

Stahlbau II - SS 2016

5. Vorlesung / Übung

Daniel Pak

19.05.2016



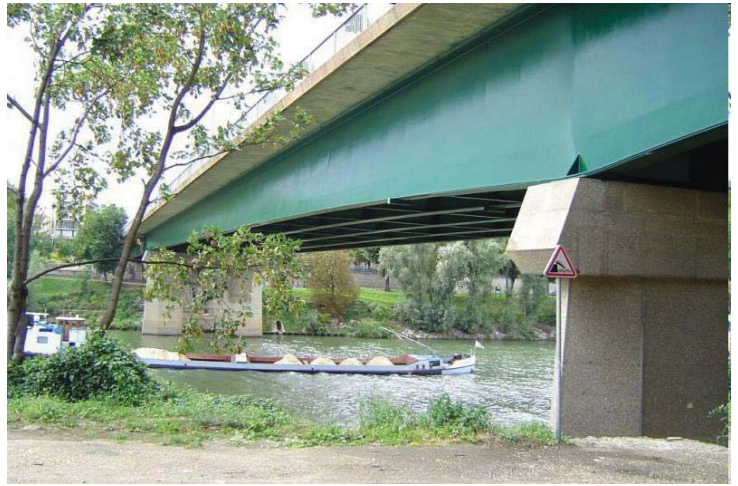
Terminübersicht und Übungsinhalte

Termin	Thema	Inhalt
14.04.2016	Hallenbau	Tragwerksentwurf, Detaillösungen
21.04.2016	Hallenbau	Tragwerksentwurf, Detaillösungen
28.04.2016	Stabilität	Theorie 2. Ordnung
19.05.2016	Stabilität	Theorie 2. Ordnung, Verbände und Aussteifungen
26.05.2016	Stabilität	Biegeknicken von Stabtragwerken, Rahmen Biegedrillknicken
02.06.2016	Sonderfragen der Bemessung	Örtliche Lasteinleitung / Rahmenecken
09.06.2016	Ermüdung	Grundlagen, Anwendungsverfahren, Berechnungsbeispiele
16.06.2016	Ermüdung	Anwendungsverfahren, Berechnungsbeispiele
23.06.2016	Schweißverfahren	Vertiefte Kenntnisse des Schweißens
30.06.2016 / 07.07.2016 14.07.2016 / 21.07.2016	Ausweichtermin bzw. Fragen zur Klausur	

xx.xx.2016

schriftliche Prüfung

Änderungen vorbehalten!



Normen

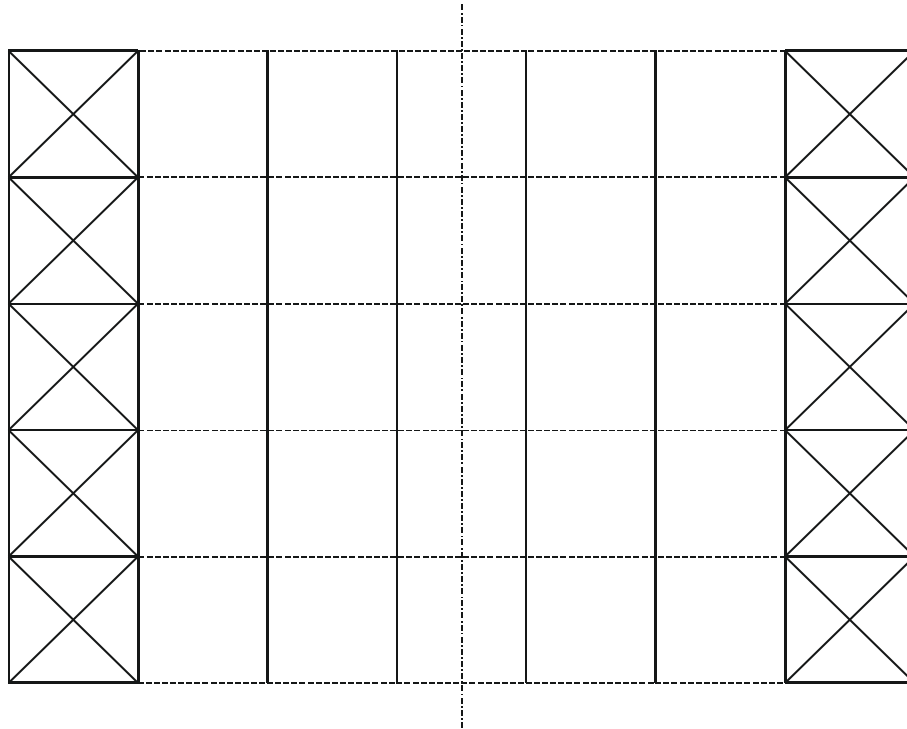
- Erhältlich als Download in www.perinorm.com
DIN EN 1993-1-1:2010 + **NA**



Weitere Literatur

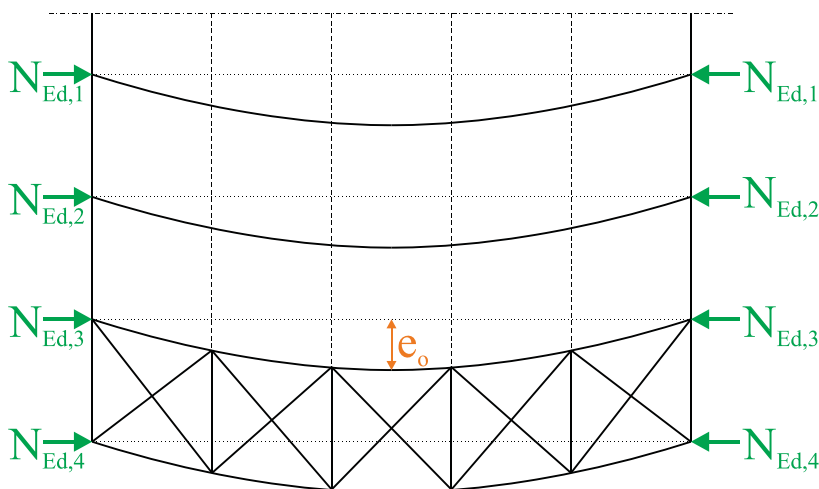
- Kindmann, R.: Stahlbau, Teil 2: Stabilität und Theorie II. Ordnung, Verlag Ernst und Sohn
- Roik, K.: Vorlesungen über Stahlbau, Verlag Ernst und Sohn, Berlin/München/Düsseldorf
- Bode, H.: Stahlbau III
- Petersen, C.: Statik und Stabilität der Baukonstruktionen, Vieweg Verlag, Braunschweig/München 1982

Beispiel: Dachverband zur Aussteifung von 8 Bindern:



Beispiel: Dachverband zur Aussteifung von 8 Bindern:

EN 1993-1-1, Kap. 5.3.3



Bei der Berechnung aussteifender Systeme, die zur seitlichen Stabilisierung von Trägern oder druckbeanspruchter Bauteile benötigt werden, ist in der Regel der Einfluss der Imperfektionen der aussteifenden Bauteile durch äquivalente geometrische Ersatzimperfektionen in Form von Vorkrümmungen zu berücksichtigen.



Normalkräfte in den aussteifenden Bauteilen führen zu Momenten (Theorie 2. Ordnung), welche in der Ebene der Vorimperfektion wirken

Imperfektionsansatz / Vergleich mit Bauteilimperfektionen (vgl. „Theorie II Ordnung“):

Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme
(geometrische Ersatzimperfektionen)

$$e_0 = \alpha_m \cdot L / 500$$

EN 1993-1-1, (Kap. 5.3.3)

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

m = Anzahl der
auszuteifenden
Bauteile

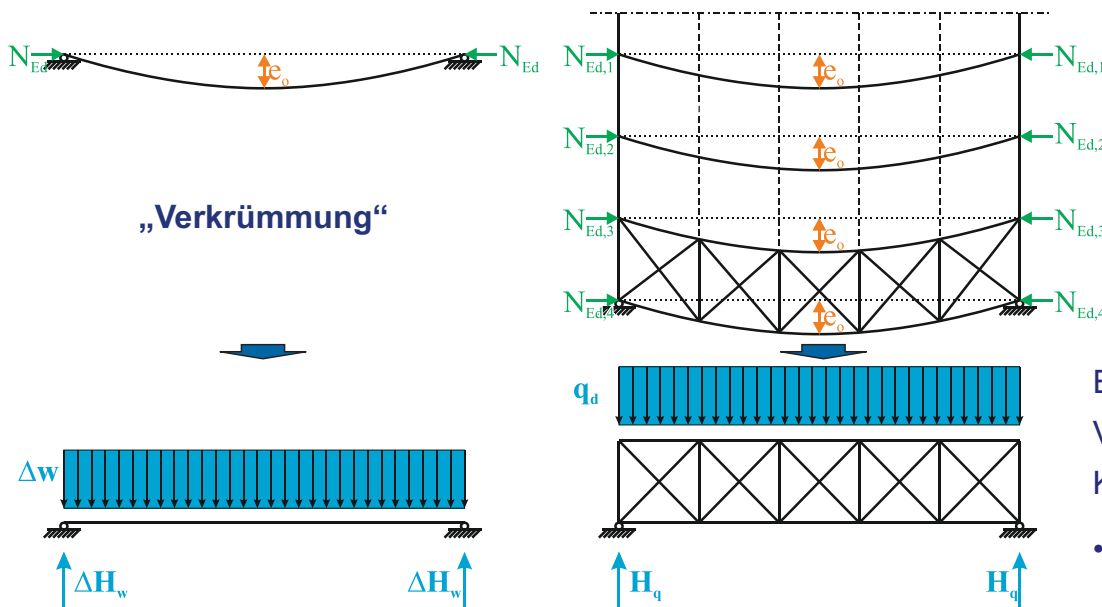
auszusteifende Elemente	e_0/L
2	1/577
3	1/612
4	1/632
∞	1/707

Imperfektionen für die
Tragwerksberechnung
(eingeprägte Vorkrümmung von
Bauteilen)

EN 1993-1-1, (Kap. 5.3.2) + NA

Knicklinie nach EN 1993-1-1, Tab. 6.1	elast.	elast. NA
	$e_{0,d}/L$	$e_{0,d}/L$
a_0	1/350	1/900
a	1/300	1/550
b	1/250	1/350
c	1/200	1/250
d	1/150	1/150

Stabilisierungslasten nach EC 3 Teil 1-1 Abschnitt 5.3.3



Ersatz der
Verformungen durch
Kraft q_d :

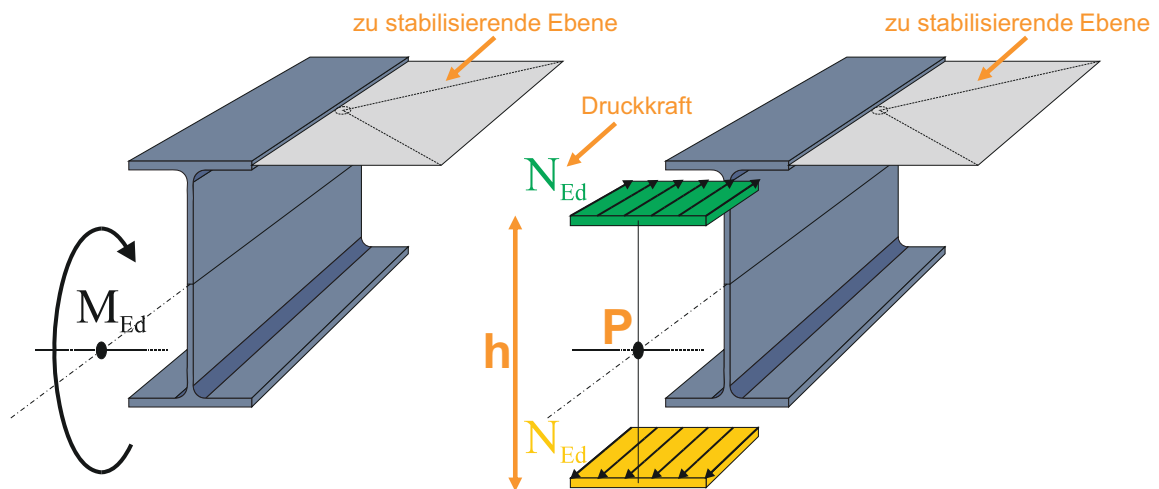
- Ersatzimperfektionen e_0
- Durchbiegung δ_q infolge q (Theorie II Ordnung)

$$\Delta w = \frac{8 \cdot N \cdot (e_{0,d} + \delta)}{L^2}$$

$$q_d = \sum N_{Ed} \cdot 8 \cdot \frac{e_0 + \delta_q}{L^2}$$

Normalkraft im Druckflansch:

- ➔ Normalkraft N_{Ed} aus der Schnittgrößenberechnung (anteilig)
- ➔ Moment M_{Ed} aus der Schnittgrößenberechnung:



- ➔ Zusätzliche Normalkräfte in der zu stabilisierenden Ebene in Folge von Biegemomenten:

Stabilisierungslasten nach EC 3 Teil 1-1 Abschnitt 5.3.3

Tabellarische Darstellung der stabilisierenden Ersatzkräfte:

Stabilisierungslasten nach EC 3 Teil 1-1 Abschnitt 5.3.3

Werte für äquivalente Ersatzkraft Σq

$e_0 = \alpha_m \frac{L}{500}$ $\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$ <p>m Anzahl Bauteile, die seitlich zu halten sind</p> $\Sigma q = \frac{\Sigma N_{Ed}}{62,5 \cdot L} [\alpha_m + \alpha]$ $\alpha = \frac{500 \delta_q}{L}$	m	1	2	3	4	5	∞
	δ_q						
	$\leq \frac{L}{2500}$	$\frac{1}{52,1} \frac{N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{58,6} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{61,5} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{63,1} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{64,1} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{68,9} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$
	$\leq \frac{L}{2000}$	$\frac{1}{50} \frac{N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{56,0} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{58,6} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{60,1} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{61,0} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{65,3} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$
	$\leq \frac{L}{1500}$	$\frac{1}{46,9} \frac{N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{52,1} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{54,4} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{55,6} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{56,4} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{60,1} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$
	$\leq \frac{L}{1000}$	$\frac{1}{41,7} \frac{N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{45,8} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{47,5} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{48,4} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{49,0} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{51,8} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$

Stabilisierungslasten nach Vorversion EC 3:

Tabelle 5.8 Werte für die wirkungsäquivalenten Ersatzlasten Σq

$e_0 = \frac{k_f L}{500}$ $k_f = \sqrt{0,2 + \frac{1}{n_f}}$ <p>aber $k_f \leq 1,0$</p> <p>n_f = Anzahl der Bauteile, die seitlich gehalten werden</p> $\Sigma q = \frac{\Sigma N_{Ed}}{62,5 L} (k_f + \alpha)$ $\alpha = \frac{500 \delta_q}{L}$	n_f	$n_f=1$	$n_f=2$	$n_f=3$	$n_f=4$	$n_f=5$	$n_f=\infty$
	δ_q						
	$\leq L/2500$	$\frac{1}{52,1} \frac{N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{60,3} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{61,5} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{71,8} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{75,1} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{98,6} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$
	$L/2000$	$\frac{1}{50} \frac{N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{57,5} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{63,8} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{67,9} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{70,8} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{89,6} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$
	$L/1500$	$\frac{1}{46,9} \frac{N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{53,4} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{58,8} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{62,2} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{64,7} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{80} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$
	$L/1000$	$\frac{1}{41,7} \frac{N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{46,8} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{50,8} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{53,4} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{55,2} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{66} \frac{\Sigma N_{Ed}}{L}$

	Anzahl der Schubfelder	2	3	4	5	6	7
	ζ	1,0	9/8	1,0	25/24	1,0	49/48

$N_{Sd} = \frac{N}{h}$

5 Durchbiegung des Aussteifungssystems infolge Σq plus sämtlichen äußeren Lasten

~~$$k_f = \sqrt{0,2 + \frac{1}{n_f}}$$~~

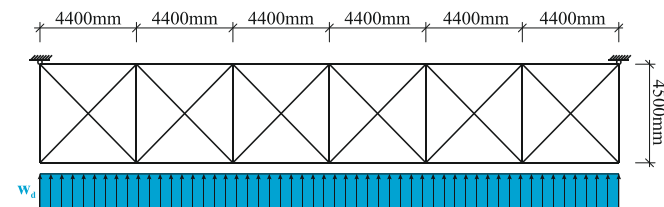


$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$



Nicht mehr anwendbar, da nach einem anderen Imperfektionsansatz berechnet

Aufg. 1:



gegeben:

- Binder: HEA 700, S355 (Dachneigung: 5°)
- Binderanzahl: 8
- Anzahl Dachverbände: 2
- $w_d = 1,5 \text{ [kN/m}^2\text{]}$
(auf die Giebelwand wirkend)

gesucht:

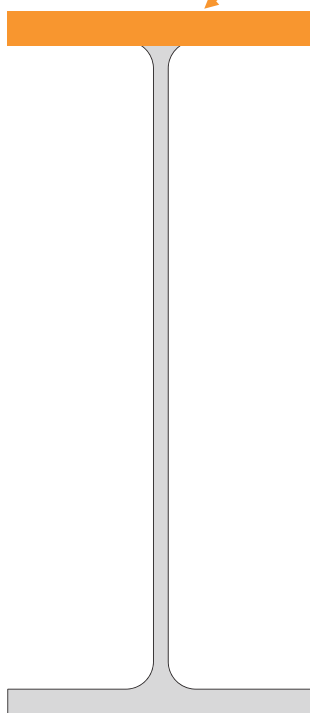
max. Normalkräfte in den Druckstreben und den Zugdiagonalen sowie dem Binder

Anmerkung:

Die Windlasten werden über die Giebelwandstützen in den Binder eingeleitet. Konservativ kann für die gesamte Windangriffsfläche mit der Giebelhöhe $h=10 \text{ [m]}$ gerechnet werden!

Aufg. 1:

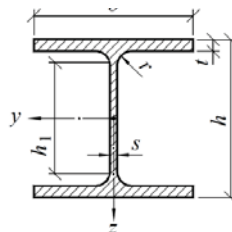
A, Druckflansch



Breite I-Träger (siehe Folgeseiten)

HEAA
HEA (IPBI)
HEB (IPB)
HEM (IPBv)

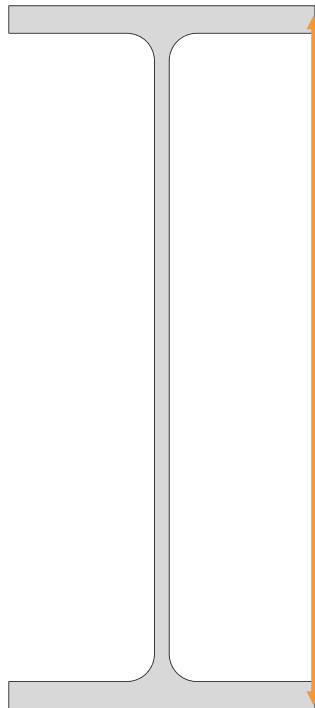
Normallängen: $h < 300 \text{ mm}$: 8–16 m
 $h \geq 300 \text{ mm}$: 8–18 m



Nennhöhe	Profilmaße in mm						$A \text{ cm}^2$
	h	b	s	t	r	h_1	
500	490	300	12	23	27	390	198
550	540	300	12,5	24	27	438	212
600	590	300	13	25	27	486	226
650	640	300	13,5	26	27	534	242
700	690	300	14,5	27	27	582	260

Normalkraft im Druckflansch durch Schnittgröße „N“:

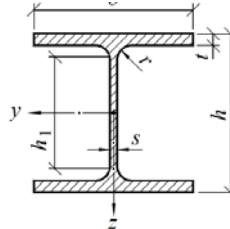
Aufg. 1:



Breite I-Träger (siehe Folgeseiten)

HEAA
HEA (IPBI)
HEB (IPB)
HEM (IPBv)

Normallängen: $h < 300 \text{ mm}$: 8–16 m
 $h \geq 300 \text{ mm}$: 8–18 m



Nenn- höhe	Profilmaße in mm						A cm ²
	h	b	s	t	r	h_1	
500	490	300	12	23	27	390	198
550	540	300	12,5	24	27	438	212
600	590	300	13	25	27	486	226
650	640	300	13,5	26	27	534	242
700	690	300	14,5	27	27	582	260

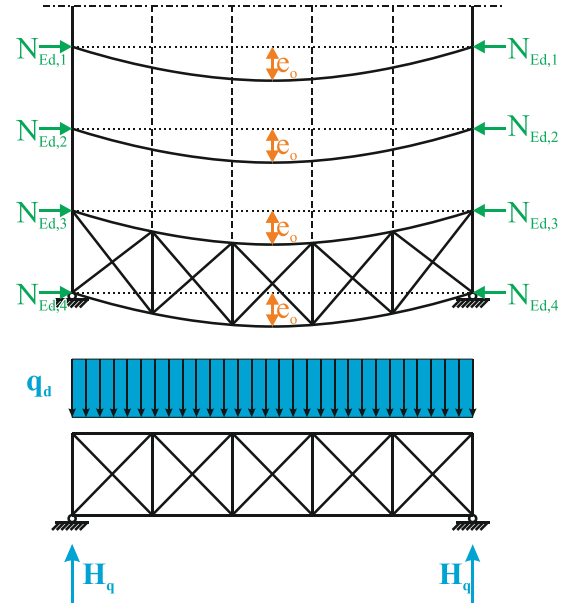
Normalkraft im Druckflansch durch Schnittgröße „M“:

Stabilisierungslasten nach EC 3 Teil 1-1 Abschnitt 5.3.3

Geometrische Ersatzimperfectionen:

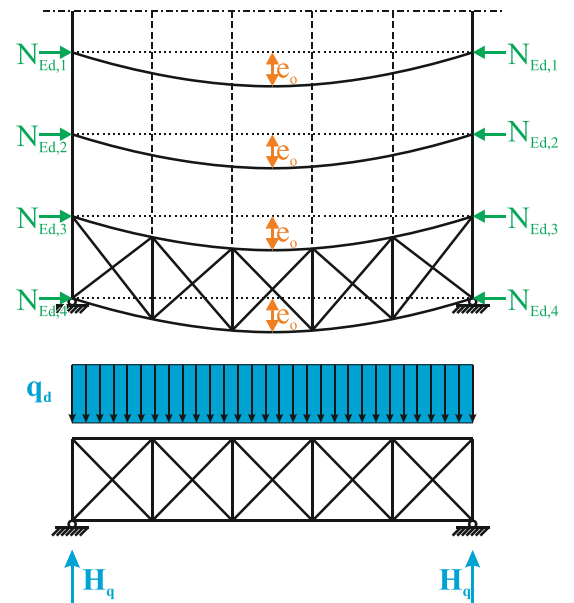
Stabilisierungslasten nach EC 3 Teil 1-1 Abschnitt 5.3.3

Stabilisierende Ersatzkräfte:



Stabilisierungslasten nach EC 3 Teil 1-1 Abschnitt 5.3.3

Verformung infolge $q + w$:



Stabilisierungslasten nach EC 3 Teil 1-1 Abschnitt 5.3.3

Verformung infolge $q + w$, schubstarrer Verband:

Nenn- höhe	Profilmaße in mm						A cm ²
	h	b	s	t	r	h_1	
500	490	300	12	23	27	390	198
550	540	300	12,5	24	27	438	212
600	590	300	13	25	27	486	226
650	640	300	13,5	26	27	534	242
700	690	300	14,5	27	27	582	260

Stabilisierungslasten nach EC 3 Teil 1-1 Abschnitt 5.3.3

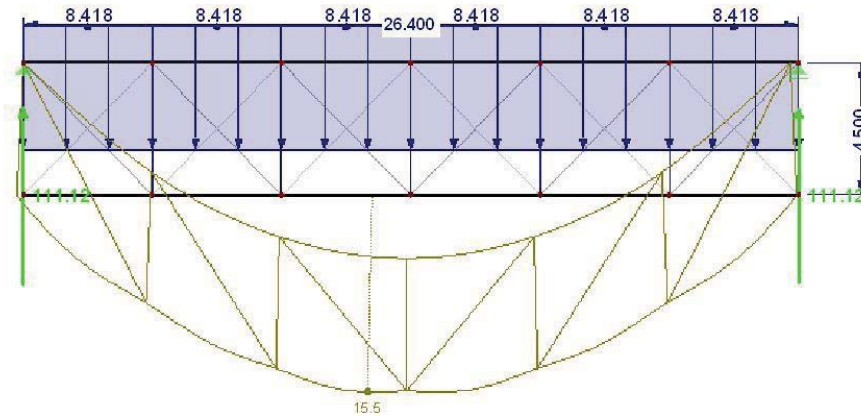
Verformung infolge $q + w$, Einzelgurte:

Nenn- höhe	Profilmaße in mm						A cm ²
	h	b	s	t	r	h_1	
500	490	300	12	23	27	390	198
550	540	300	12,5	24	27	438	212
600	590	300	13	25	27	486	226
650	640	300	13,5	26	27	534	242
700	690	300	14,5	27	27	582	260

Stabilisierungslasten nach EC 3 Teil 1-1 Abschnitt 5.3.3

Verformung infolge $q + w$, tatsächlich:

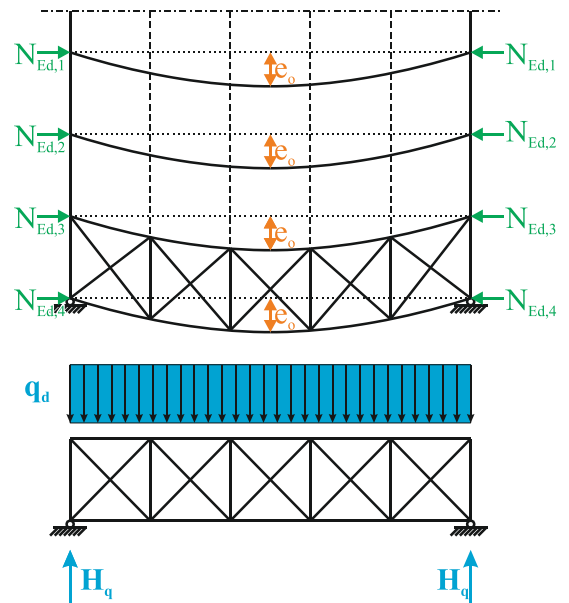
$$\delta_{q,w,1} = 0,97[mm] \approx \frac{L}{27.000} \quad \delta_{q,w,2} = 1040[mm] \approx \frac{L}{25}$$



$$\delta_{q,w} = 15,4[mm] \approx \frac{L}{1700}$$

Stabilisierungslasten nach EC 3 Teil 1-1 Abschnitt 5.3.3

Stabilisierende Ersatzkräfte:



Alternativ:

Werte für äquivalente Ersatzkraft $\sum q$

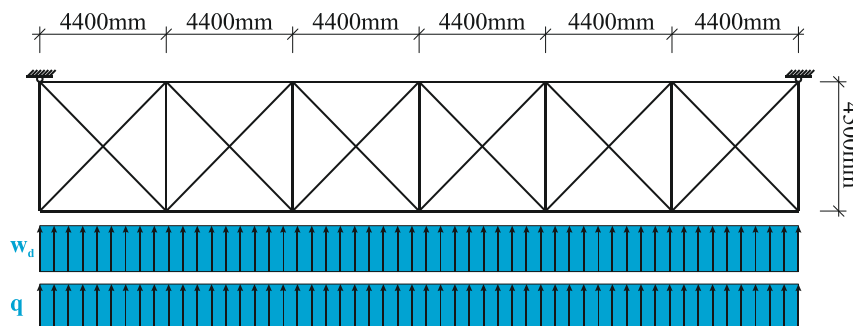
$e_0 = \alpha_m \frac{L}{500}$ $\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$ <p>m Anzahl Bauteile, die seitlich zu halten sind</p> $\sum q = \frac{\sum N_{Ed}}{62,5 \cdot L} [\alpha_m + \alpha]$ $\alpha = \frac{500 \delta_q}{L}$	m	1	2	3	4	5	∞
	δ_q						
	$\leq \frac{L}{2500}$	$\frac{1}{52,1} \frac{N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{58,6} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{61,5} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{63,1} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{64,1} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{68,9} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$
	$\leq \frac{L}{2000}$	$\frac{1}{50} \frac{N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{56,0} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{58,6} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{60,1} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{61,0} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{65,3} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$
	$\leq \frac{L}{1500}$	$\frac{1}{46,9} \frac{N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{52,1} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{54,4} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{55,6} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{56,4} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{60,1} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$
	$\leq \frac{L}{1000}$	$\frac{1}{41,7} \frac{N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{45,8} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{47,5} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{48,4} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{49,0} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$	$\frac{1}{51,8} \frac{\sum N_{Ed}}{L}$

Dachverband

Auf den Dachverband wirkende Bemessungslasten:

Stabilisierende Ersatzkräfte:

Windlasten:

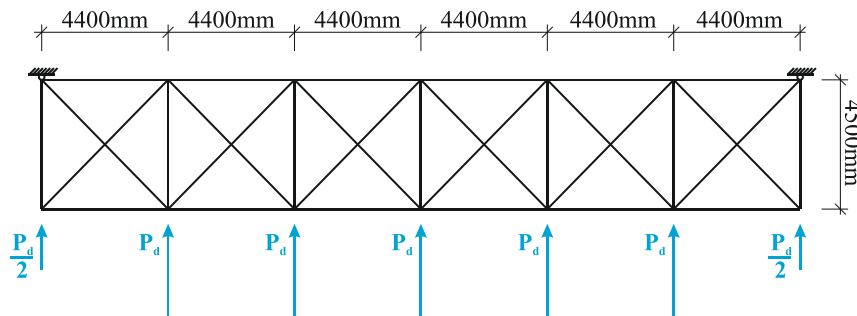


Summe:

Die stabilisierenden Ersatzkräfte werden stets in Richtung der äußeren Einwirkung (d.h. ungünstig wirkend) angesetzt.

Auf den Dachverband wirkende Bemessungslasten:

Summe:



Die Lasten werden nicht flächig, sondern in den Knotenpunkten in den Binder eingeleitet (Windlasten: Giebelwandstützen, Stabilisierungslasten: Pfetten / Druckstäbe). Dies trifft lediglich für die Stabilisierungslasten nicht zu, welche aus der Vorkrümmung der Binder im Verband resultieren. Diese werden jedoch aus Vereinfachungsgründen auch aufgeteilt.

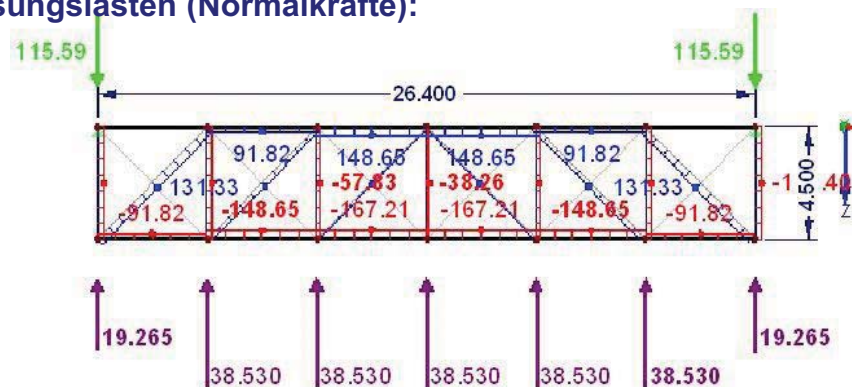
Dachverband

Schnittgrößen aus Bemessungslasten (Normalkräfte):

Diagonalen: nur Zug

Druckstreben: Fachwerk

Binder: Durchlaufträger

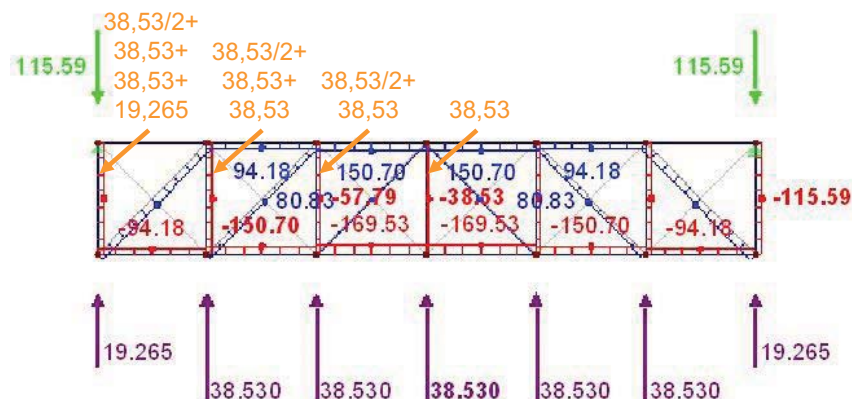


Vereinfacht:

Diagonalen: nur Zug

Druckstreben: Fachwerk

Binder: Fachwerkstäbe

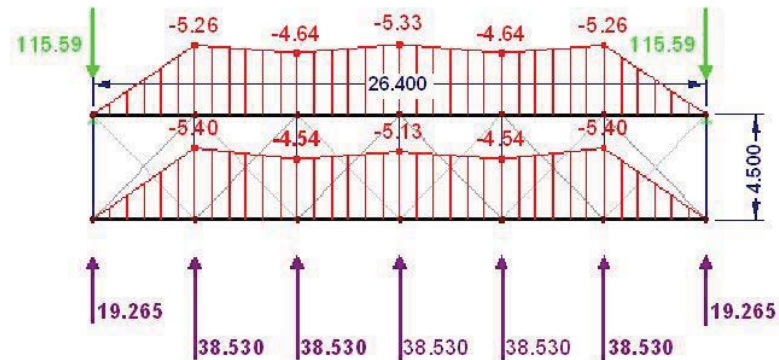


Schnittgrößen aus Bemessungslasten (Momente) (informativ):

Diagonalen: nur Zug

Druckstreben: Fachwerk

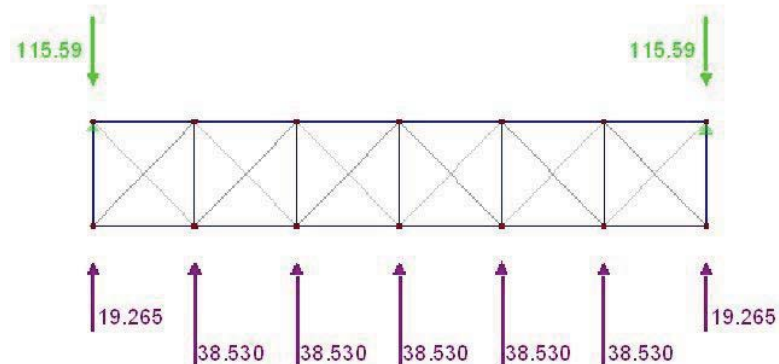
Binder: Durchlaufträger



Diagonalen: nur Zug

Druckstreben: Fachwerk

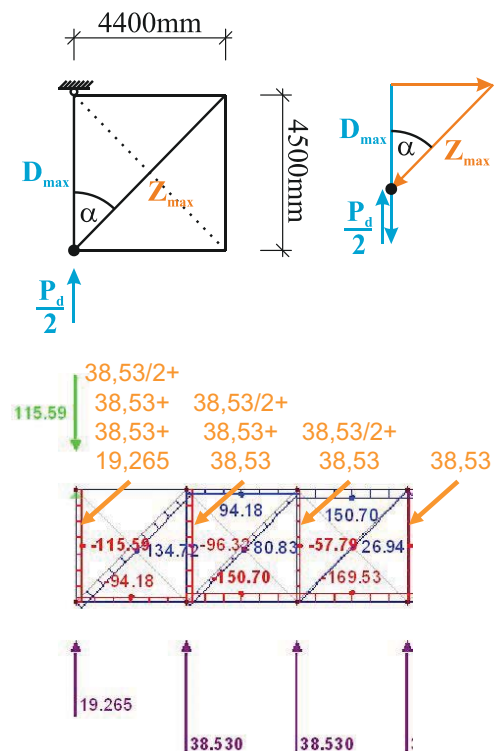
Binder: Fachwerkstäbe



Schnittgrößen aus Bemessungslasten (Normalkräfte):

Druckstrebe:

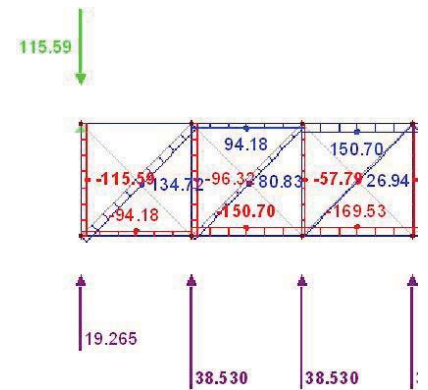
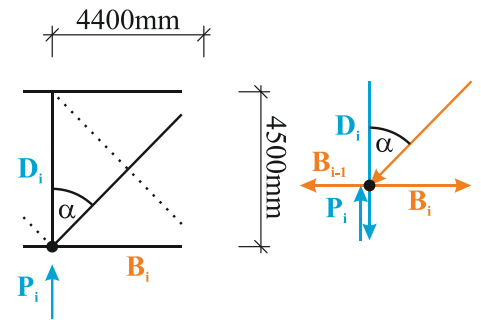
Diagonale:



Schnittgrößen aus Bemessungslasten (Normalkräfte):

Binder:

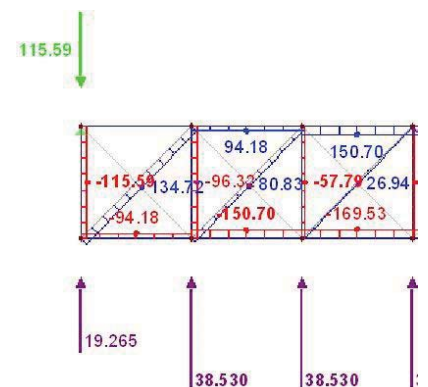
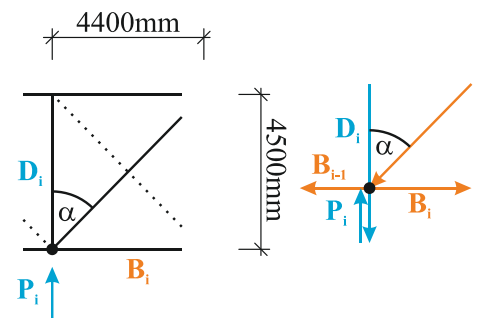
Binder1:



Schnittgrößen aus Bemessungslasten (Normalkräfte):

Binder:

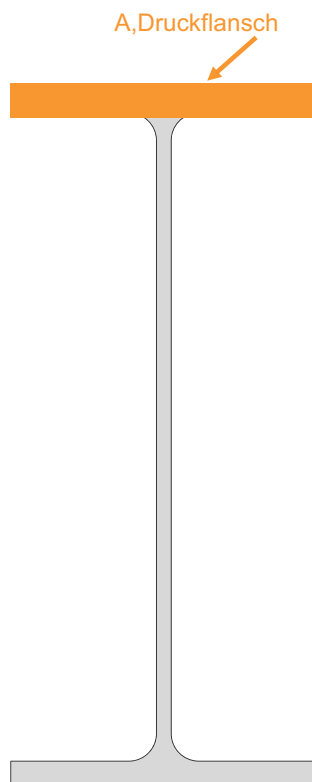
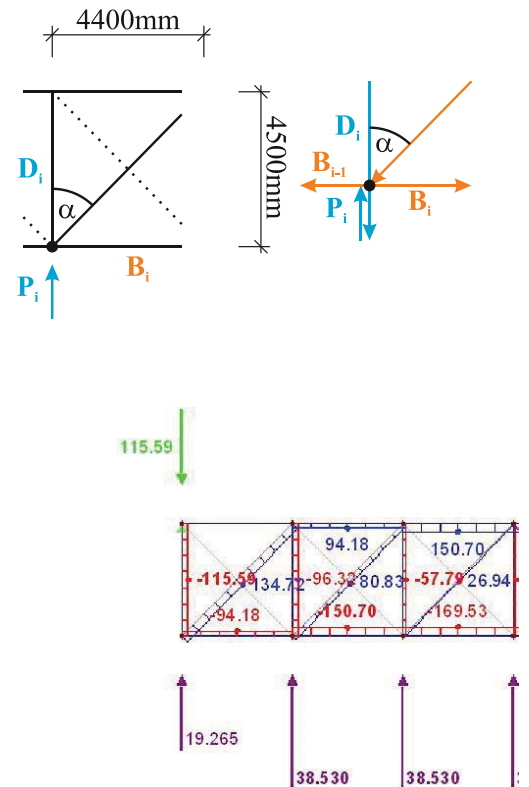
Binder2:



Schnittgrößen aus Bemessungslasten (Normalkräfte):

Binder:

Binder3:



Breite I-Träger (siehe Folgeseiten)

HEAA
HEA (IPBI)
HEB (IPB)
HEM (IPBv)

Normallängen: $h < 300 \text{ mm}$: 8–16 m
 $h \geq 300 \text{ mm}$: 8–18 m

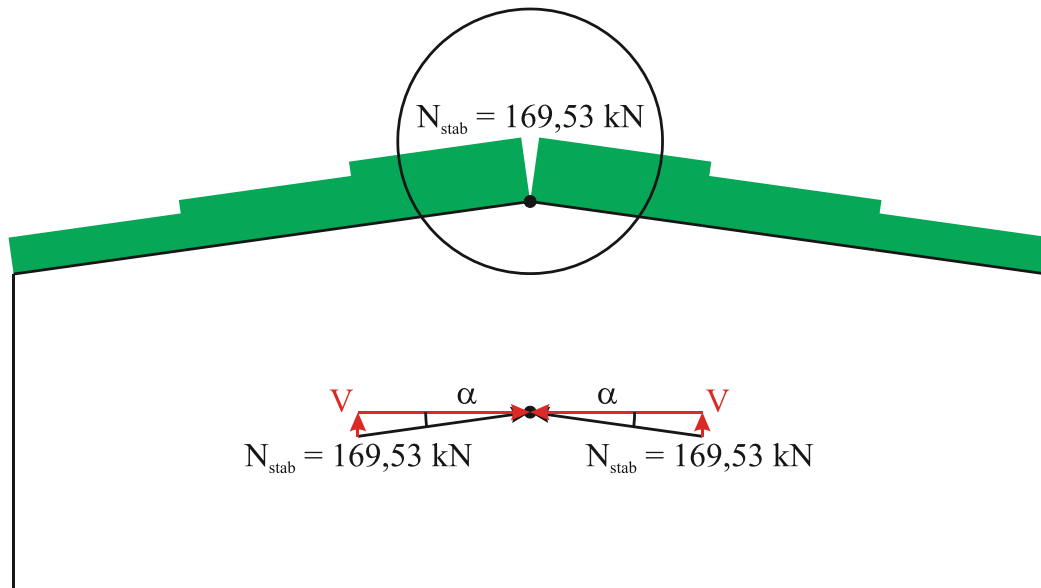
Nenn- höhe	Profilmaße in mm						A cm ²
	h	b	s	t	r	h_1	
500	490	300	12	23	27	390	198
550	540	300	12,5	24	27	438	212
600	590	300	13	25	27	486	226
650	640	300	13,5	26	27	534	242
700	690	300	14,5	27	27	582	260

Normalkraft im Druckflansch durch Stabilisierung:

Normalkraft im Druckflansch M+N:

Normalkraft im Druckflansch gesamt:

Zusätzlich anzusetzende Vertikalkomponente (im Firstpunkt) bei schrägen Dächern:



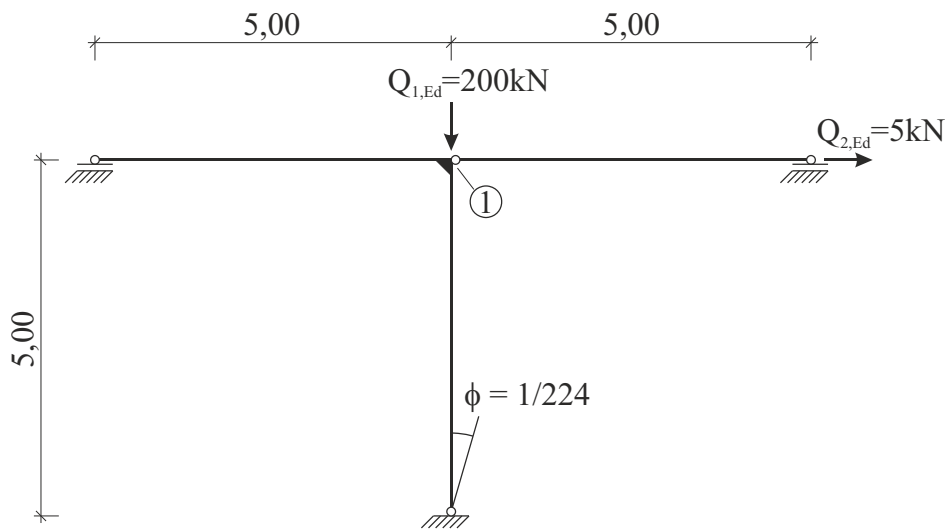
Weitere Informationen zu Hallenbauten



<http://www.bauforumstahl.de/typengepruefte-hallen>

Aufg. 2:

Statisches System:



Profilkennwerte (Stütze / Riegel):

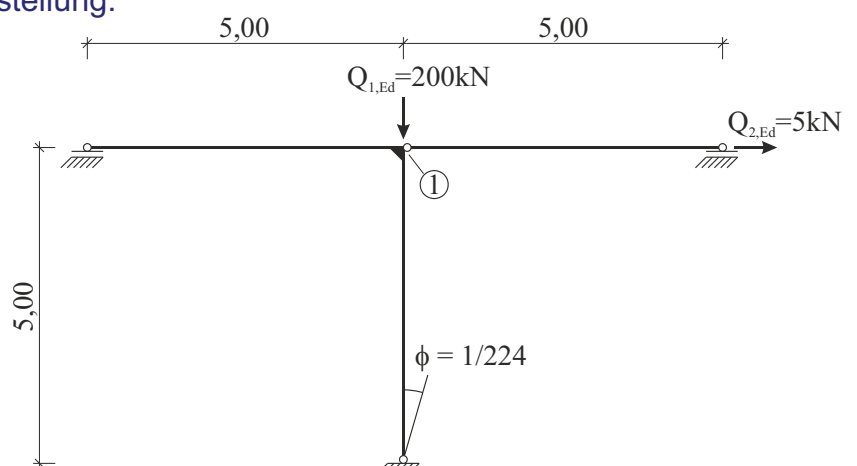
HEA 200: $I_{yy} = 3.690 \text{ cm}^4$

Material: S 235

Aufg. 2:

gesucht:

- Ermitteln Sie die äquivalenten Ersatzlasten (Abtriebskräfte), welche sich aus der Anfangsschiefstellung der Stütze ergeben. Gehen Sie hierbei von einer Druckkraft von $N = 205 \text{ kN}$ aus, welche in der Stütze wirkt.
- Ermitteln Sie die Schnittgrößenverläufe (M^I , N^I) nach Theorie 1. Ordnung, resultierend aus äußeren Lasten und Anfangsschiefstellung.
- Zeichnen Sie die Verformungsfigur (qualitativ). Ermitteln Sie weiterhin die horizontale Verformung in Punkt ① (Rahmenecke).
- Ermitteln Sie das Moment in der Rahmenecke (Punkt ①) nach Theorie 2. Ordnung (1 Iterationsschritt).

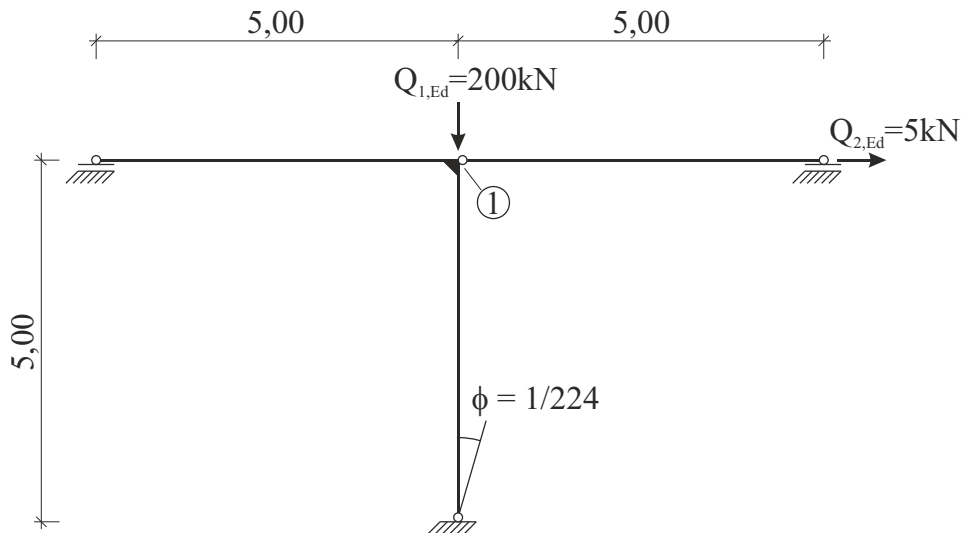


Aufg. 2 (Klausuraufgabe, 20 Minuten):

Hinweise:

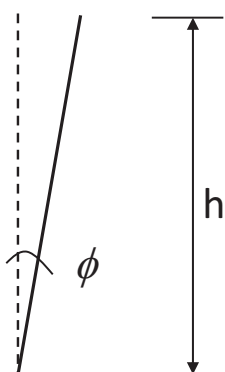
Bei der Ermittlung der Verformungen sollen die Längenänderungen der Stäbe infolge Normalkraft nicht berücksichtigt werden ($EA = \infty$).

Die Profile werden alle um ihre starke Achse belastet.



Theorie II Ordnung

Aufg. 2: Tragwerksimperfectionen (nicht Teil der Aufgabe, dort bereits gegeben!)



$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

EN 1993-1-1, (Gl. 5.5)

mit:

$$\phi_0 = 1/200$$

$$\alpha_h = 2/\sqrt{h} \quad \text{jedoch: } 2/3 \leq \alpha_h \leq 1,0$$

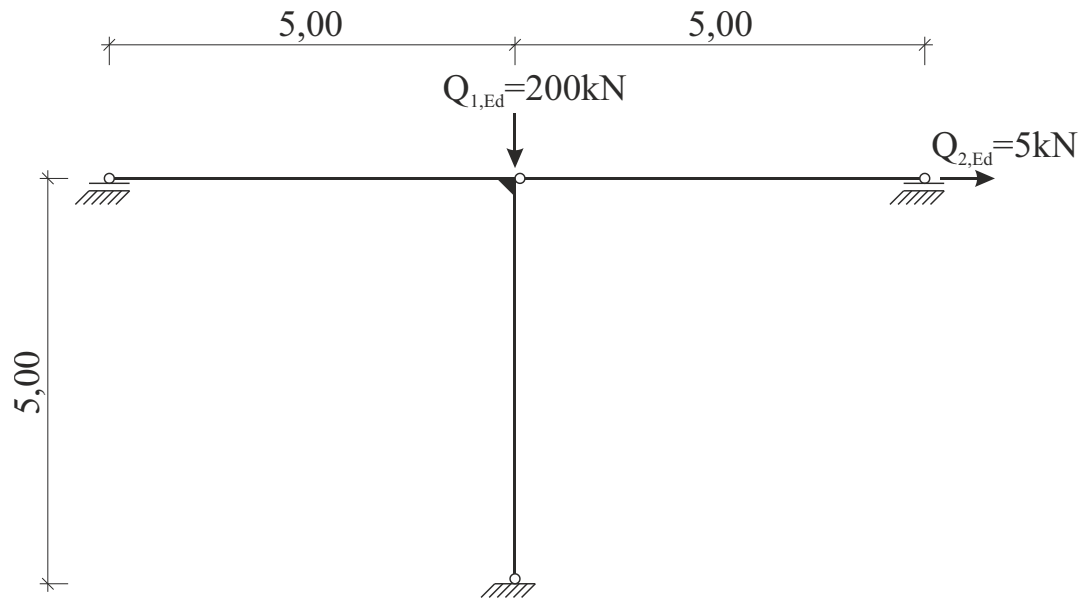
$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot (1 + 1/m)}$$

h Höhe des Tragwerks in [m]

m Anzahl der Stützen in einer Reihe, die eine Vertikalbelastung größer 50% der Durchschnittsbelastung übernehmen

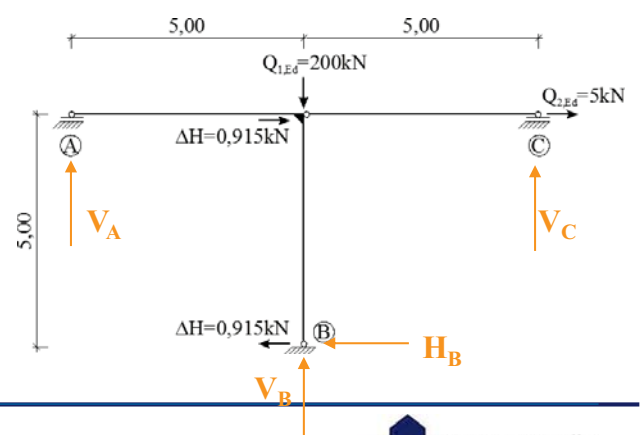
Aufg. 2:

a) Abtriebskräfte / Ersatzlasten



Aufg. 2:

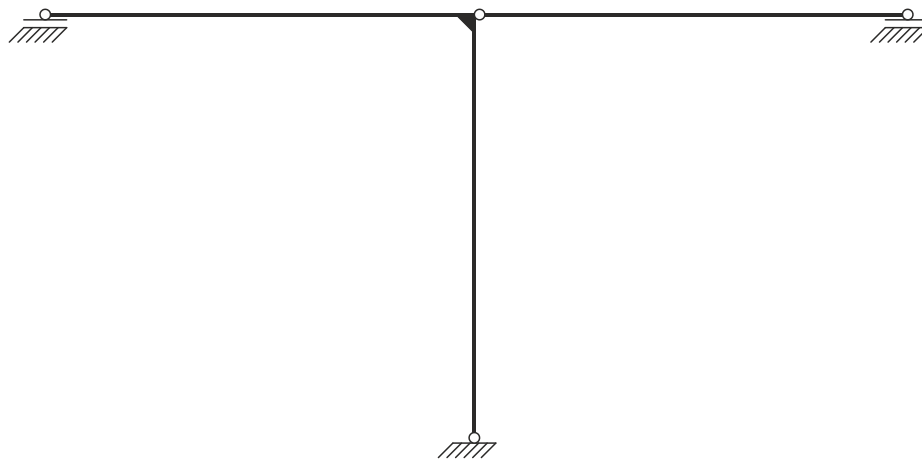
b) Schnittgrößenverläufe (M^I , N^I) nach Theorie 1. Ordnung



Aufg. 2:

b) Schnittgrößenverläufe (M^I , N^I) nach Theorie 1. Ordnung

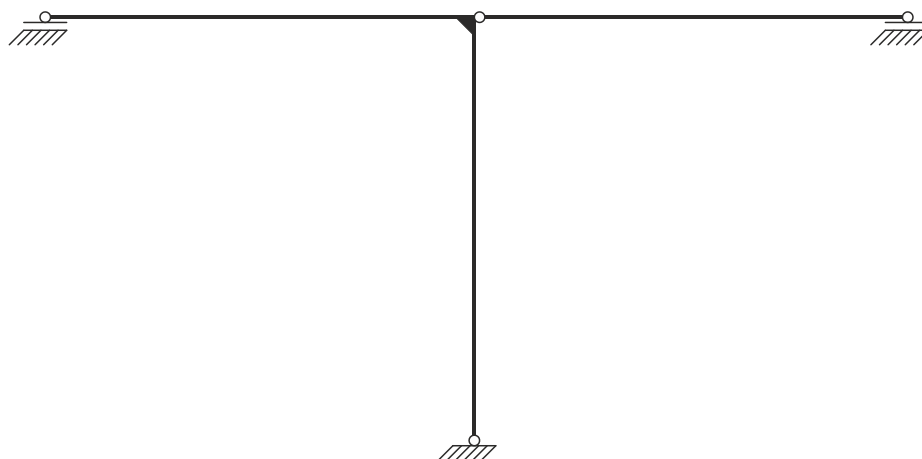
Momentenverlauf nach Theorie 1. Ordnung



Aufg. 2:

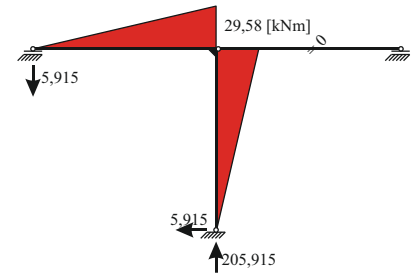
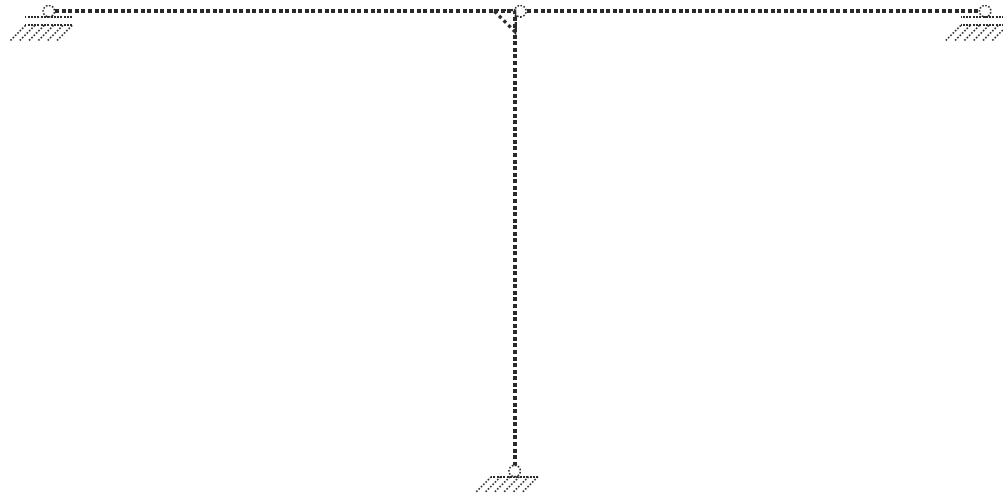
b) Schnittgrößenverläufe (M^I , N^I) nach Theorie 1. Ordnung

Normalkraftverlauf nach Theorie 1. Ordnung



Aufg. 2:

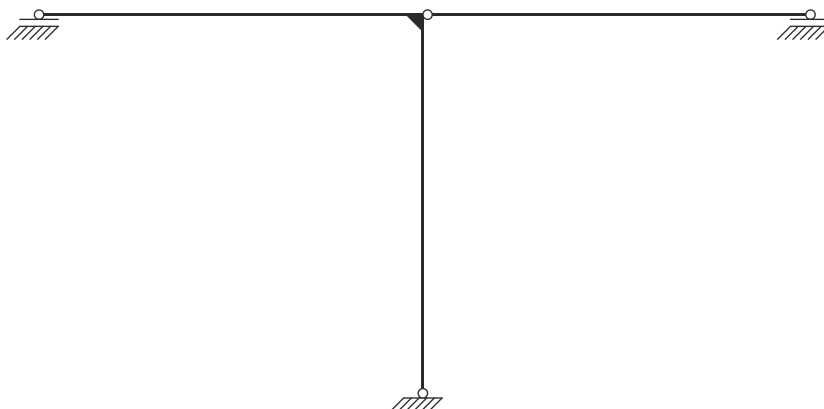
c) Verformungsfigur



Aufg. 2:

d) Verformungen in der Rahmenecke

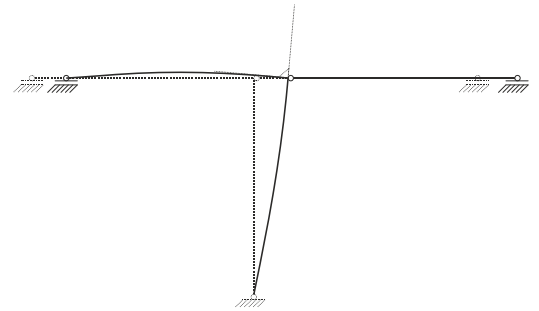
Schnittgrößenverlauf infolge „1“-Last (Rahmenecke):



Aufg. 2:

e) Moment in der Rahmenecke (Punkt ①) nach Theorie 2. Ordnung

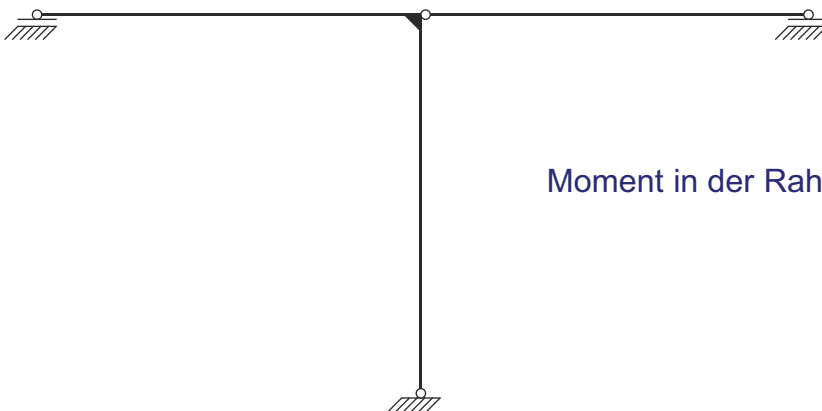
Abtriebskräfte durch Verformung im Punkt ① (Rahmenecke):



Aufg. 2:

e) Moment in der Rahmenecke (Punkt ①) nach Theorie 2. Ordnung

Momentenzuwachs ΔM_1 :



Moment in der Rahmenecke nach Theorie 2. Ordnung: