

**Tragwerksplanung einer Stahlhalle
nach DIN EN 1993
(Eurocode 3)**

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Stahlhalle nach DIN EN 1993	Blatt: Seite 2 von 119
	Ansprechpartner: Gregor Turkalj	Erstelldatum 07/10/15

Inhaltsverzeichnis

1.	Aufgabenstellung	3
2.	Allgemeines	4
	2.1. Normen	4
	2.2. Materialkennwerte	4
3.	Positionsliste	6
4.	Einwirkungen auf das Tragwerk	7
	4.1. Windlasten	7
	4.2. Schneelasten	9
5.	Hallentragwerk	10
	5.1. Pos.1 Trapezbleche	10
	5.1.1. Pos.1.1 Bemessung des Trapezprofils als Dachhaut	10
	5.1.2. Pos.1.2 Bemessung des Trapezprofils als Wandhaut	13
	5.2. Pos.2 Pfetten	14
	5.2.1. Pos.2.1 Nachweis Plastisch- Plastisch	19
	5.2.2. Pos.2.2 Verbindung zwischen Pfette und Rahmen/ Ständerwand	22
	5.3. Pos.3 Rahmen	23
	5.3.1. Pos.3.1 Nachweis der Stützen	29
	5.3.2. Pos.3.2 Nachweis der Riegel	34
	5.3.3. Pos.3.3 Nachweis Firstanschluss	44
	5.3.4. Pos.3.4 Nachweis Rahmenecke	45
	5.3.5. Pos.3.5 Nachweis Montagestoß	48
	5.3.6. Pos.3.6 Nachweis Stützenfuß	52
	5.4. Pos.4 Ständerwand	56
	5.4.1. Pos.4.1 Nachweis der Stützen	59
	5.4.2. Pos.4.2 Nachweis der Binder	72
	5.4.3. Pos.4.3 Nachweis Firstanschluss	81
	5.4.4. Pos.4.4 Nachweis Anschluss Binder/ Stütze	83
	5.4.5. Pos.4.5 Nachweis Stützenfuß	86
	5.5. Pos.5 Verbände	90
	5.5.1. Pos.5.1 Nachweis Dachverband	90
	5.5.2. Pos.5.2 Nachweis Wandverband (Seitenwand)	96
	5.5.3. Pos.5.3 Nachweis Wandverband (Ständerwand)	100
6.	Anhang	102
	Anhang A: Lastfallkombinationen	102
	Anhang B: Datenblätter Stahltrapezprofil	116

!!!Bereiche mit grauer Schrift sind für die Hausübung nicht erforderlich!!!

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Stahlhalle nach DIN EN 1993	Blatt: Seite 3 von 119
	Ansprechpartner: Gregor Turkalj	Erstellungsdatum 07/10/15

1. Aufgabenstellung:

Stahlbau Grundlagen „Hallenentwurf“

1. Bearbeiter/in Name: Vorname: Matr.-Nr.:	2. Bearbeiter/in Name: Vorname: Matr.-Nr.:
--	--

Ausgabedatum: **21. Oktober 2009** Abgabedatum soll: **17. Februar 2010**
 Abgabedatum ist::.....:.....

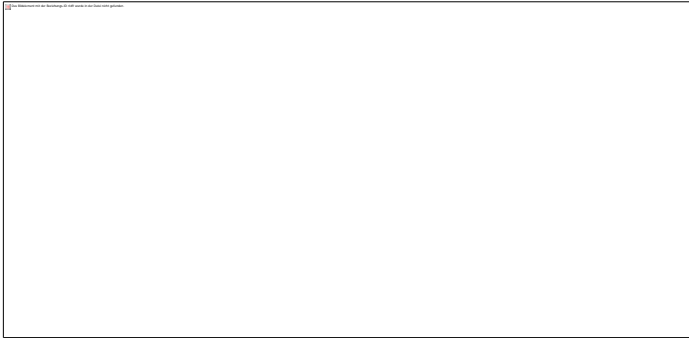


Abb. 1: Rahmenparameter

Spannweite:	L = 16,0 m	Dachneigung:	$\alpha = 3^\circ$
Traufhöhe:	h = 4,8 m	Binderabstand:	a = 5,8 m
Feldanzahl:	n = 7	Werkstoff:	S355
Knotenausbildung:	K1: biegesteif	K2:	biegesteif
Gebäudestandort:	17489 Greifswald		
Dacheindeckung:	Trapezblech	Fassadenverkleidung:	Trapezblech
Giebelwandkonstruktion:	Separate Ständerwand		

TESTATE:

Datum:	Thematik	Testiert
09. Dezember 2009	Lastermittlung und Pfetten	
16. Dezember 2009	Besichtigung Fa. Lamparter	
13. Januar 2010	Rahmen	
10. Februar 2010	Dach- und Längswandverband	

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Stahlhalle nach DIN EN 1993	Blatt: Seite 4 von 119
	Ansprechpartner: Gregor Turkalj	Erstelldatum 07/10/15

2. Allgemeines

2.1 Normen

EC 3 Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten

Teil 1.1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau
Deutsche Fassung DIN EN 1993-1-1 (2005)

Teil 1.3: Allgemeine Regeln – Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche
Deutsche Fassung DIN EN 1993-1-3 (2006)

Teil 1.8: Bemessung von Anschlüssen
Deutsche Fassung DIN EN 1993-1-8 (2005)

DIN EN 1993-1-1: 2010

DIN EN 1991-1 Einwirkungen auf Tragwerke

Teil 3: Schneelasten (2010)

Teil 4: Windlasten (2010)

2.2 Materialkennwerte

Stahl (DIN EN 1993-1-1:2005, Tabelle 3.1):

Werkstoffnorm und Stahlsorte	Erzeugnisdicke t mm			
	$t \leq 40\text{mm}$		$40\text{mm} < t \leq 100\text{mm}$	
	f_y N / mm^2	f_u N / mm^2	f_y N / mm^2	f_u N / mm^2
EN 10025-2				
S 355	355	510	335	470

Nennwerte für Streckgrenze und Zugfestigkeit

Werkstoffkennwerte (DIN EN 1993-1-1:2010, 3.2.6):

Elastizitätsmodul: $E = 210000\text{N} / \text{mm}^2$

Schubmodul: $G = E / 2 \cdot (1 + \nu) = 80770\text{N} / \text{mm}^2$

Poissonsche Zahl: $\nu = 0,3$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Stahlhalle nach DIN EN 1993	Blatt: Seite 5 von 119
	Ansprechpartner: Gregor Turkalj	Erstelldatum 07/10/15

Schrauben (DIN EN 1993-1-8:2010, Tabelle 3.1):

Schraubenfestigkeitsklasse	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb} (N/mm^2)$	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub} (N/mm^2)$	400	400	500	500	600	800	1000

Nennwerte der Streckgrenze und der Zugfestigkeit für Schrauben

Schweißnaht (DIN EN 1993-1-8:2010, Tabelle 4.1):

Stahl	Korrelationsbeiwert β_w
EN 10025	
S 355	0,9

Korrelationsbeiwert für Schweißnähte

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Stahlhalle nach DIN EN 1993	Blatt: Seite 6 von 119
	Ansprechpartner: Gregor Turkalj	Erstelldatum 07/10/15

3. Positionsliste

Pos.-Nr.	Bezeichnung
1	Trapezbleche
1.1	Stahltrapezprofil PS 35/ 207
1.2	Stahltrapezprofil PS 50/ 250
2	Pfetten
2.1	HE 100 A S 355
2.2	Rohe Schrauben FK 4.6 M 12
3	Rahmen
3.1	Stütze HE 240 B S 355
3.2	Riegel IPE 330 S 355
3.3	Firstanschluß geschweißt
3.4	Rahmenecke geschweißt
3.4.1	Steifen 206 x 94 x 11,5
3.5	Stirnplattenanschluß geschraubt
3.5.1	Bl 370 x 160 x 10
3.5.2	hochfeste vorgespannte Schrauben FK 10.9 M 12
3.6	Stützenfuß gelenkig
3.6.1	Fußplatte 240 x 240 x 15
3.6.2	Anker FK 4.6 M 12
4	Ständerwand
4.1	Stütze HE 100 A S 355
4.2	Riegel IPE 80 S 355
4.3	Laschenanschluß geschraubt
4.3.1	Knotenblech 120 x 50 x 4
4.3.2	Rohe Schrauben FK 4.6 M 12
4.4	Winkelanschluß geschraubt
4.4.1	Winkel 50 x 40 x 5
4.4.2	Rohe Schrauben FK 4.6 M 12
4.5	Stützenfuß gelenkig
4.5.1	Fußplatte 100 x 96 x 10
4.5.2	Anker FK 4.6 M 12
5.1	Dachverband
5.1.1	Flachstahl 40 x 4
5.1.2	rohe Schrauben FK 4.6 M 12
5.1.3	Knotenblech Bl 4 x 150 x 250
5.2	Wandverband (Seitenwand)
5.2.1	Flachstahl 50 x 6
5.2.2	rohe Schrauben FK 8.8 M 16
5.2.3	Knotenblech Bl 6 x 150 x 250
5.3	Wandverband (Ständerwand)
5.3.1	Flachstahl 40 x 4
5.3.2	rohe Schrauben FK 4.6 M 12
5.3.3	Knotenblech Bl 4 x 150 x 250

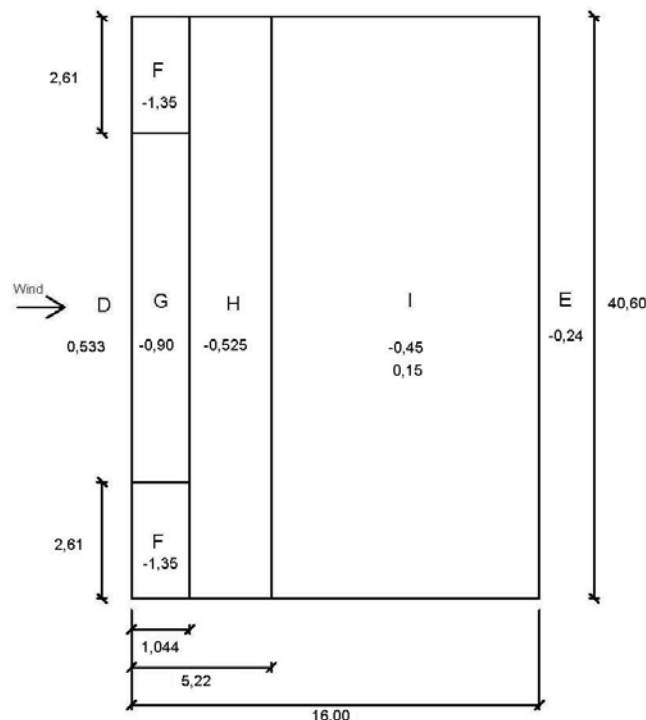
4. Einwirkungen auf das Tragwerk

Ermittlung der Einwirkungen mit Hilfe der Beilagen-CD von Schneider Bautabellen 18. Auflage. Das Dach ist als Flachdach in der Bemessung zu berücksichtigen, da es eine Neigung von weniger als 5° besitzt. (DIN EN 1991-1-4, 7.2.3. (1))

4.1 Windlasten

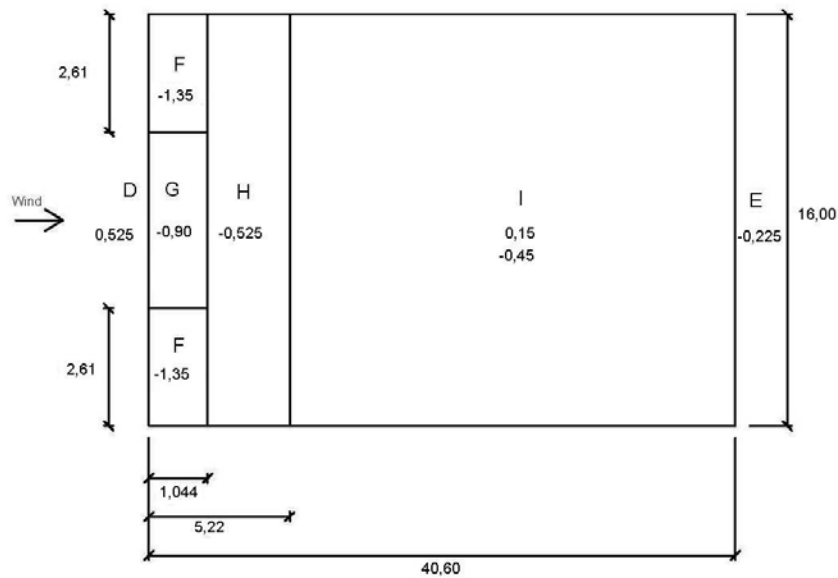
Wind orthogonal zur Seitenwand:

	Außendruckbeiwert $c_{pe,10}$	Außendruck w_e	Breite des Bereiches/ Länge des Bereiches
A	-1,2	$w_{e,A} = -0,90 \text{ kN/m}^2$	2,088m
B	-0,8	$w_{e,B} = -0,60 \text{ kN/m}^2$	8,352m
C	-0,5	$w_{e,C} = -0,375 \text{ kN/m}^2$	5,56m
D	+0,71	$w_{e,D} = +0,533 \text{ kN/m}^2$	40,6m
E	-0,32	$w_{e,E} = -0,24 \text{ kN/m}^2$	40,6m
F	-1,8	$w_{e,F} = -1,35 \text{ kN/m}^2$	B: 2,61m L: 1,044m
G	-1,2	$w_{e,G} = -0,90 \text{ kN/m}^2$	B: 35,38m L: 1,044m
H	-0,7	$w_{e,H} = -0,525 \text{ kN/m}^2$	B: 40,6m L: 4,176m
I	+0,2	$w_{e,I} = +0,15 \text{ kN/m}^2$	B: 40,6m
	-0,6	$w_{e,I} = -0,45 \text{ kN/m}^2$	L: 10,78m



Wind orthogonal zu Giebelwand:

	Außendruckbeiwert $c_{pe,10}$	Außendruck w_e	Breite des Bereiches/ Länge des Bereiches
A	-1,2	$w_{e,A} = -0,90 \text{ kN/m}^2$	2,088m
B	-0,8	$w_{e,B} = -0,60 \text{ kN/m}^2$	8,352m
C	-0,5	$w_{e,C} = -0,375 \text{ kN/m}^2$	30,16m
D	+0,7	$w_{e,D} = +0,525 \text{ kN/m}^2$	16,0m
E	-0,3	$w_{e,E} = -0,225 \text{ kN/m}^2$	16,0m
F	-1,8	$w_{e,F} = -1,35 \text{ kN/m}^2$	B: 2,61m L: 1,044m
G	-1,2	$w_{e,G} = -0,90 \text{ kN/m}^2$	B: 10,78m L: 1,044m
H	-0,7	$w_{e,H} = -0,525 \text{ kN/m}^2$	B: 16,0m L: 4,176m
I	+0,2	$w_{e,I} = +0,15 \text{ kN/m}^2$	B: 16,0m
	-0,6	$w_{e,I} = -0,45 \text{ kN/m}^2$	L: 35,38m



U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Stahlhalle nach DIN EN 1993	Blatt: Seite 9 von 119
	Ansprechpartner: Gregor Turkalj	Erstellungsdatum 07/10/15

4.2. Schneelasten

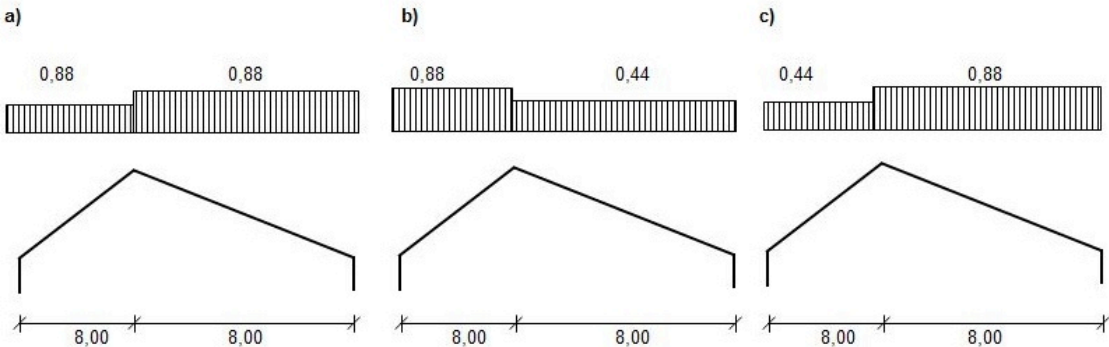
Greifswald: Zone 3
 $s_k = 1,10 \text{ kN/m}^2$ (bis 235m ü. d. M.)

$\mu_1 = 0,8$ (für $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$)

$s_i = 0,8 \times 1,1 \text{ kN/m}^2 = \underline{0,88 \text{ kN/m}^2}$

Darstellung

- Die Schneeverteilung a) stellt sich ohne Windeinwirkung ein.
- Die Schneeverteilungen b) und c) berücksichtigen Verwehungs- und Abtaueinflüsse. (maßgebend, wenn das Tragwerk auf ungleich verteilte Lasten empfindlich reagiert).



U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Stahlhalle nach DIN EN 1993	Blatt: Seite 10 von 119
	Ansprechpartner: Gregor Turkalj	Erstellungsdatum 07/10/15

5. Hallentragwerk

5.1. Pos.1 Trapezbleche

5.1.1. Pos.1.1 Bemessung des Trapezprofils als Dachhaut

statisches System und Belastungen (Befestigung in jedem anliegenden Gurt):

Trapezblech:	Typ PS 35/ 207, $t_N = 1,5mm$
Dreifeldträger:	$l_1 = l_2 = l_3 = 8,011m / 3 = 2,67m$
Eigenlast:	$g = 0,145kN / m^2$
Schneelast:	$s = 0,88kN / m^2$
Windsog (maximal):	$w_{e,F} = -1,35kN / m^2$ wirkt auf $l = 2,61m$ $w_{e,G} = -0,90kN / m^2$
Winddruck:	$w_{e,I} = 0,15kN / m^2$

maximale Einwirkungskombinationen des Tragsicherheitsnachweises:

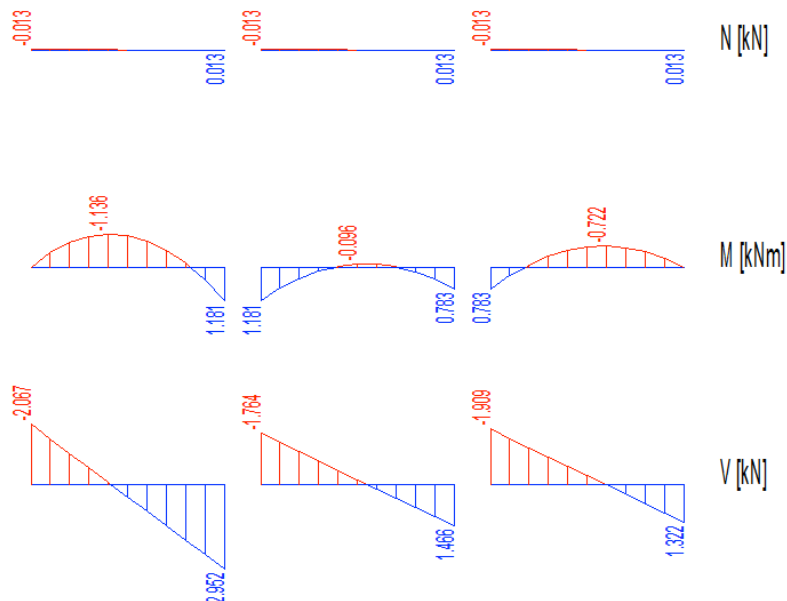
1. Kombination: Eigengewicht und Windsog

$$g_{90^\circ} + w_{e,F} : (1,00 \cdot 0,145kN / m^2 \cdot \cos 3^\circ + 1,5 \cdot -1,35kN / m^2) \cdot 1,0m = -1,88kN / m$$

$$g_{90^\circ} + w_{e,G} : (1,00 \cdot 0,145kN / m^2 \cdot \cos 3^\circ + 1,5 \cdot -0,90kN / m^2) \cdot 1,0m = -1,21kN / m$$

$$g_{0^\circ} : 1,35 \cdot 0,145kN / m^2 \cdot \sin 3^\circ \cdot 1,0m = 0,01kN / m$$

Schnittkraftverläufe:



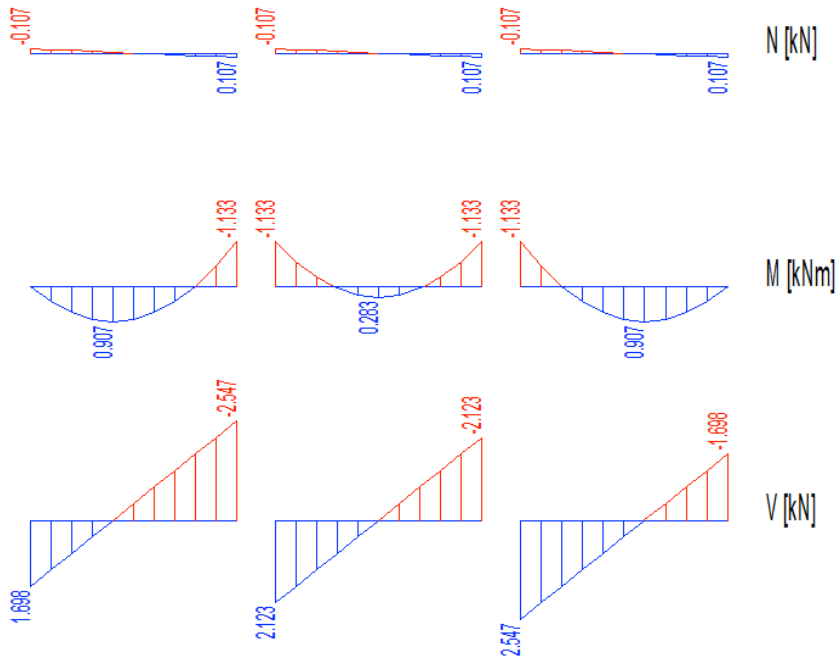
U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Stahlhalle nach DIN EN 1993	Blatt: Seite 11 von 119
	Ansprechpartner: Gregor Turkalj	Erstellungsdatum 07/10/15

2. Kombination: Eigengewicht, Schnee und Winddruck

$$g_{90^\circ} + s_{90^\circ} + w : 1,35 \cdot 0,145 \text{ kN/m}^2 \cdot \cos 3^\circ \cdot 1,0 \text{ m} + 0,9 \cdot 1,5 \cdot (0,88 \text{ kN/m}^2 \cdot \cos 3^\circ + 0,15 \text{ kN/m}^2) \cdot 1,0 \text{ m} = 1,59 \text{ kN/m}$$

$$g_{0^\circ} + s_{0^\circ} : (1,35 \cdot 0,145 \text{ kN/m}^2 + 1,5 \cdot 0,88 \text{ kN/m}^2) \cdot \sin 3^\circ \cdot 1,0 \text{ m} = 0,080 \text{ kN/m}$$

Schnittkraftverläufe:



Nachweis Trapezprofilblech für abhebende Flächenbelastung:

Feldmoment: $\frac{M_{Sd}}{M_{F,k} / \gamma_M} = \frac{1,136 \text{ kNm/m}}{5,24 \text{ kNm/m} / 1,1} = 0,24 \leq 1,0$

Stützmoment: $\frac{M_{Sd}}{M_{B,k} / \gamma_M} = \frac{1,181 \text{ kNm/m}}{5,71 \text{ kNm/m} / 1,1} = 0,23 \leq 1,0$

Endauflager: $\frac{V_{Sd}}{R_{A,k}^T / \gamma_M} = \frac{2,067 \text{ kN/m}}{19,00 \text{ kNm/m} / 1,1} = 0,12 \leq 1,0$

Zwischenaufleger: $\frac{V_{Sd}}{R_{B,k} / \gamma_M} = \frac{4,716 \text{ kN/m}}{19,00 \text{ kNm/m} / 1,1} = 0,28 \leq 1,0$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Stahlhalle nach DIN EN 1993	Blatt: Seite 12 von 119
	Ansprechpartner: Gregor Turkalj	Erstellungsdatum 07/10/15

Nachweis Trapezprofilblech für andrückende Flächenbelastung:

$$\text{Feldmoment: } \frac{M_{Sd}}{M_{F,k} / \gamma_M} = \frac{0,907 \text{ kNm} / \text{m}}{5,97 \text{ kNm} / \text{m} / 1,1} = 0,17 \leq 1,0$$

$$\text{Stützmoment: } \frac{M_{Sd}}{M_{B,k} / \gamma_M} = \frac{1,133 \text{ kNm} / \text{m}}{5,70 \text{ kNm} / \text{m} / 1,1} = 0,22 \leq 1,0$$

$$\text{Endauflager: } \frac{V_{Sd}}{R_{A,k}^T / \gamma_M} = \frac{1,698 \text{ kN} / \text{m}}{43,30 \text{ kNm} / \text{m} / 1,1} = 0,05 \leq 1,0$$

$$\text{Zwischenaufleger: } \frac{V_{Sd}}{R_{B,k} / \gamma_M} = \frac{4,67 \text{ kN} / \text{m}}{38,20 \text{ kNm} / \text{m} / 1,1} = 0,13 \leq 1,0$$

Bei der Gegenüberstellung der Schnittkräfte mit den Tragfähigkeitswerten des Trapezbleches wird ersichtlich das es ausreichend tragfähig ist. Von einer Abminderung der Profildicke wird abgesehen da bei der Ermittlung der seitlichen Halterung der Pfetten ein ausreichender Widerstand notwendig ist.

Durchbiegung:

$$\text{max. Bemessungswert: } q_D = 0,145 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \cos 3^\circ + 0,88 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \cos 3^\circ + 0,15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1,18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{max } f = 0,324 \cdot \frac{q_D \cdot l^4}{I_{ef}} = 0,324 \cdot \frac{1,18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1,0 \text{m} \cdot (2,67 \text{m})^4}{33 \text{cm}^4 / \text{m}} = 0,59 \text{cm}$$

$$l / 150 = 2670 \text{mm} / 150 = 17,8 \text{mm} \quad \text{DIN 18807 als Wetterhaut}$$

$$5,9 \text{mm} \leq 17,80 \text{mm}$$

$$l / 200 = 2670 \text{mm} / 200 = 13,35 \text{mm} \quad \text{DIN EN 1993 Dächer generell}$$

$$5,9 \text{mm} \leq 13,35 \text{mm}$$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Stahlhalle nach DIN EN 1993	Blatt: Seite 13 von 119
	Ansprechpartner: Gregor Turkalj	Erstellungsdatum 07/10/15

5.1.2. Pos. 1.2 Bemessung des Trapezprofils als Wandhaut

statisches System und Belastungen (Befestigung in jedem 2. anliegenden Gurt):

Trapezblech: Typ PS 50/ 250, $t_N = 1,13\text{mm}$
 Einfeldträger: $l = 5,8\text{m}$
 Eigenlast: $g = 0,113\text{kN} / \text{m}^2$
 Windsog (maximal): $w_{e,A} = -0,90\text{kN} / \text{m}^2$ wirkt auf $l = 2,088\text{m}$
 $w_{e,B} = -0,60\text{kN} / \text{m}^2$

Einwirkungen:

$$w_{e,A} = 1,5 \cdot -0,90\text{kN} / \text{m}^2 = -1,35\text{kN} / \text{m}^2$$

$$w_{e,B} = 1,5 \cdot -0,60\text{kN} / \text{m}^2 = -0,90\text{kN} / \text{m}^2$$

Schnittkraftverläufe:



Nachweis Trapezblech für abhebende Flächenbelastung:

Feldmoment:
$$\frac{M_{Sd}}{M_{F,k} / \gamma_M} = \frac{4,26\text{kNm} / \text{m}}{5,42\text{kNm} / \text{m} / 1,1} = 0,87 \leq 1,0$$

Endauflager:
$$\frac{V_{Sd}}{V_{A,k} / \gamma_M} = \frac{3,37\text{kN} / \text{m}}{13,82\text{kN} / \text{m} / 1,1} = 0,27 \leq 1,0$$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Stahlhalle nach DIN EN 1993	Blatt: Seite 14 von 119
	Ansprechpartner: Gregor Turkalj	Erstelldatum 07/10/15

5.2. Pos.2 Pfetten

Querschnittswerte/ Abmessungen HEA 100:

$$\begin{array}{llll}
 h = 96,0\text{mm} & h_1 = 56\text{mm} & W_{pl,y} = 83\text{cm}^3 & I_y = 349\text{cm}^4 \\
 b_f = 100,0\text{mm} & r = 12\text{mm} & W_{pl,z} = 41,1\text{cm}^3 & I_z = 134\text{cm}^4 \\
 t_w = 5,0\text{mm} & t_f = 8,0\text{mm} & A = 21,2\text{cm}^2 & g = 0,167\text{kN/m} \\
 I_\omega = 2581\text{cm}^6 & I_T = 5,26\text{cm}^4 & &
 \end{array}$$

Ergänzung: Link für Profiltabelle

<http://www.lssnet.de/profilelibrary/%28qvm4ah55cvjmhza3ncokof45%29/aspprofile.aspx>

Einstufung des Querschnittes:

(EN 1993-1-1, 5.6)

Stahlsorte S 355: $\varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = \sqrt{235 / 355} = 0,81$

Steg: $\frac{c}{t_w} = \frac{56\text{mm}}{5,0\text{mm}} = 11,2 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$ Klasse 1

Flansch: $\frac{c}{t_f} = \frac{0,5 \cdot (100\text{mm} - 5,0\text{mm} - 2 \cdot 12\text{mm})}{8,0\text{mm}} = 4,44 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$ Klasse 1

⇒ Querschnitt Klasse 1

Nachweis gegen Schubbeulen:

$$\frac{c}{t_w} = \frac{56\text{mm}}{5,0\text{mm}} = 11,2 > 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,81}{1,2} = 48,6 \quad (6.22)$$

⇒ Verhältnis nicht überschritten, Nachweis kann entfallen!

Einwirkungen und Schnittgrößen:

Für die Bemessung wird die Pfette neben der Traufpfette gewählt, da sie die stärksten Einwirkungen abzutragen hat.

Bei den Windsoglasten der Pfette unterteilt sich die Lasteinzugsfläche in Bereiche der Kategorien F und G nach DIN EN 1991-1-4. Für diese Werte wird entsprechend ihrer Flächenanteile ein Mittelwert errechnet.

Pfette/ Trapezblech: $g = 0,167\text{kN/m} + 0,145\text{kN/m}^2 \cdot 2,67\text{m} = 0,56\text{kN/m}$

Schneelast: $s = 0,88\text{kN/m}^2 \cdot 2,67\text{m} = 2,35\text{kN/m}$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Stahlhalle nach DIN EN 1993	Blatt: Seite 15 von 119
	Ansprechpartner: Gregor Turkalj	Erstelldatum 07/10/15

Windsog: $w_{e,F} = -1,35 \text{ kN/m}^2 \cdot [2,67 \text{ m} / 2 - (2,67 \text{ m} - 2,61 \text{ m})] = -1,72 \text{ kN/m}$
 $w_{e,G} = -0,90 \text{ kN/m}^2 \cdot [2,67 \text{ m} / 2 + (2,67 \text{ m} - 2,61 \text{ m})] = -1,26 \text{ kN/m}$
 $\Rightarrow w_{e,F+G} = -1,72 \text{ kN/m} - 1,26 \text{ kN/m} = -2,98 \text{ kN/m}$

Winddruck: $w_{e,I} = 0,15 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,67 \text{ m} = 0,40 \text{ kN/m}$

Grenzzustände der Tragfähigkeit (GZT)

Der Bemessungswert der Beanspruchung kann nach EN 1990, Gl. (6.10), (6.11b) und (6.12b) bestimmt werden:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$\gamma_G = 1,35$ ständige Last

$\gamma_G = 1,00$ falls die ständige Last der veränderlichen entgegenwirkt

$\gamma_Q = 1,50$ veränderliche Last

$\gamma_Q = 0$ falls eine variable Last Q einer dominierenden Last entgegenwirkt

$\psi_{0,W} = 0,6$ Kombinationsbeiwert für Wind

$\psi_{0,S} = 0,5$ Kombinationsbeiwert für Schnee

Lastkombinationen:

Einwirkungskombinationen des Tragsicherheitsnachweises:

1. Kombination: Eigengewicht und Schnee

$g+s: 1,35 \cdot 0,56 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 2,35 \text{ kN/m} = 4,28 \text{ kN/m}$

2. Kombination: Eigengewicht und Windsog

$g+w: 1,0 \cdot 0,56 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot (-2,98 \text{ kN/m}) \cdot \cos 3^\circ = -3,91 \text{ kN/m}$

3. Kombination: Eigengewicht und Winddruck

$g+w: 1,35 \cdot 0,56 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 0,40 \text{ kN/m} \cdot \cos 3^\circ = 1,36 \text{ kN/m}$

4. Kombination: Eigengewicht, Schnee und Windsog

$g+s+w: 1,35 \cdot 0,56 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 2,35 \text{ kN/m} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (-2,98 \text{ kN/m}) \cdot \cos 3^\circ = 1,60 \text{ kN/m}$

$g+w+s: 1,0 \cdot 0,56 \text{ kN/m} + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 2,35 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot (-2,98 \text{ kN/m}) \cdot \cos 3^\circ = -2,14 \text{ kN/m}$

5. Kombination: Eigengewicht, Schnee und Winddruck

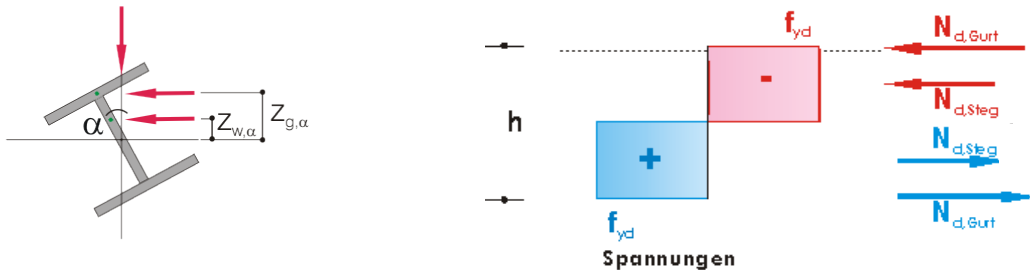
$g+s+w: 1,35 \cdot 0,56 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 2,35 \text{ kN/m} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,40 \text{ kN/m} \cdot \cos 3^\circ = 4,64 \text{ kN/m}$

$g+w+s: 1,35 \cdot 0,56 \text{ kN/m} + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 2,35 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 0,40 \text{ kN/m} \cdot \cos 3^\circ = 3,11 \text{ kN/m}$

Das Fachgebiet Stahl- und Verbundbau übernimmt keine Haftung für die Vollständigkeit und Richtigkeit.

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Stahlhalle nach DIN EN 1993	Blatt: Seite 16 von 119
	Ansprechpartner: Gregor Turkalj	Erstellungsdatum 07/10/15

Bestimmung von $M_{pl,\alpha}$:



$$M_{pl,\alpha} = 2 \cdot (N_{d,Gurt} \cdot z_{g,\alpha} + N_{d,Steg} \cdot z_{w,\alpha})$$

$$M_{pl,\alpha} = 2 \cdot \left(A_G \cdot f_{y,d} \cdot z_{g,\alpha} + \frac{A_W}{2} \cdot f_{y,d} \cdot z_{w,\alpha} \right)$$

$$z_{g,\alpha} = \frac{9,6\text{cm} - 0,8\text{cm}}{2} \cdot \cos 3^\circ = 4,39\text{cm}$$

$$z_{w,\alpha} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{9,6\text{cm}}{2} - (0,8\text{cm} + 1,2\text{cm}) \right) \cdot \cos 3^\circ = 1,40\text{cm}$$

$$M_{pl,\alpha} = 2 \cdot \left(10\text{cm} \cdot 0,8\text{cm} \cdot 35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 4,39\text{cm} + \frac{[9,6\text{cm} - 2 \cdot (0,8\text{cm} + 1,2\text{cm})] \cdot 0,5\text{cm}}{2} \cdot 35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 1,40\text{cm} \right)$$

$$M_{pl,\alpha} = 2 \cdot (1246,76\text{kNcm} + 69,58\text{kNcm})$$

$$M_{pl,\alpha} = 2632,68\text{kNcm}$$

Kontinuierliche seitliche Stützung durch Trapezblech (EN 1993-1-1, BB.2.1):

benötigte Schubsteifigkeit für HEA 100:

$$S \geq \left(EI_w \cdot \frac{\pi^2}{L^2} + GI_T + EI_z \cdot \frac{\pi^2}{L^2} \cdot 0,25h^2 \right) \cdot \frac{70}{h^2} \quad (\text{BB.2})$$

$$EI_w \cdot \frac{\pi^2}{L^2} = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 2581\text{cm}^6 \cdot \frac{\pi^2}{(580\text{cm})^2} = 1590,20\text{kNcm}^2 = 0,159\text{kNm}^2$$

$$GI_T = 8100 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 5,26\text{cm}^4 = 42606\text{kNcm}^2 = 4,2606\text{kNm}^2$$

$$EI_z \cdot \frac{\pi^2}{L^2} \cdot 0,25h^2 = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 134\text{cm}^4 \cdot \frac{\pi^2}{(580\text{cm})^2} \cdot \frac{(9,6\text{cm})^2}{4} = 1902,17\text{kNcm}^2 = 0,1902\text{kNm}^2$$

$$S_{\min} = (0,159\text{kNm}^2 + 4,2606\text{kNm}^2 + 0,1902\text{kNm}^2) \cdot \frac{70}{(0,096\text{m})^2} = 35013,7\text{kNm} / \text{m}$$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Stahlhalle nach DIN EN 1993	Blatt: Seite 17 von 119
	Ansprechpartner: Gregor Turkalj	Erstelldatum 07/10/15

Schubsteifigkeit eines Trapezbleches (EN 1993-1-3:2006):

$$S = 1000 \cdot \sqrt{t^3} \left(50 + 10 \cdot \sqrt[3]{b_{roof}} \right) \cdot \frac{s}{h_w} \quad (10.1b)$$

$$\sqrt{t^3} = \sqrt{(1,5mm)^3} = 1,8372mm^{3/2}$$

$$50 + 10 \cdot \sqrt[3]{b_{roof}} = 50 + 10 \cdot \sqrt[3]{5800mm} = 229,6701779mm^{2/3}$$

$$\frac{s}{h_w} = \frac{2670mm}{35mm} = 76,2857$$

$$S = 1000 \cdot 1,8372 \cdot 229,6701779 \cdot 76,2857 \cdot 10^{-3} = 32188,76kNm / m$$

$$S \geq S_{min}$$

$$32188,76kNm / m \geq 35013,7kNm / m$$

→ nicht erfüllt

Der Träger darf in der Ebene der Bleche als nicht starr gelagert betrachtet werden. Aus dieser Randbedingung heraus ist ein Biegedrillknicknachweis für nach unten gerichtete Belastungen erforderlich. Aus diesem Grund wird nun die kontinuierliche Drehbehinderung überprüft.

Kontinuierliche Drehbehinderung (EN 1993-1-1, BB.2.2):

$$C_{g,k} > \frac{M_{pl,k}^2}{E \cdot I_z} \cdot K_g \cdot K_v \quad (BB.3)$$

Im EN 1993-1-3: 2006 findet sich folgende Formel zur Bestimmung der Verdrehsteifigkeit:

$$C_{g,k} = \frac{1}{\frac{1}{C_{D,A}} + \frac{1}{C_{D,C}}} \quad (10.14)$$

Steifigkeit der Drehbettung entsprechend der Biegesteifigkeit des Profilbleches:

$$C_{D,C} = \frac{k \cdot E \cdot I_{eff}}{s} \quad (10.16)$$

$$k = 2$$

Endfeld und Verdrehung nach oben

$$s = 267cm$$

Abstand der Pfetten

$$I_{eff} = 33cm^4 / m$$

effektives Trägheitsmoment Trapezblech

$$C_{D,C} = \frac{2 \cdot 21000kN / cm^2 \cdot 33cm^4 / cm}{267cm} = 5191kN$$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Stahlhalle nach DIN EN 1993	Blatt: Seite 18 von 119
	Ansprechpartner: Gregor Turkalj	Erstellungsdatum 07/10/15

Steifigkeit der Drehbettung der Verbindung zwischen Profilbleche und Pfette:

$$C_{D,A} = C_{100} \cdot k_{ba} \cdot k_t \cdot k_{bR} \cdot k_A \cdot k_{bT} \quad (10.17)$$

$$k_{ba} = (b_a / 100)^2 = (100\text{mm} / 100)^2 = 1,0 \quad , \text{ da } b_a < 125\text{mm}$$

$$k_t = (t_{\text{nom}} / 0,75)^{1,5} = (1,5\text{mm} / 0,75)^{1,5} = 2,828 \quad , \text{ da } t_{\text{nom}} \geq 0,75\text{mm} \text{ (negative Lage)}$$

$$k_{bR} = 185 / b_R = 185 / 207\text{mm} = 0,8937 \quad , \text{ da } b_R > 185\text{mm}$$

$$k_A = 1,0 + (A - 1) \cdot 0,095 = 1,0 + (4,64 - 1) \cdot 0,095 = 1,35 \quad , \text{ da Auflast}$$

$$k_{bT} = \sqrt{\frac{b_{T,\text{max}}}{b_T}} = \sqrt{\frac{119}{40}} = 1,72 \quad , \text{ da } b_T = 119\text{mm} > b_{T,\text{max}} = 40\text{mm}$$

$$C_{100} = 3,1\text{kNm} / \text{m} \quad , \text{ da } e = b_R \text{ (siehe Tab 10.3)}$$

$$C_{D,A} = 1,0 \cdot 2,828 \cdot 0,8937 \cdot 1,72 \cdot 1,35 \cdot 3,1 = 18,19\text{kN}$$

Verdrehsteifigkeit:
$$C_{\vartheta,k} = \frac{1}{\left(\frac{1}{6,57\text{kN}} + \frac{1}{5191\text{kN}}\right)} = 6,56$$

Einfeldträger:

$$K_v = 1,0$$

$$K_g = 0$$

$$C_{\vartheta,k} > \frac{M_{pl,\alpha,k}^2}{E \cdot I_z} \cdot K_g \cdot K_v$$

$$18,13 > 0$$

Zweifeldträger:

$$K_v = 1,0$$

$$K_g = 0,12$$

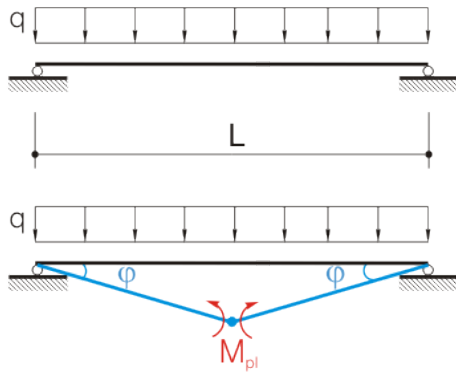
$$C_{\vartheta,k} > \frac{M_{pl,\alpha,k}^2}{E \cdot I_z} \cdot K_g \cdot K_v$$

$$18,13 > \frac{(2632,68\text{kNcm})^2}{21000\text{kN} / \text{cm}^2 \cdot 134\text{cm}^4} \cdot 0,12 \cdot 1,0 = 0,30$$

Der Träger darf als ausreichend gegen Verdrehung gestützt angesehen werden. Aus dieser Randbedingung heraus ist ein Biegedrillknicknachweis nicht erforderlich.

5.2.1. Pos. 2.1 Nachweis HE 100 A Plastisch - Plastisch

Einfeldträger:



innere Arbeit: $W_i = 2 \cdot M_{pl} \cdot \varphi$

äußere Arbeit: $W_a = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l \cdot \frac{1}{2} \cdot l \cdot \varphi$

$W_i = W_a :$ $2 \cdot M_{pl} \cdot \varphi = \frac{1}{4} \cdot q \cdot l^2 \cdot \varphi$

$$q_{\text{grenz}} = \frac{8 \cdot M_{pl}}{l^2}$$

Nachweis Einfeldträger:

$$\frac{q_{\text{max}}}{q_{pl}} \leq 1,0$$

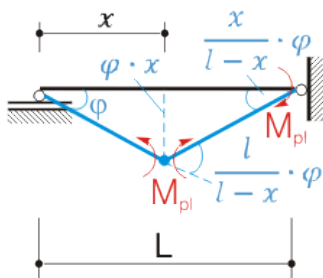
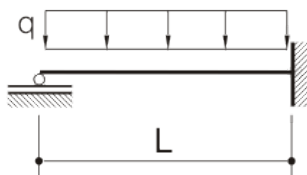
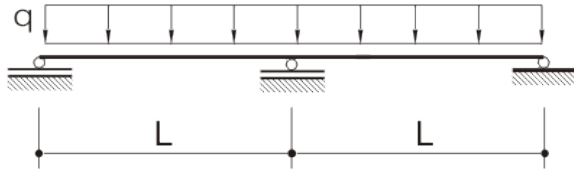
$$\left(\frac{q_{\text{max}}}{\frac{8 \cdot M_{pl,\alpha}}{l^2}} \right) \leq 1,0$$

$$\left(\frac{q_{\text{max}}}{\frac{8 \cdot M_{pl,\alpha}}{l^2}} \right) \leq 1,0$$

$$\left(\frac{4,64 \text{ kN/m}}{\frac{8 \cdot 26,33 \text{ kNm}}{(5,8 \text{ m})^2}} \right) \leq 1,0$$

$$0,74 \leq 1,0$$

Zweifeldträger (Außenfeld):



innere Arbeit:

$$W_i = M_{pl} \cdot \frac{l}{l-x} \cdot \varphi + M_{pl} \cdot \frac{x}{l-x} \cdot \varphi = M_{pl} \cdot \frac{l+x}{l-x} \cdot \varphi$$

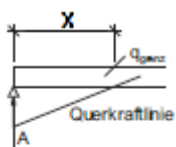
äußere Arbeit:

$$W_a = q_{pl} \cdot \frac{1}{2} \cdot x \cdot l \cdot \varphi$$

$W_i = W_a$:

$$M_{pl} \cdot \frac{l+x}{l-x} \cdot \varphi = q_{pl} \cdot \frac{1}{2} \cdot x \cdot l \cdot \varphi$$

$$q_{pl} = \frac{2}{l \cdot x} \cdot \frac{l+x}{l-x} \cdot \varphi \cdot M_{pl}$$



$$(1) \quad x \cdot q_{pl} = A \quad \rightarrow \quad x = \frac{A}{q_{pl}}$$

$$(2) \quad A \cdot x - q_{pl} \cdot x \cdot \frac{x}{2} = M_{pl}$$

$$(3) \quad A \cdot l + M_{pl} - q_{pl} \cdot l \cdot \frac{l}{2} = 0 \quad \rightarrow \quad A = -\frac{M_{pl}}{l} + q_{pl} \cdot \frac{l}{2}$$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Stahlhalle nach DIN EN 1993	Blatt: Seite 21 von 119
	Ansprechpartner: Gregor Turkalj	Erstellungsdatum 07/10/15

$$(1) \text{ in } (2): \quad \frac{A^2}{q_{pl}} - q_{pl} \cdot \frac{A}{q_{pl}} \cdot \frac{A}{2 \cdot q_{pl}} = M_{pl}$$

$$\frac{A^2}{q_{pl}} - \frac{A^2}{2 \cdot q_{pl}} = M_{pl}$$

$$M_{pl} = \frac{A^2}{2 \cdot q_{pl}}$$

$$(2') \text{ in } (3): \quad A = -\frac{1}{l} \cdot \frac{A^2}{2 \cdot q_{pl}} + q_{pl} \cdot \frac{l}{2}$$

$$(1) \text{ in } (3'): \quad x \cdot q_{pl} = -\frac{1}{l} \cdot \frac{x^2 \cdot q_{pl}^2}{2 \cdot q_{pl}} + q_{pl} \cdot \frac{l}{2} \quad /-(x \cdot q_{pl})$$

$$0 = -\frac{x^2 \cdot q_{pl}}{2 \cdot l} - x \cdot q_{pl} + q_{pl} \cdot \frac{l}{2} \quad / \cdot \left(\frac{2 \cdot l}{q_{pl}} \right)$$

$$0 = x^2 + 2 \cdot x \cdot l - l^2$$

Normalform:

$$x_{1/2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$$

$$x_{1/2} = -\frac{2 \cdot l}{2} \pm \sqrt{\frac{(2 \cdot l)^2}{4} + l^2}$$

$$\rightarrow x_1 = -l + \sqrt{2} \cdot l = \underline{0,414 \cdot l}$$

$$\rightarrow x_2 = -l - \sqrt{2} \cdot l = -2,414 \cdot l \text{ entfällt}$$

x in Arbeitsgleichung einsetzen:

$$q_{pl} = \frac{2}{x \cdot l} \cdot \frac{l+x}{l-x} \cdot M_{pl,\alpha}$$

$$q_{pl} = \frac{2}{(0,414 \cdot l) \cdot l} \cdot \frac{l + (0,414 \cdot l)}{l - (0,414 \cdot l)} \cdot M_{pl,\alpha}$$

$$q_{pl} = \frac{11,65686 \cdot M_{pl,\alpha}}{l^2}$$

Nachweis Zweifeldträger:

$$\frac{q_{\max}}{q_{pl}} \leq 1,0$$

$$\frac{q_{\max}}{\left(\frac{11,657 \cdot M_{pl,\alpha}}{l^2} \right)} = \frac{4,64 \text{ kN/m}}{\left(\frac{11,657 \cdot 26,33 \text{ kNm}}{(5,8 \text{ m})^2} \right)} = 0,51 \leq 1,0$$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Stahlhalle nach DIN EN 1993	Blatt: Seite 22 von 119
	Ansprechpartner: Gregor Turkalj	Erstellungsdatum 07/10/15

5.2.2.Pos.2.2 Verbindung zwischen Pfette und Rahmen/ Ständerwand

gewählt: **M12 4.6**

$$F_{t,Sd} = 1,25 \cdot q \cdot l = 1,25 \cdot (-3,91 \text{ kN/m}) \cdot 5,8 \text{ m} = 28,35 \text{ kN} \quad (\text{max. Auflagerreaktion Pfette})$$

$$F_{v,Sd} = 20 \text{ kN} \quad (\text{Annahme, Last aus den Verbänden})$$

Nachweis der Verbindung:

Grenzabscherkraft der Schraube, Scherfuge im Schaft:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_a \cdot f_{u,b} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 40,0 \text{ kN/cm}^2 \cdot 1,131 \text{ cm}^2}{1,25} = 21,71 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$\frac{N_{Sd}}{F_{v,Rd}} = \frac{20 \text{ kN}}{2 \cdot 21,71 \text{ kN}} = 0,47 \leq 1,0$$

Zugkraft:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{u,b} \cdot A_S}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 40,0 \text{ kN/cm}^2 \cdot 0,843 \text{ cm}^2}{1,25} = 24,28 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}} = \frac{28,42 \text{ kN}}{2 \cdot 24,28 \text{ kN}} = 0,59 \leq 1,0$$

Auf eine Interaktion zwischen Zug und Abscheren wird verzichtet, da es sich bei den verwendeten Einwirkungen um Maximalwerte aus verschiedenen Kombinationen handelt.