.8

[1] J.Lindner :
Tragfähigkeitssteigerung von Biegeträgern durch
Trapezprofile
Stahlbauseminar 2011 FH Biberach
[2] R.Schardt, C.Strehl :
Stand der Theorie zur Bemessung von Trapez-
blechscheiben
Stahlbau 1980 Heft 11

[3] R.Baehre, R. Wolfram :
Zur Schubfeldberechnung von Trapezprofilen
Stahlbau 6/1986

Neureichenau, im Juni 2014



Dipl.-Ing. Dieter Vogelsang