

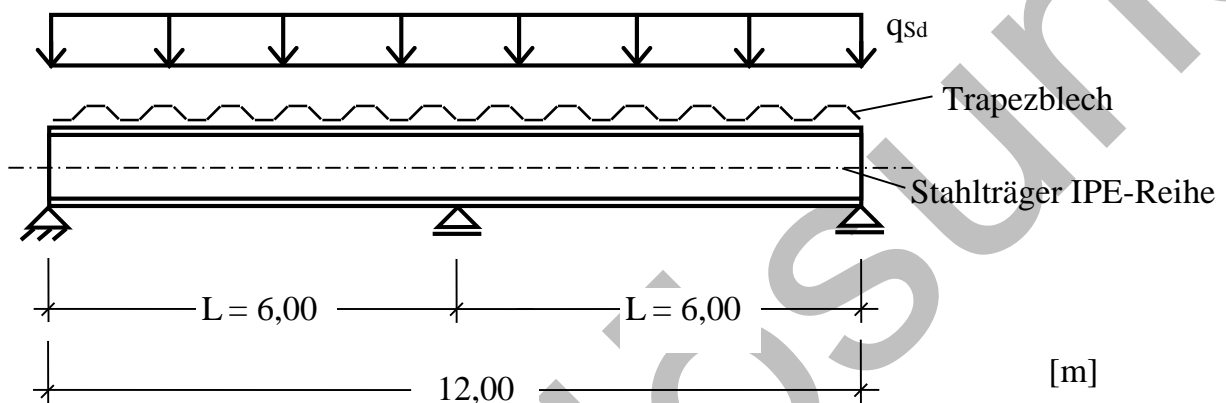
Aufgabe 1

20 Punkte

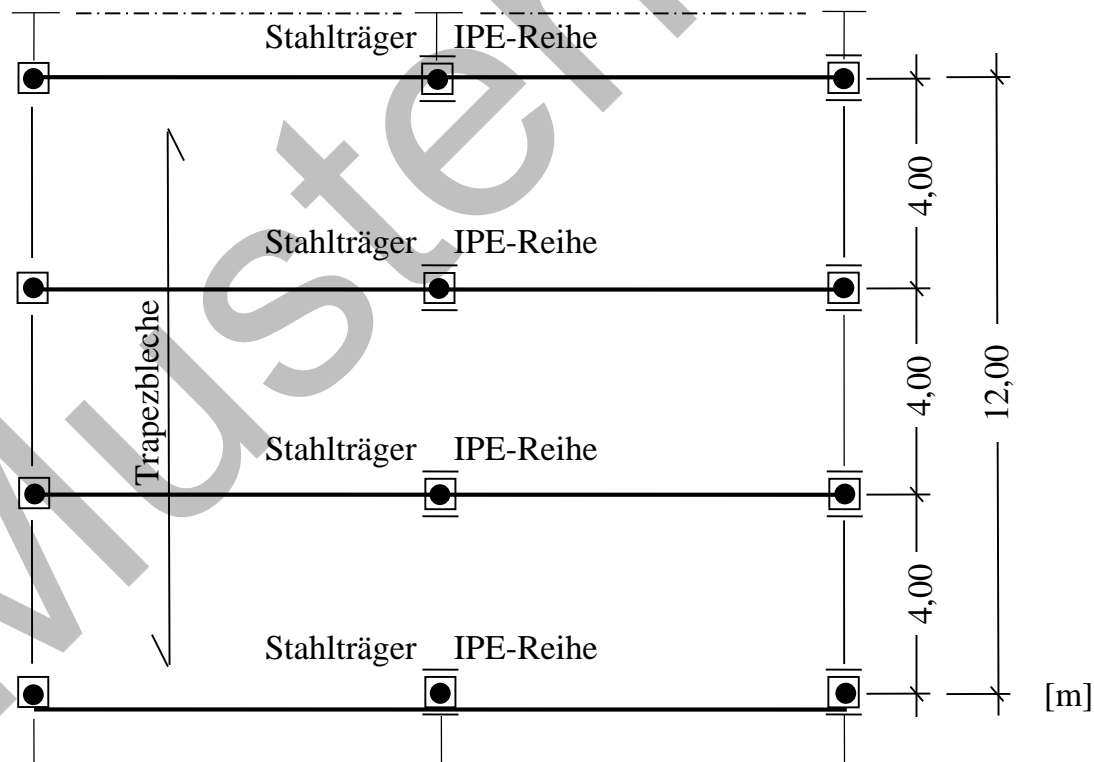
gegeben:

- Statisches System und Belastung gemäß Skizze:

Ansicht



Grundrissprinzip



- Bemessungslast: $q_{s,d} = 15,0$ kN/m
- Material: S 355

gesucht:

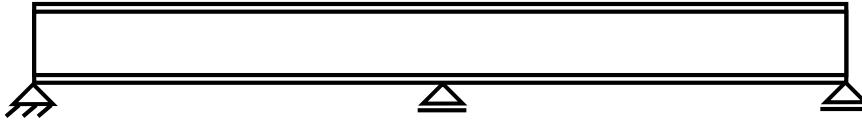
- a) Dimensionieren Sie den Stahlträger (Reihe IPE) im Grenzzustand der Tragfähigkeit. Es ist von einer elastischen Ausnutzung der Querschnittstragfähigkeit auszugehen.
- b) Markieren Sie in **Anlage 1.1** den Bereich des Stahlträgers, der aufgrund von Biegedrillknicken gefährdet ist. Begründen Sie Ihre Markierung.
- c) Führen Sie den Biegedrillknicknachweis unter Berücksichtigung der plastischen Querschnittsreserven (d.h. W_{pl}) durch.

Zur Bestimmung von M_{crit} bzw. des k -Wertes verwenden Sie das Diagramm in **Anlage 1.2**.

Hinweise:

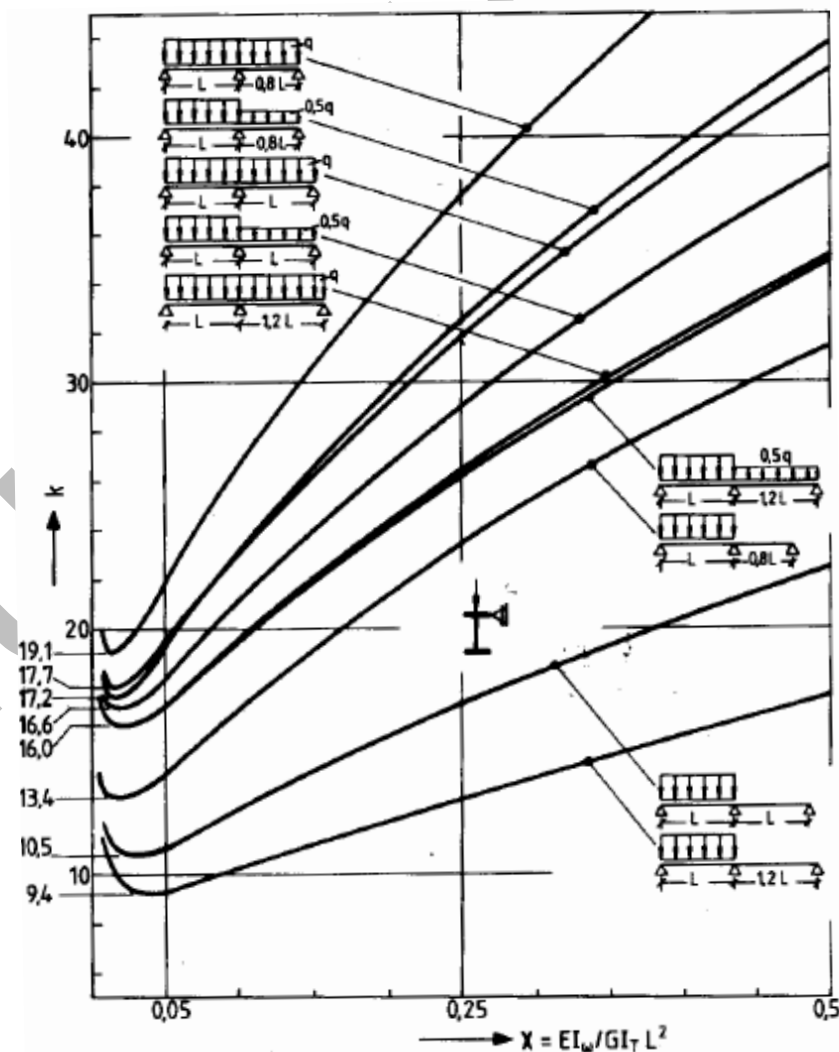
- Sie können davon ausgehen, dass eine M - V -Interaktion (Aufgabenteil a) nicht erforderlich ist.
- Gabellagerung an allen Stützungen und keine Wölbbehinderung (Voraussetzung zur Nutzung des Diagramms in Anlage 1.2).
- Der Stahlträger ist am oberen Flansch durch das Trapezblech seitlich gehalten (Voraussetzung zur Nutzung des Diagramms in Anlage 1.2).
- Ermitteln Sie den Abminderungsfaktor für Biegedrillknicken X_{LT} nach der Variante für „gewalzte oder gleichartige geschweißte Querschnitte“.
- Modifizieren Sie den Abminderungsfaktor X_{LT} nicht mit dem Beiwert f .
- Sollten Sie Aufgabenteil a) nicht gelöst haben, so wählen Sie mindestens einen Stahlträger IPE 270.

Anlage 1.1: Stahlträger



Anlage 1.2: k-Werte für Zweifeldträger mit Gleichlast

$$M_{cr} = \frac{k}{L} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z}$$



Musterlösung:**a) Dimensionierung des Stahlträgers**

Einwirkungen:

$$q_{sd} = 15,0 \text{ kN/m}$$

Berechnung der Schnittgrößen an den maßgebenden Stellen:

$$M_{Feld} = 0,07 \cdot q \cdot l^2 = 0,07 \cdot 15,0 \cdot 6^2 = 37,8 \text{ kNm}$$

$$M_{Stütz} = -0,125 \cdot q \cdot l^2 = -0,125 \cdot 15,0 \cdot 6^2 = -157,7 \text{ kNm}$$

→ maßgebend $M_{Stütz}$

Art der Berechnung laut Aufgabenstellung elastisch:

$$M_{el,y} = W_{el,y} \cdot f_y \geq M_{sd} = M_{Stütz} = 157,7 \text{ kNm}$$

$$W_{el,y} \geq \frac{M_{el,y}}{f_y} = \frac{157,7 \cdot 100}{35,5} = 444,34 \text{ cm}^3$$

Die Wahl des Stahlträgers soll laut Aufgabenstellung aus der IPE-Reihe erfolgen.

Gewählt: IPE 300, $W_{el,y} = 557 \text{ cm}^3$ **b) Biegedrillknickgefährdeter Bereich**

Der Stahlträger ist am oberen Flansch seitlich gehalten (laut Annahme der Aufgabenstellung) und kann daher im positiven Momentenbereich nicht auf Biegedrillknicken versagen. Ein Biegedrillknicken des Stahlträgers kann nur im negativen Momentenbereich auftreten, bei dem der Untergurt auf Druck beansprucht wird. Der kritische Bereich ist daher zwischen den Momentennullpunkten über der Mittelstütze.

Ideelles Biegedrillknickmoment (lt. Anlage 1.2):

$$M_{cr} = \frac{k}{L} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z}$$
$$= \frac{19,0}{600} \cdot \sqrt{21.000 \cdot 20,1 \cdot 21.000 \cdot 604} = 73.272 \text{ kNcm} = 732,7 \text{ kNm}$$

Ermittlung des Schlankheitsgrades:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{628,4 [\text{cm}^3] \cdot 35,5 [\text{kN/cm}^2]}{73.272 [\text{kNcm}]} } = 0,552 [-]$$

Knicklinie: gewalztes Profil (IPE300), $h/b = 300/150 = 2 \Rightarrow$ Knicklinie b

Imperfektionsbeiwert: $\alpha_{LT} = 0,34 [-]$

$$\Phi_{LT} = 0,5 [1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$$
$$= 0,5 [1 + 0,34 \cdot (0,552 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,552^2] = 0,6401 [-]$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,6401 + \sqrt{0,6401^2 - 0,75 \cdot 0,552^2}} = 0,9383 [-]$$

Ermittlung des Bemessungswertes der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,9383 \cdot 628,4 [\text{cm}^3] \cdot \frac{35,5 [\text{kN/cm}^2]}{1,1} = 190,29 [\text{kNm}]$$

Biegemoment:

$$M_{Ed} = 157,7 \text{ kNm}$$

Nachweis:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{157,7 \text{ kNm}}{190,29 \text{ kNm}} = 0,83 \leq 1,0$$

→ Nachweis erbracht

gesucht:

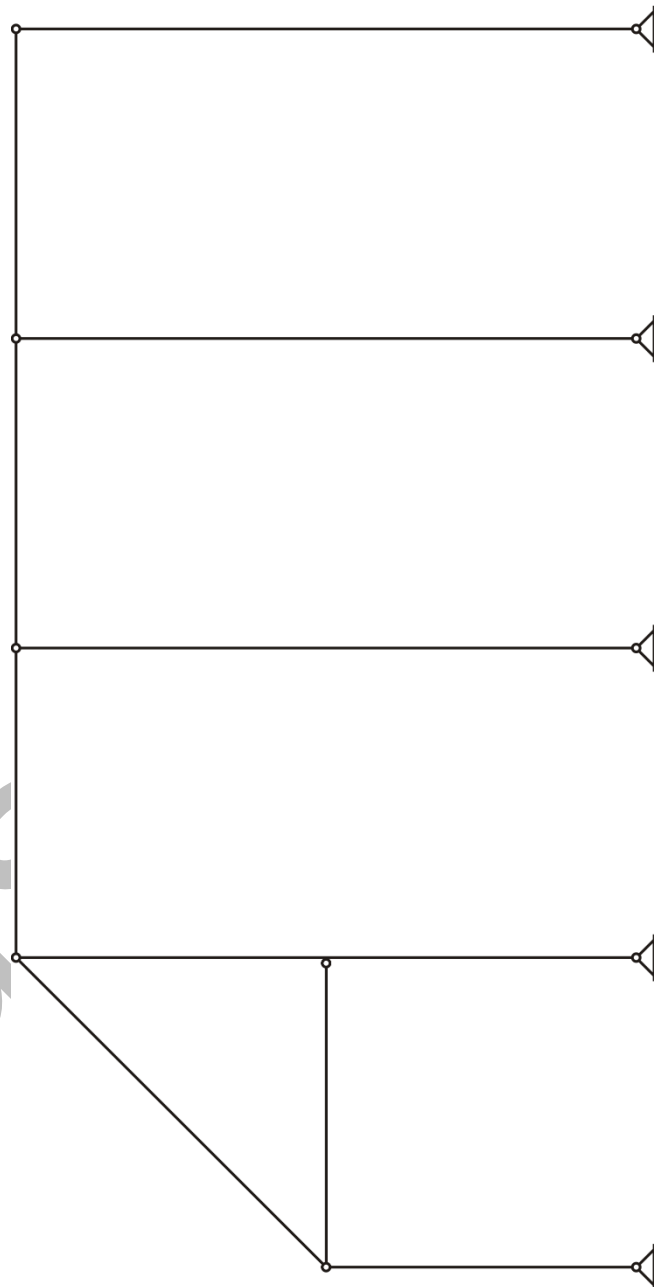
- a) Stellen Sie die Verformungsfigur qualitativ in **Anlage 2.1** dar.
- b) Ermitteln Sie die Schnittgrößen nach Theorie 1. Ordnung für das Gesamtsystem und stellen Sie den M^I -, V^I - und N^I - Schnittgrößenverlauf in **Anlage 2.2** dar.
- c) Ermitteln Sie die in den Punkten „a“ und „b“ auftretenden Verformungen.
- d) Ermitteln Sie die Abtriebskräfte für das System mit den in c) ermittelten Verformungen und tragen Sie diese in einer Systemskizze ein.
- e) Ermitteln Sie die Schnittgrößen nach Theorie 2. Ordnung und stellen Sie den M^{II} -, V^{II} - und N^{II} - Schnittgrößenverlauf in **Anlage 2.3** dar.

Hinweise:

- Die Profile werden alle um ihre starke Achse belastet.
- Längsdehnung und Eigengewicht aller Stäbe sind zu vernachlässigen ($EA \rightarrow \infty$).
- Die Berechnung der Schnittgrößen nach Theorie 2. Ordnung ist mit dem ΔM -Verfahren durchzuführen (geometrische Reihe).
- Abtriebskräfte in den Zugstäben sind zu vernachlässigen.
- Es sind keine Stabilitätsnachweise zu führen.

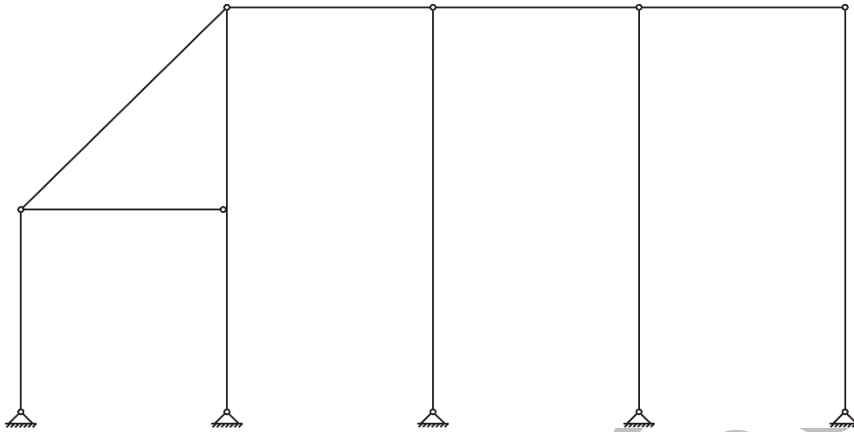
Anlage 2.1 (zu Aufgabenteil a):

Verformungsfigur:

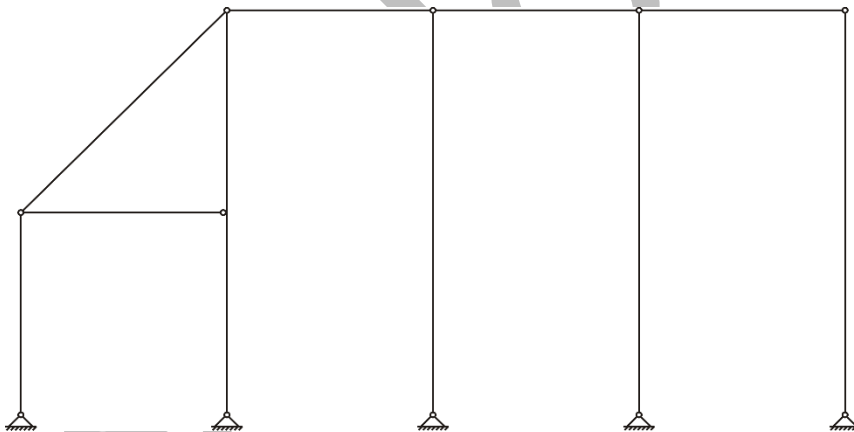


Anlage 2.2 (zu Aufgabenteil b): Schnittgrößenverläufe nach Theorie 1. Ordnung:

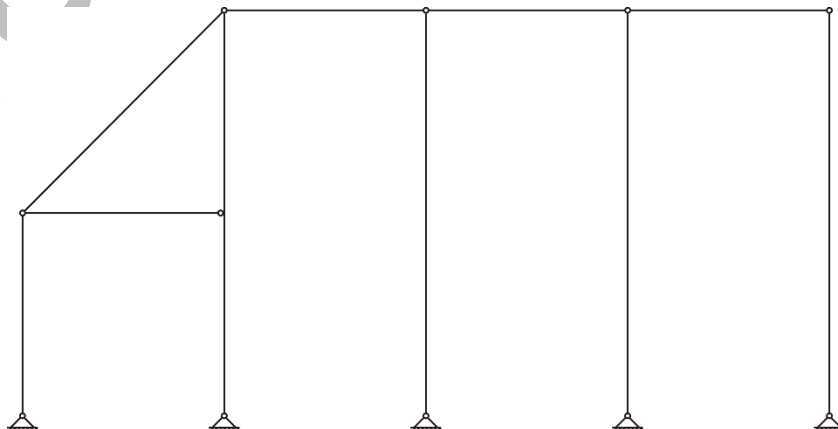
M^I



N^I

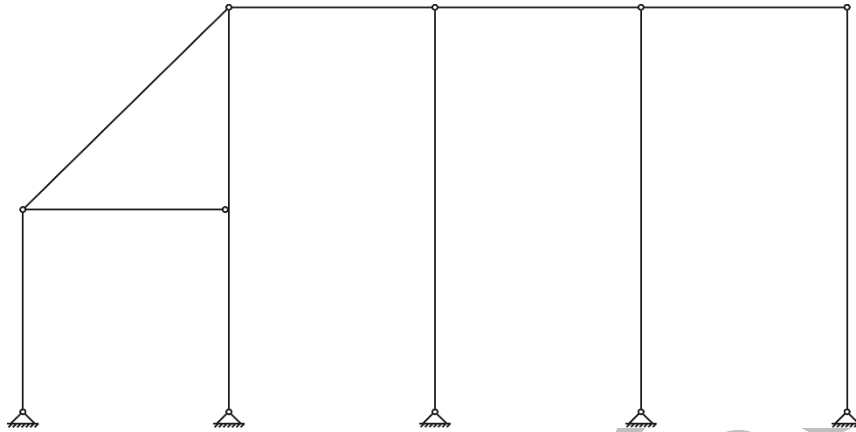


V^I

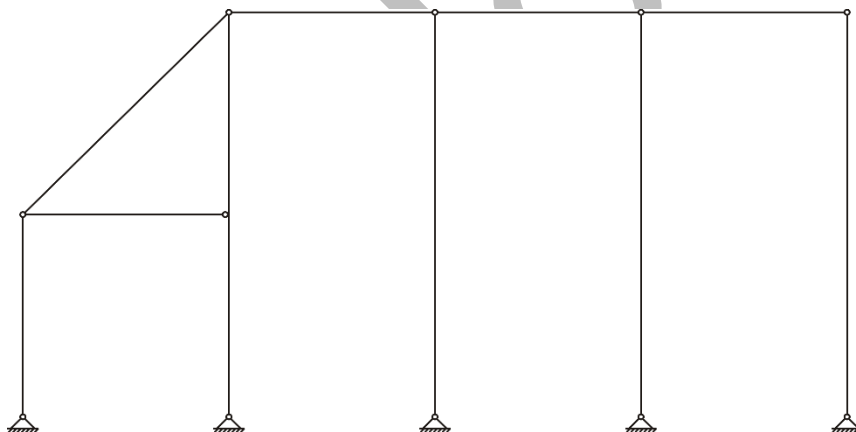


Anlage 2.3 (zu Aufgabenteil e): Schnittgrößenverläufe nach Theorie 2. Ordnung:

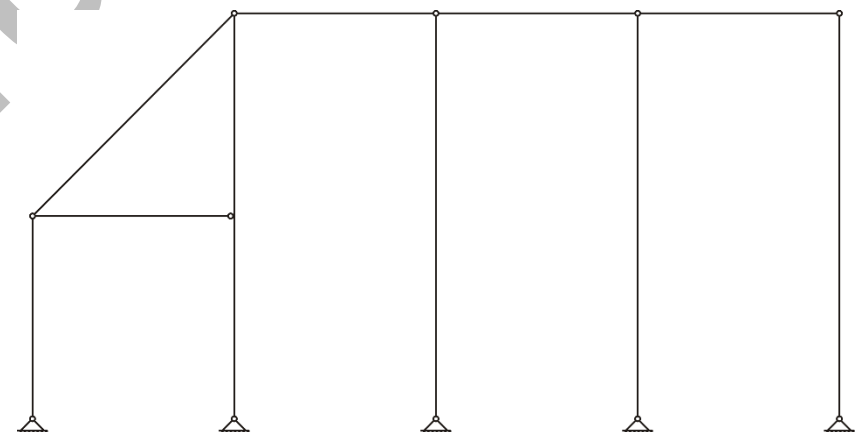
M^{II}



N^{II}

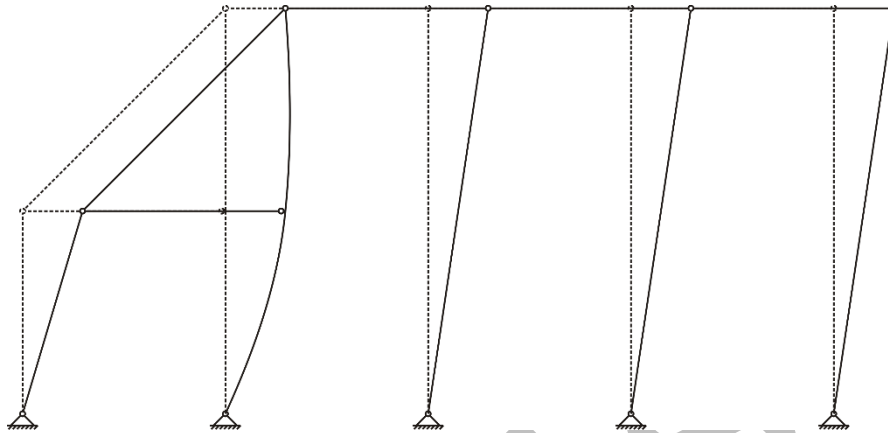


V^{II}



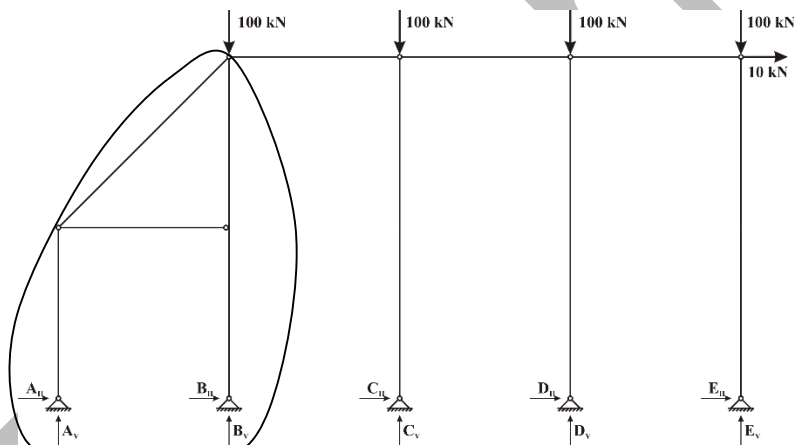
Musterlösung:

a) Verformungsfigur



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

Bestimmung der Auflagerkräfte:



Pendelstäbe:

$$A_H = 0$$

$$C_H = 0 \quad C_V = 100kN$$

$$D_H = 0 \quad D_V = 100kN$$

$$E_H = 0 \quad E_V = 100kN$$

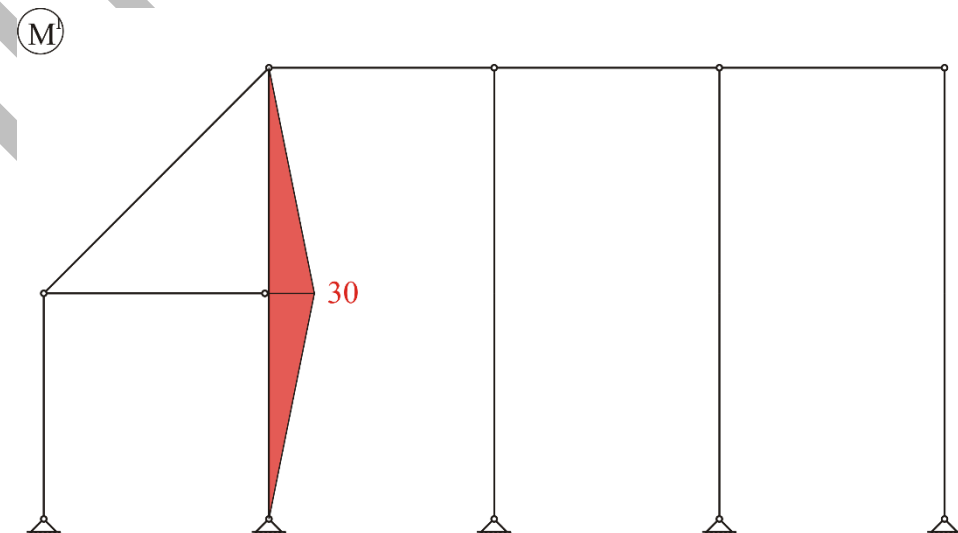
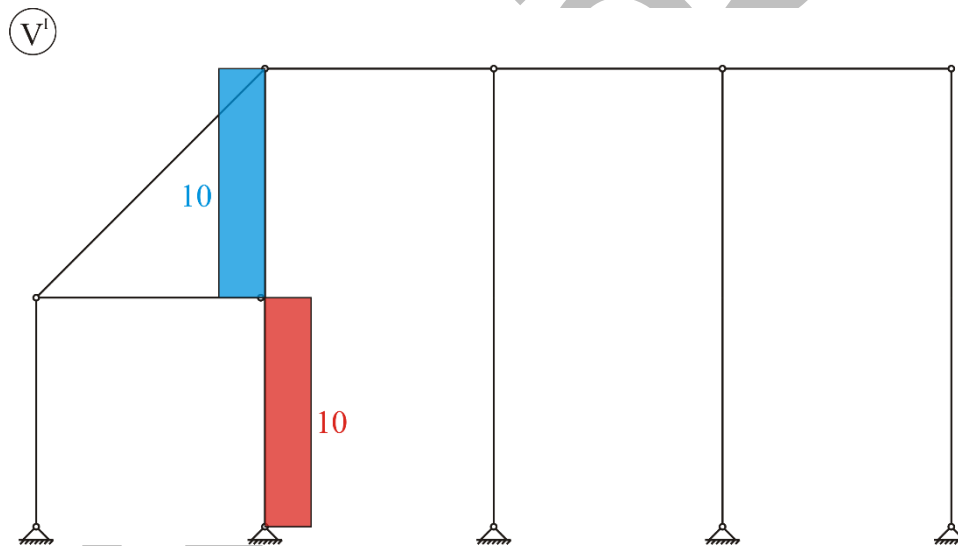
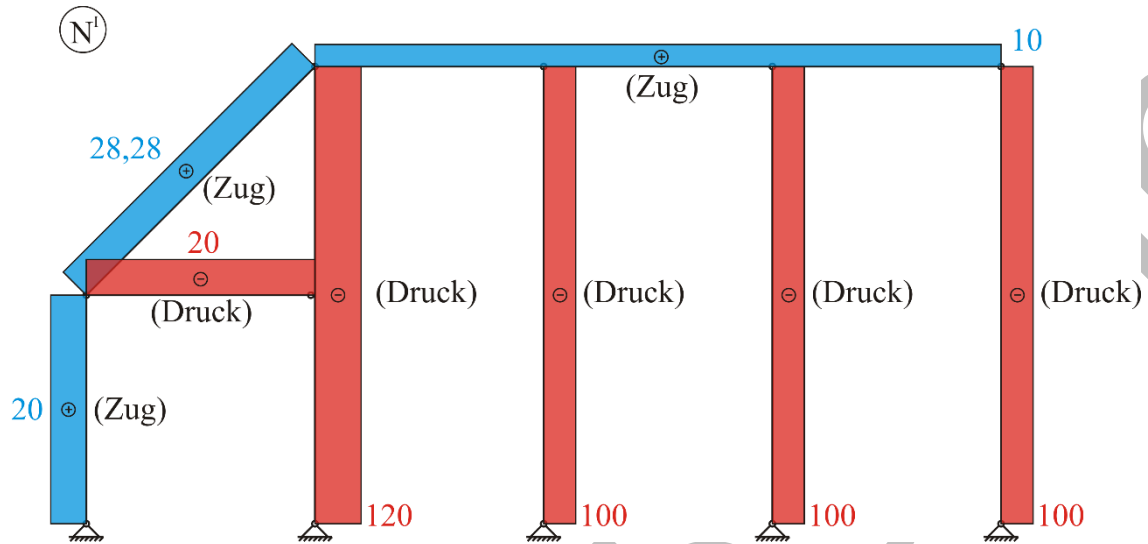
linkes Teilsystem:

$$\sum F_H = 0 \Rightarrow 10 + B_H = 0 \Rightarrow B_H = -10kN$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow B_V \cdot 3 - 100 \cdot 3 - 10 \cdot 6 = 0 \Rightarrow B_V = -120kN$$

$$\sum F_V = 0 \Rightarrow 100 - 120 - A_V = 0 \Rightarrow A_V = -20kN$$

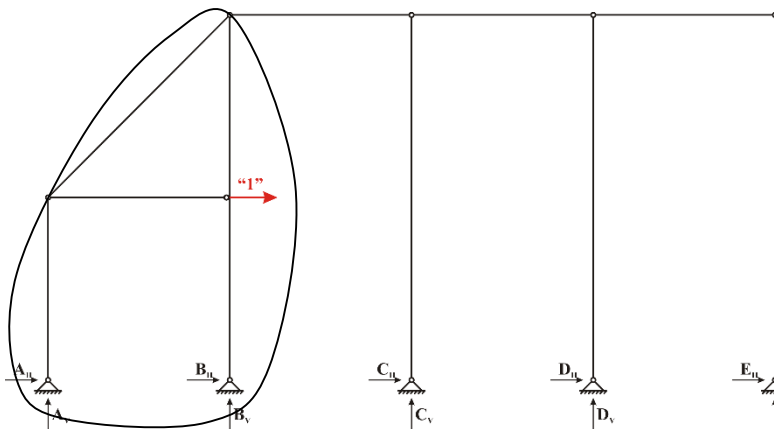
Schnittgrößen nach Theorie 1. Ordnung:



c) Verformungen in den Punkten „a“ und „b“

Hinweis: durch Zeichnen der Verformungsfigur (Aufgabenteil a) lässt sich feststellen, dass der Starrkörper (Dreieck) nur lateral verschieblich ist. Somit sind die Verformungen in den Punkten „a“ und „b“ identisch. Die Bearbeitungszeit in der Klausur ist jedoch so bemessen, dass eine Bestimmung beider Verschiebungen innerhalb der Zeit möglich ist.

Verformung im Punkt „b“:



Pendelstäbe:

$$A_H = 0$$

$$C_H = 0 \quad C_V = 0$$

$$D_H = 0 \quad D_V = 0$$

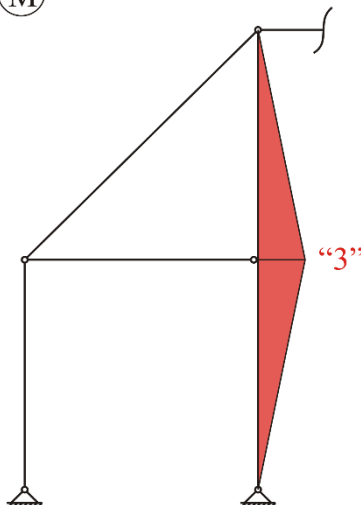
$$E_H = 0 \quad E_V = 0$$

linkes Teilsystem:

$$\sum F_H = 0 \Rightarrow 1 + B_H = 0 \Rightarrow B_H = -1 \quad \sum M_A = 0 \Rightarrow B_V \cdot 3 - 1 \cdot 3 = 0 \Rightarrow B_V = 1$$

$$\sum F_V = 0 \Rightarrow 1 + A_V = 0 \Rightarrow A_V = -1$$

(M)



$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

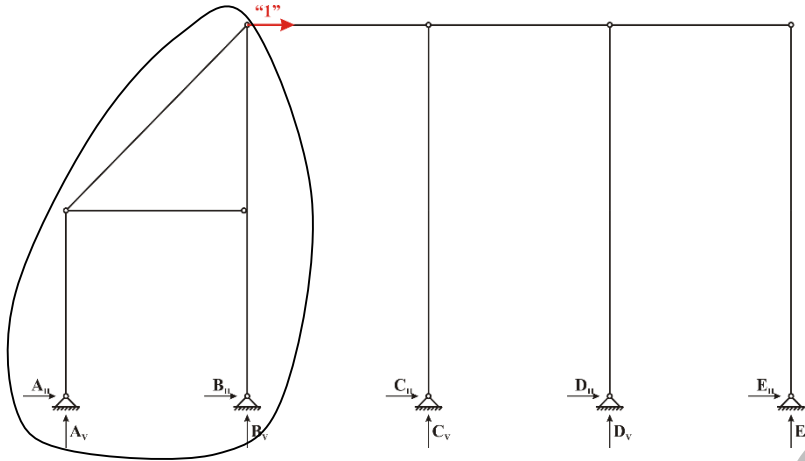
$$I_{yy} = 1940 \text{ cm}^4 = 19.400.000 \text{ mm}^4$$

$$EI_{yy} = 4074 \text{ kNm}^2$$

$$\delta_b = \delta_{10} = \frac{1}{4074} \cdot \left(2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 3 \cdot 30 \cdot 3 \right) = 0,04418 \text{ m}$$

$$\delta_b = 44,18 \text{ mm}$$

Verformung im Punkt „a“:



Pendelstäbe:

$$A_H = 0$$

$$C_H = 0 \quad C_V = 0$$

$$D_H = 0 \quad D_V = 0$$

$$E_H = 0 \quad E_V = 0$$

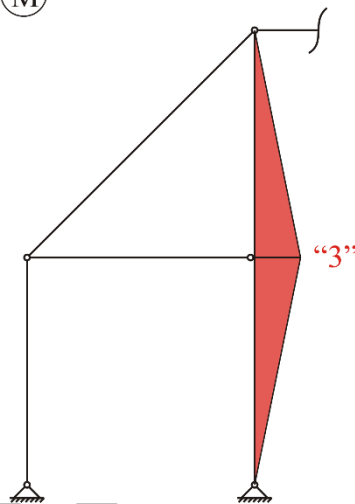
linkes Teilsystem:

$$\sum F_H = 0 \Rightarrow 1 + B_H = 0 \Rightarrow B_H = -1$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow B_V \cdot 3 - 1 \cdot 6 = 0 \Rightarrow B_V = 2$$

$$\sum F_V = 0 \Rightarrow 1 + A_V = 0 \Rightarrow A_V = -2$$

(M)



$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

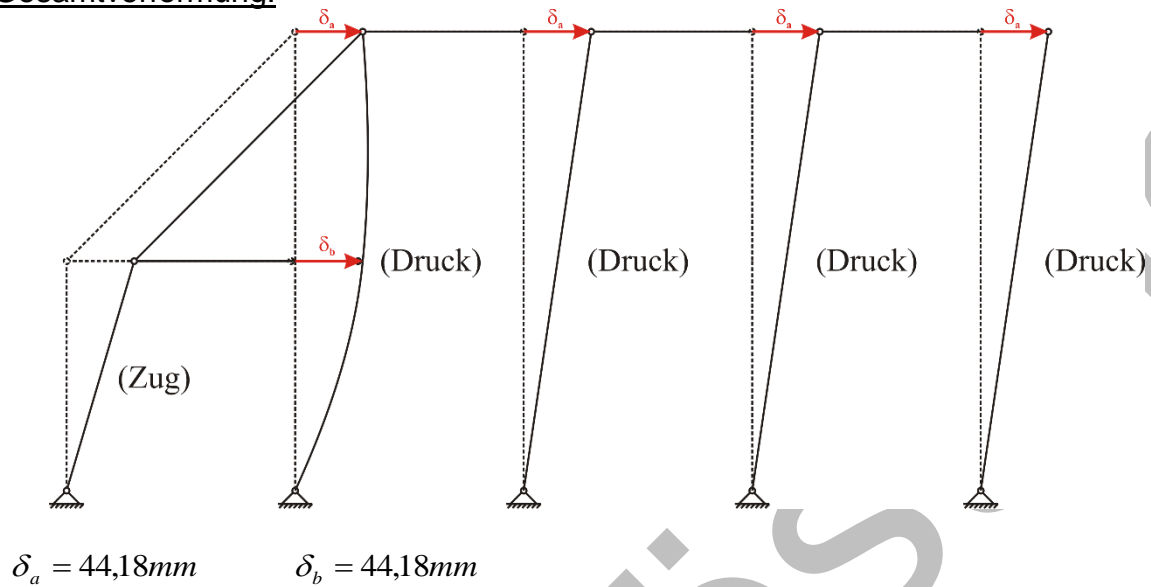
$$I_{yy} = 1940 \text{ cm}^4 = 19.400.000 \text{ mm}^4$$

$$EI_{yy} = 4074 \text{ kNm}^2$$

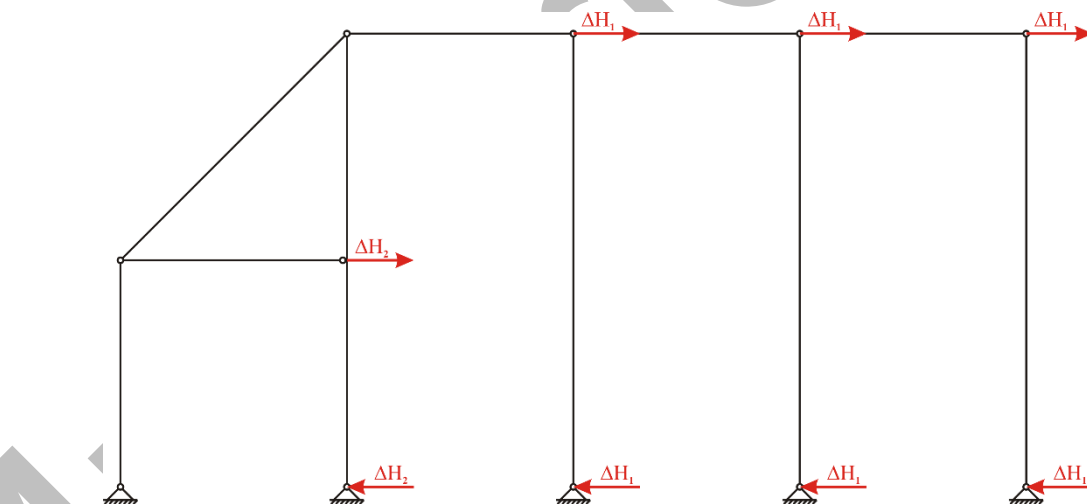
$$\delta_b = \delta_{10} = \frac{1}{4074} \cdot \left(2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 3 \cdot 30 \cdot 3 \right) = 0,04418 \text{ m}$$

$$\delta_b = 44,18 \text{ mm}$$

Gesamtverformung:



d) Abtriebskräfte gemäß Verformungen in den Punkten „a“ und „b“



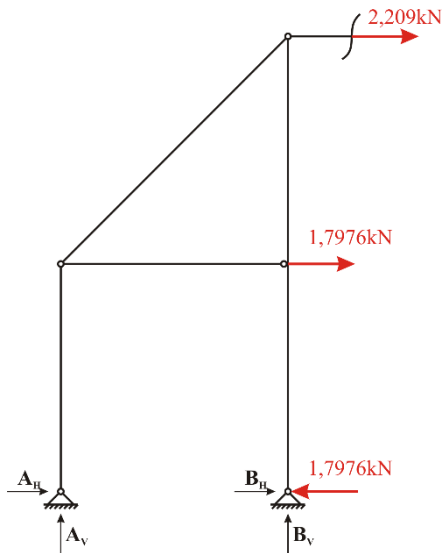
$$\Delta H = N \cdot \frac{\delta}{l}$$

$$\Delta H_1 = 100\text{kN} \cdot \frac{44,18\text{mm}}{6000\text{mm}} = 0,736\bar{3}\text{kN}$$

$$\Delta H_2 = 120\text{kN} \cdot \frac{44,18\text{mm}}{3000\text{mm}} = 1,7976\text{kN}$$

e) Schnittgrößenverlauf nach Theorie 2. Ordnung

Pendelstäbe:



$$A_H = 0$$

$$C_H = 0,736\bar{3}kN \quad C_V = 0$$

$$D_H = 0,736\bar{3}kN \quad D_V = 0$$

$$E_H = 0,736\bar{3}kN \quad E_V = 0$$

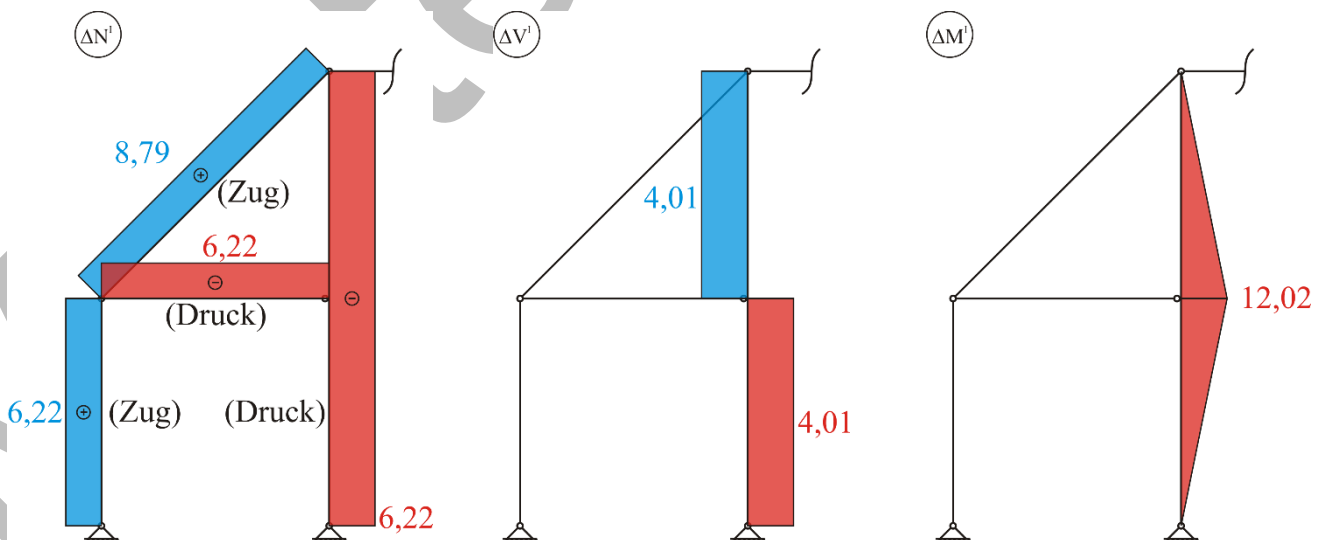
$$\sum F_H = 0 \Rightarrow 2,209 + B_H = 0 \Rightarrow B_H = -2,209kN$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow B_V \cdot 3 - 2,209 \cdot 6 - 1,7976 \cdot 3 = 0$$

$$\Rightarrow B_V = 6,2156kN$$

$$\sum F_V = 0 \Rightarrow 6,2156 + A_V = 0 \Rightarrow A_V = -6,2156kN$$

Schnittgrößenverläufe aus den Abtriebskräften:



in den Stützen: $\Delta M^I = \Delta V^I = 0$ (Pendelstäbe), $\Delta N^I = 0$, im Riegel: $\Delta M^I = \Delta V^I = \Delta N^I = 0$

Schnittgrößenverlauf nach Theorie 2. Ordnung:

Geometrische Reihe:

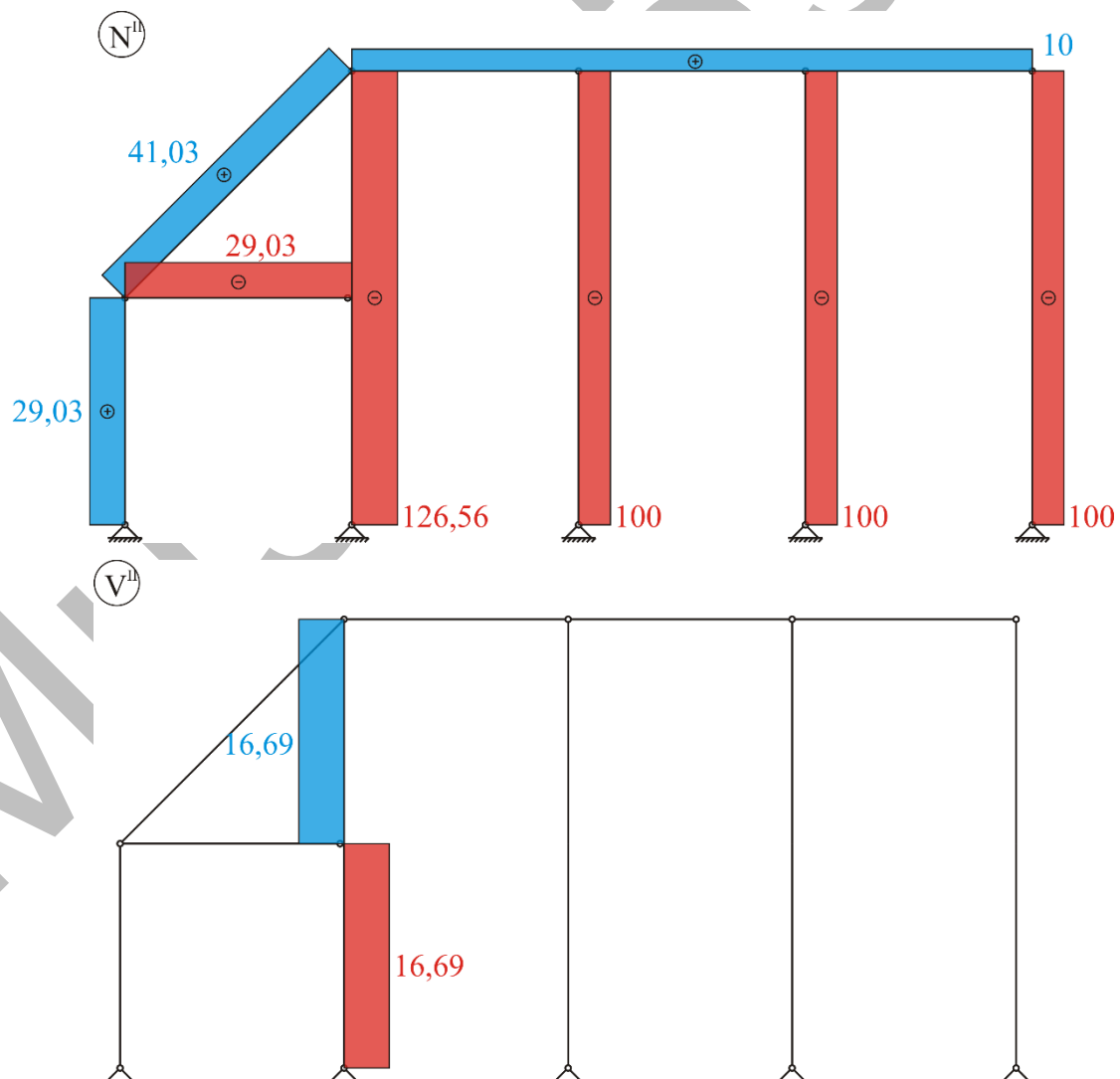
$$N_{\text{Zugstabquer}}^{\text{II}} = \frac{28,28 \text{ kN}}{1 - \frac{8,79 \text{ kN}}{28,28 \text{ kN}}} = 41,03 \text{ kN}$$

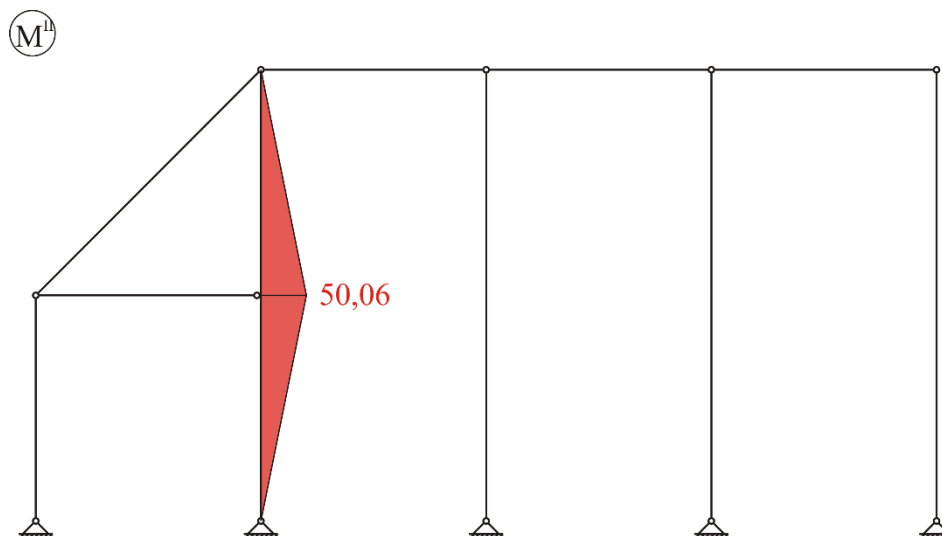
$$N_{\text{Stütze,links}}^{\text{II}} = N_{\text{Riegel}}^{\text{II}} = \frac{20,00 \text{ kN}}{1 - \frac{6,22 \text{ kN}}{20,00 \text{ kN}}} = 29,03 \text{ kN}$$

$$N_{\text{Stütze,rechts}}^{\text{II}} = \frac{120,00 \text{ kN}}{1 - \frac{6,22 \text{ kN}}{120,00 \text{ kN}}} = 126,56 \text{ kN}$$

$$V^{\text{II}} = \frac{10 \text{ kN}}{1 - \frac{4,01 \text{ kN}}{10 \text{ kN}}} = 16,69 \text{ kN}$$

$$M^{\text{II}} = \frac{30 \text{ kNm}}{1 - \frac{12,02 \text{ kNm}}{30 \text{ kNm}}} = 50,06 \text{ kNm}$$





f) Querschnittsnachweis

(HINWEIS: Aufgabenteil aus Klausur gestrichen)

Querschnittswerte IPE 200 (Schneider Bautabellen):

$$N_{pl,Rd} = 608,5 \text{ kN} \cdot \frac{355}{235} = 919,2 \text{ kN}$$

$$V_{pl,z,Rd} = 172,7 \text{ kN} \cdot \frac{355}{235} = 260,9 \text{ kN}$$

$$M_{el,y,Rd} = 41,51 \text{ kNm} \cdot \frac{355}{235} = 62,7 \text{ kNm}$$

Punkt „b“:

Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung

$$N'' = 126,56 \text{ kNm}$$

$$V'' = 16,69 \text{ kNm}$$

$$M'' = 50,06 \text{ kNm}$$

Interaktion:

Beanspruchung durch Biegung, Querkraft und Längskraft, Querschnittsklasse 3:

$$V_{Sd} \leq 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} \Rightarrow 16,69 \leq 0,5 \cdot 260,9 = 130,45 \rightarrow \text{nur Interaktion aus M und N}$$

Nachweis :

$$\frac{N_{Sd}}{A} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{el,y}} + \frac{M_{z,Sd}}{W_{el,z}} \leq f_{yd} \Rightarrow \frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{el,y,Rd}} + \frac{M_{z,Sd}}{M_{el,z,Rd}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{126,56}{919,2} + \frac{50,06}{62,7} = 0,936 \leq 1,0$$

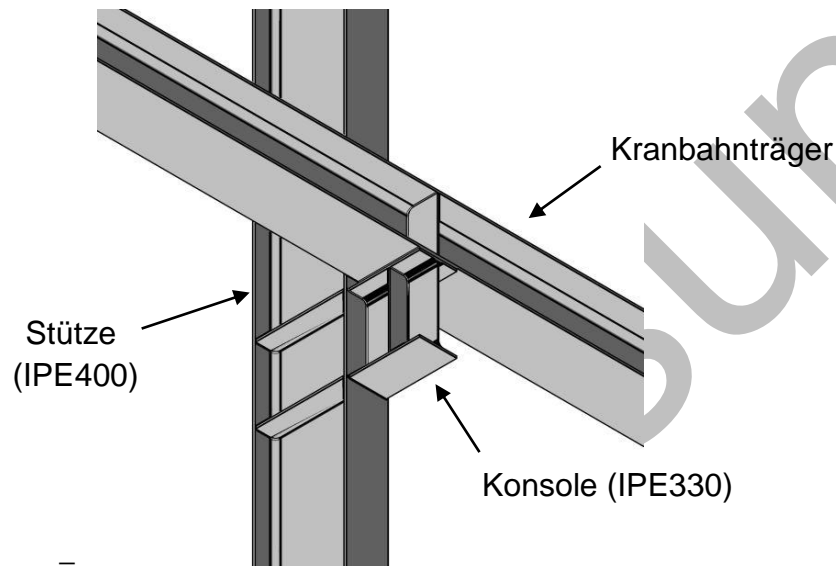
→ Nachweis erbracht

Aufgabe 3

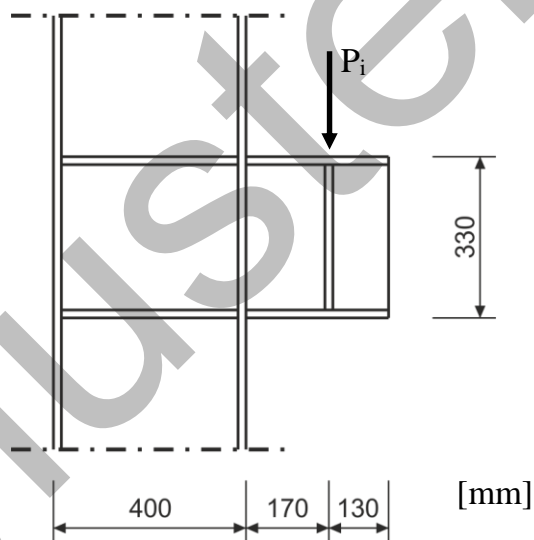
35 Punkte

gegeben:

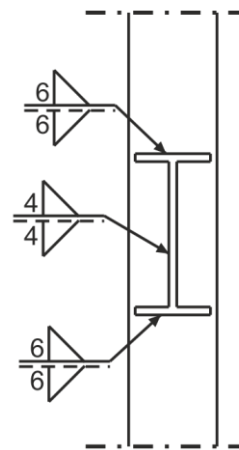
- Konsole für einen Kranbahnträger



- Seitenansicht:



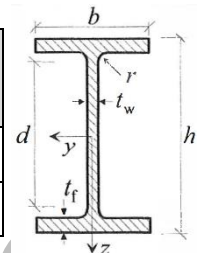
- Anschluss Konsole - Stütze:



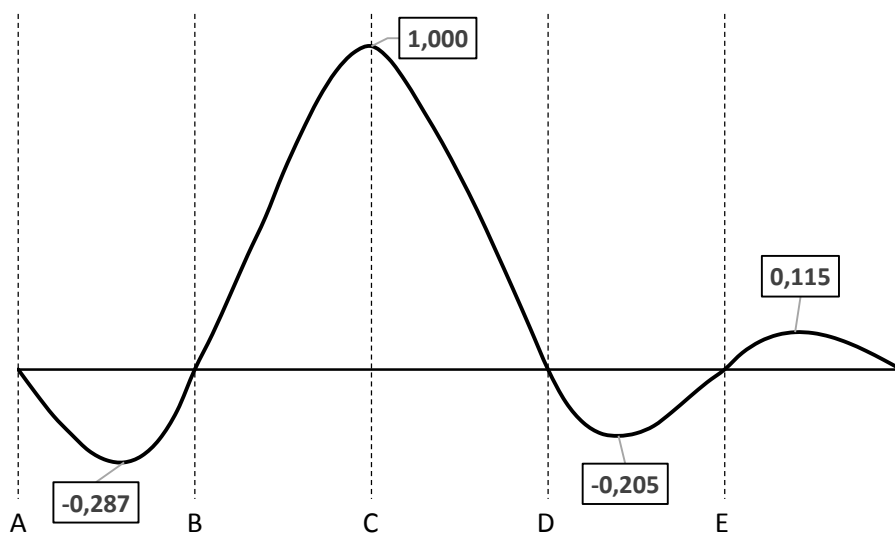
- Material: S 355
- Teilsicherheitsbeiwerte: $\gamma_{Ft} = 1,0$ $\gamma_{Mf} = 1,15$
- Überfahrten: $n_i = 1.250$ pro Jahr
- Belastung: $P_i = 250 \text{ kN} \cdot \text{Ordinate Einflusslinie}$

Profilmaße:

	h [mm]	b [mm]	t _w [mm]	t _f [mm]	r [mm]	d [mm]	I _y [cm ⁴]
IPE330	330	160	7,5	11,5	18	271	11.770
IPE400	400	180	8,6	13,5	21	331	23.130



Einflusslinie bei einem 5-Feldträger für die Auflagerkraft bei Auflager C:



gesucht:

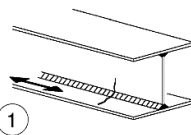
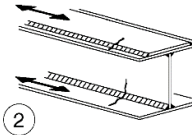




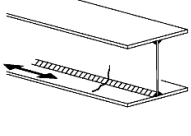
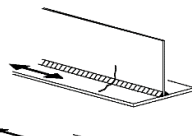




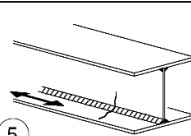
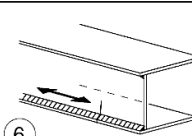





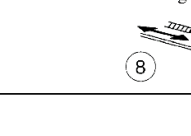
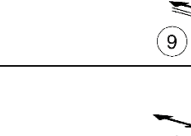

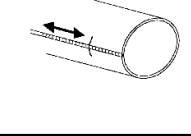






- Ermitteln Sie alle relevanten Kerbdetails für den Anschluss der Konsole an die Stütze. Benutzen Sie die Anlagen (**Anlage 3.1**, **Anlage 3.2**) als Lösungshilfe.
- Führen Sie den Ermüdungsnachweis für den Anschluss der Konsole an die Stütze für eine geplante Betriebsdauer von 40 Jahren.

Hinweise:

- Eine Auswahl möglicher Kerbfälle nach DIN EN 1993-1-9 ist in **Anlage 3.1** und **Anlage 3.2** gegeben.
- Der Ermüdungsnachweis ist mit Hilfe der Schadensakkumulationshypothese nach Palmgren-Miner zu führen.
- Es gilt die Annahme, dass Biegemomente über die Schweißnähte am Flansch und Querkräfte über die Schweißnähte am Steg abgetragen werden.

Anlage 3.1:

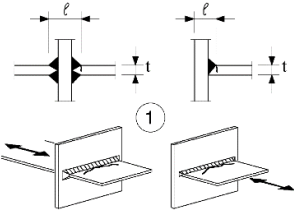


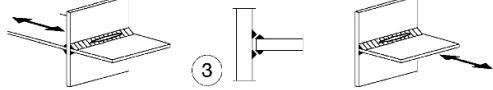
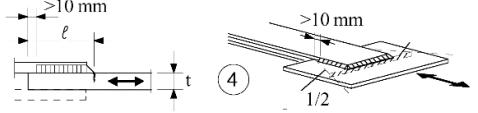
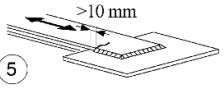
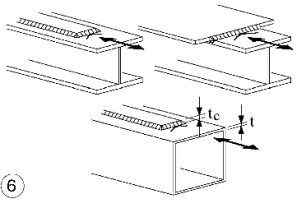
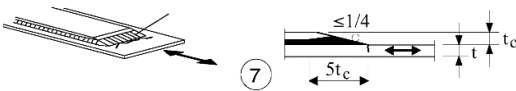
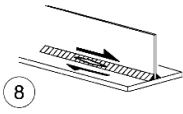
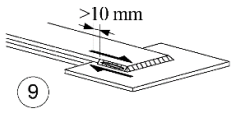
Auszug aus DIN EN 1993-1-9, Tabelle 8.2

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
125	 	<u>Durchgehende Längsnähte:</u> 1)  Mit Automaten oder voll mechanisiert  beidseitig durchgeschweißte Nähte. 2)  Mit Automaten oder voll mechanisiert geschweißte  Kehlnähte. Die Enden von aufgeschweißten Gurtplatten sind gem. Kerbfall 6) oder 7) in Tabelle 8.5 nachzuweisen.	<u>Kerbfälle 1) und 2):</u> Es dürfen keine Schweißansatzstellen vorhanden sein, ausgenommen bei Durchführung einer Reparatur mit anschließender Überprüfung der Reparaturschweißung.
112	 	3)  Mit Automaten oder voll mechanisiert geschweißte  Doppelkehlnähte oder beidseitig durchgeschweißte Nähte, beide mit Ansatzstellen. 4)  Mit Automaten oder voll mechanisiert  einseitig durchgeschweißte Naht mit nicht unterbrochener Schweißbadsicherung, aber ohne Ansatzstellen.	4) Weist dieser Kerbfall Ansatzstellen auf, ist er der Kerbgruppe 100 zuzuordnen.
100	 	5) Handgeschweißte Kehlnähte oder HV-Nähte oder DHV-Nähte. 6)  Von Hand oder mit Automaten oder voll mechanisiert  einseitig durchgeschweißte Nähte, speziell bei Hohlkästen.	5) und 6) Zwischen Flansch und Stegblech ist eine sehr gute Passgenauigkeit erforderlich. Dabei ist bei HV-Nähten das Stegblech so anzuschragen, dass die Wurzel ausreichend und ohne Herausfließen von Schweißgut erfasst werden kann.
100		7)  Ausgebesserte automaten- oder voll mechanisiert geschweißte  oder handgeschweißte Kehlnähte oder Stumpfnähte nach Kerbfall 1) bis 6).	7) Durch Nachschleifen aller sichtbaren Fehlstellen durch einen Spezialisten sowie einer entsprechenden Überprüfung kann der ursprüngliche Kerbfall wiederhergestellt werden.
80		8) Unterbrochene Längsnähte.	8) $\Delta\sigma$ wird mit der Längsspannung im Flansch berechnet.
71		9) Längsnähte, Kehlnähte oder unterbrochene Nähte mit Freischnitten (kleiner 60 mm). Bei Freischnitten > 60 mm gilt Kerbfall 1) in Tabelle 8.4.	9) $\Delta\sigma$ wird mit der Längsspannung im Flansch berechnet.
125		10) Längsbeanspruchte Stumpfnäht, beidseitig in Lastrichtung bleichen geschliffen, 100 % ZFP.	
112		10) Ohne Schleifen und ohne Ansatzstellen.	
90		10) Mit Ansatzstellen.	
140		11)  Mit Automaten oder voll mechanisiert geschweißte  Längsnaht in Hohlprofilen ohne Ansatzstellen.	11)  gestrichener Text  Wanddicke $t \leq 12,5$ mm
125		11)  Mit Automaten oder voll mechanisiert geschweißte  Längsnaht in Hohlprofilen ohne Ansatzstellen.	11) Wanddicke $t > 12,5$ mm
90		11) Mit Ansatzstellen.	

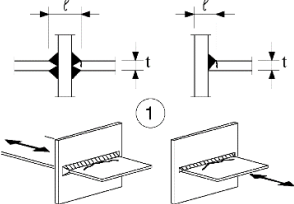
Werden die Kerbfälle 1 bis 11 mit voll mechanisierter Schweißung ausgeführt, gelten die Kerbfallkategorien für Automatischschweißung.

Anlage 3.2:

Auszug aus DIN EN 1993-1-9, Tabelle 8.5


Kerbfall	Konstruktionsdetail		Beschreibung	Anforderungen
80	$\ell < 50$	alle t	 <p>Kreuz- und T-Stöße: 1) Riss am Schweißnahtübergang in voll durchgeschweißten Stumpfnähten und allen nicht durchgeschweißten Nähten.</p>	1) Nach Prüfung frei von Diskontinuitäten und Exzentrizitäten außerhalb der Toleranzen nach EN 1090. 2) $\Delta\sigma$ ist mit korrigierten Nennspannungsschwingbreiten zu ermitteln. 3) Es sind 2 Ermüdungsnachweise erforderlich: zum einen der Nachweis gegen Riss der Schweißnahtwurzel mit Spannungen nach Abschnitt 5 mit Kerbgruppe 36* für σ_w und Kerbgruppe 80 für σ_{w1} , zum anderen der Nachweis des Nahtüberganges mit Bestimmung von $\Delta\sigma$ in den belasteten Blechen.
71	$50 < \ell \leq 80$	alle t		
63	$80 < \ell \leq 100$	alle t		
56	$100 < \ell \leq 120$	alle t		
56	$\ell > 120$	$t \leq 20$		
50	$120 < \ell \leq 200$ $\ell > 200$	$t > 20$ $20 < t \leq 30$		
45	$200 < \ell \leq 300$ $\ell > 300$	$t > 30$ $30 < t \leq 50$	2) Riss am Schweißnahtübergang, ausgehend von der Kante des Anschlussbleches, mit Spannungskonzentrationen an den Schweißnahtenden infolge Blechverformungen.	Kerbfälle 1) bis 3): Die Ausmittigkeit der belasteten Bleche muss $\leq 15\%$ der Dicke des Zwischenblechs sein.
40	$\ell > 300$	$t > 50$		
wie Kerbfall 1 in Tabelle 8.5	verformbares Anschlussblech 		3) Wurzelriss bei nicht voll durchgeschweißten T-Stößen oder Kehlnähten oder in T-Stößen nach Bild 4.6 in EN 1993-1-8:2005. 	4) Berechnung von $\Delta\sigma$ im Hauptblech mit der in der Skizze gezeigten Fläche. 5) Berechnung von $\Delta\sigma$ in den überlappenden Laschen. Kerbfälle 4) und 5): – Die Schweißnahtenden müssen ≥ 10 mm vom Blechende entfernt sein. – Ein Schubabriss in der Schweißnaht ist mit Kerbfall 8) zu überprüfen.
36*			Anschlüsse mit überlappenden Bauteilen: 4) Mit Kehlnähten geschweißte Laschenverbindung.	
wie Kerbfall 1 in Tabelle 8.5	 <p>Spannungsfläche im Hauptblech: Neigung = 1/2</p>		5) Mit Kehlnähten geschweißte Laschenverbindung.	
45*			Gurtlamellen auf Walzprofilen und geschweißten Blechträgern: 6) Endbereiche von einlagig oder mehrlagig aufgeschweißten Gurtplatten mit und ohne Stirrnaht.	
	$t_c < t$	$t_c \geq t$		6) Wenn die Lamellen breiter sind als der Flansch, ist eine Stirrnaht, die sorgfältig ausgeschliffen wird, um Einbranderkerben zu entfernen, erforderlich. Die minimale Lamellenlänge beträgt 300 mm. Für kürzere Lamellen siehe Abstufung für Kerbfall 1.
56*	$t \leq 20$	–		
50	$20 < t \leq 30$	$t \leq 20$		
45	$30 < t \leq 50$	$20 < t \leq 30$		
40	$t > 50$	$30 < t \leq 50$		
36	–	$t > 50$		
56	verstärkte Stirrnaht 		7) Gurtlamellen auf Walzprofilen und geschweißten Blechträgern. 5 t_c ist die Minillänge der Verstärkungsnaht.	7) Die Stirrnaht ist blecheben zu schleifen. Zusätzlich ist für $t_c > 20$ mm die Lamelle mit einer Neigung $\leq 1/4$ auszubilden.
80 $m=5$	 		8) Durchgehende Kehlnähte, die einen Schubfluss übertragen, wie z. B. Halskehlnähte zwischen Stegblech und Flansch bei geschweißten Blechträgern. 9) Mit Kehlnähten geschweißte Laschenverbindung.	8) $\Delta\tau$ ist auf die Schweißnahtdicke bezogen zu berechnen. 9) $\Delta\tau$ ist auf die Schweißnahtdicke bezogen unter Berücksichtigung der Gesamtlänge der Schweißnaht zu berechnen. Schweißnahtenden müssen ≥ 10 mm vom Blechende entfernt sein.

Musterlösung:
a) Ermittlung der relevanten Kerbdetails
Anschluss der Flansche an die Stütze (Schweißnaht Flansch – Stütze):
Kerbdetail 1: Riss am Schweißnahtübergang ($\ell < 50$ mm)

Kerbfall	Konstruktionsdetail		Beschreibung	Anforderungen
80	$\ell < 50$	alle t		Kreuz- und T-Stöße: 1) Riss am Schweißnahtübergang in voll durchgeschweißten Stumpfnähten und allen nicht durchgeschweißten Nähten. 2) $\Delta\sigma$ ist mit korrigierten Nennspannungsschwingbreiten zu ermitteln. 3) Es sind 2 Ermüdungsnachweise erforderlich: zum einen der Nachweis gegen Riss der Schweißnahtwurzel mit Spannungen nach Abschnitt 5 mit Kerbgruppe 36* für
71	$50 < \ell \leq 80$	alle t		
63	$80 < \ell \leq 100$	alle t		
56	$100 < \ell \leq 120$	alle t		
56	$\ell > 120$	$t \leq 20$		
50	$120 < \ell \leq 200$ $\ell > 200$	$t > 20$ $20 < t \leq 30$		
45	$200 < \ell \leq 300$ $\ell > 300$	$t > 30$ $30 < t \leq 50$		
40	$\ell > 300$	$t > 50$		

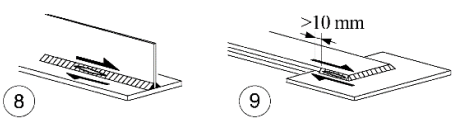
⇒ Kerbfall 80 (Längsspannungen)

Kerbdetail 2: Wurzelriss

36*		AC 3) Wurzelriss bei nicht voll durchgeschweißten T-Stößen oder Kehlnähten oder in T-Stößen nach Bild 4.6 in EN 1993-1-8:2005. AC	Zwischenblechs sein.
-----	---	---	----------------------

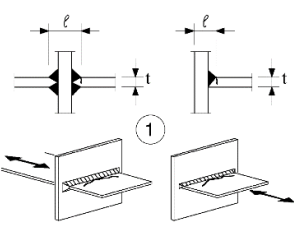
⇒ Kerbfall 36* (Längsspannungen)

Anschluss des Steges an die Stütze (Schweißnaht Steg – Stütze):
Kerbdetail 3: Schubspannungen in Schweißnaht

80 $m=5$		8) Durchgehende Kehlnähte, die einen Schubfluss übertragen, wie z. B. Halskehlnähte zwischen Stegblech und Flansch bei geschweißten Blechträgern. 9) Mit Kehlnähten geschweißte Laschenverbindung.	8) $\Delta\tau$ ist auf die Schweißnahtdicke bezogen zu berechnen. 9) $\Delta\tau$ ist auf die Schweißnahtdicke bezogen unter Berücksichtigung der Gesamtlänge der Schweißnaht zu berechnen. Schweißnahtenden müssen ≥ 10 mm vom Blechende entfernt sein.
-------------	---	---	---

⇒ Kerbfall 80 (Schubspannungen)

b) Ermüdungsnachweis für den Anschluss der Konsole an die Stütze
**Ermüdungsnachweis Kerbdetail 1: Riss am Schweißnahtübergang
(Längsspannungen)**

Kerbfall	Konstruktionsdetail		Beschreibung	Anforderungen
80	$\ell < 50$	alle t		Kreuz- und T-Stöße: 1) Riss am Schweißnahtübergang in voll durchgeschweißten Stumpfnähten und allen nicht durchgeschweißten Nähten. 2) $\Delta\sigma$ ist mit korrigierten Nennspannungsschwingbreiten zu ermitteln. 3) Es sind 2 Ermüdungsnachweise erforderlich: zum einen der Nachweis gegen Riss der Schweißnahtwurzel mit Spannungen nach Abschnitt 5 mit Kerbgruppe 36* für
71	$50 < \ell \leq 80$	alle t		
63	$80 < \ell \leq 100$	alle t		
56	$100 < \ell \leq 120$	alle t		
56	$\ell > 120$	$t \leq 20$		
50	$120 < \ell \leq 200$ $\ell > 200$	$t > 20$ $20 < t \leq 30$		
45	$200 < \ell \leq 300$ $\ell > 300$	$t > 30$ $30 < t \leq 50$		
40	$\ell > 300$	$t > 50$		

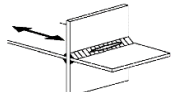

Kerbfall 80

$$\Delta\sigma_c = \frac{80 \text{ N/mm}^2}{1,15} = 69,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_D = \Delta\sigma_c \cdot \sqrt[m]{\frac{N_c}{N_D}} = 69,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 10^6}{5 \cdot 10^6}} = 51,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_L = \Delta\sigma_D \cdot \sqrt[m]{\frac{N_D}{N_L}} = 51,3 \cdot \sqrt[5]{\frac{5 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^8}} = 28,2 \text{ N/mm}^2$$

Ermüdungsnachweis Kerbdetail 2: Wurzelriss

36*		AC 3) Wurzelriss bei nicht voll durchgeschweißten T-Stößen oder Kehlnähten oder in T-Stößen nach Bild 4.6 in EN 1993-1-8:2005. 	Zwischenblechs sein.
-----	---	---	----------------------

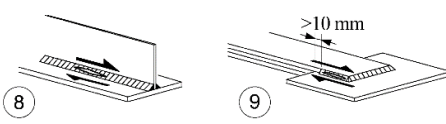
Kerbfall 36*

$$\Delta\sigma_c = \frac{36 \text{ N/mm}^2}{1,15} = 31,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_D = \Delta\sigma_c \cdot \sqrt[m]{\frac{N_c}{N_D}} = 31,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 10^6}{5 \cdot 10^6}} = 23,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_L = \Delta\sigma_D \cdot \sqrt[m]{\frac{N_D}{N_L}} = 23,1 \cdot \sqrt[5]{\frac{5 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^8}} = 12,7 \text{ N/mm}^2$$

Ermüdungsnachweis Kerbdetail 3: Schubspannungen in Schweißnaht

80 $m=5$		8) Durchgehende Kehlnähte, die einen Schubfluss übertragen, wie z. B. Halskehlnähte zwischen Stegblech und Flansch bei geschweißten Blechträgern. 9) Mit Kehlnähten geschweißte Laschenverbindung.	8) $\Delta \tau$ ist auf die Schweißnahtdicke bezogen zu berechnen. 9) $\Delta \tau$ ist auf die Schweißnahtdicke bezogen unter Berücksichtigung der Gesamtlänge der Schweißnaht zu berechnen. Schweißnahtenden müssen ≥ 10 mm vom Blechende entfernt sein.
-------------	---	---	---

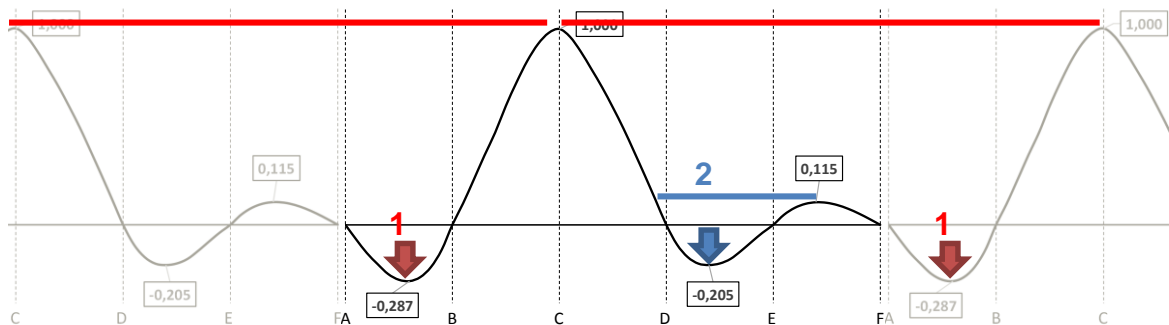
Kerbfall 80

$$\Delta \tau_c = \frac{80 \text{ N/mm}^2}{1,15} = 69,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta \tau_L = \Delta \tau_c \cdot \sqrt[m]{\frac{N_C}{N_L}} = 69,6 \cdot \sqrt[5]{\frac{2 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^8}} = 31,8 \text{ N/mm}^2$$

Spannungsschwingbreiten und zul. Schwingspiele

Schwingbreiten Einflusslinie:



$$1. \Delta EL_1 = 1,000 + 0,287 = 1,287$$

$$2. \Delta EL_2 = 0,115 + 0,205 = 0,320$$

Spannungsschwingbreiten Schweißnahtübergang:

$$\Delta M_i = \Delta EL_i \cdot 250 \text{ kN} \cdot 17 \text{ cm} = \Delta EL_i \cdot 4.250 \text{ kNcm}$$

$$\Delta \sigma_i = \frac{\Delta M_i}{W_{\text{Konsole}}} = \frac{\Delta M_i}{I_{yy, IPE330}} \cdot \frac{h_{IPE330}}{2} = \frac{\Delta EL_i \cdot 4.250 \text{ kNcm}}{11.770 \text{ cm}^4} \cdot \frac{33 \text{ cm}}{2} = \Delta EL_i \cdot 5,958 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Spannungsschwingbreiten Wurzelriss:

$$\Delta M_i = \Delta E L_i \cdot 250 \text{ kN} \cdot 17 \text{ cm} = \Delta E L_i \cdot 4.250 \text{ kNcm}$$

Annahme: das Biegemoment wird vollständig über die Schweißnähte der Flansche übertragen.

$$\begin{aligned} I_{yy,a,f} &= 2 \cdot b_{F,IPE330} \cdot a_{w,F} \cdot \left(\frac{h_{IPE330}}{2} \right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{b_{F,IPE330} - 2 \cdot r_{IPE330} - t_{w,IPE330}}{2} \right) \cdot a_{w,F} \\ &\quad \cdot \left(\frac{h_{IPE330} - 2 \cdot t_{f,IPE330}}{2} \right)^2 \\ &= 2 \cdot 16 \cdot 0,6 \cdot \left(\frac{33}{2} \right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{16 - 2 \cdot 1,8 - 0,75}{2} \right) \cdot 0,6 \cdot \left(\frac{33 - 2 \cdot 1,15}{2} \right)^2 = 8.521,2 \text{ cm}^4 \\ \Delta \sigma_i &= \frac{\Delta M_i}{W_{a,f}} = \frac{\Delta M_i}{I_{yy,a,f}} \cdot \frac{h_{IPE330}}{2} = \frac{\Delta E L_i \cdot 4.250 \text{ kNcm}}{8.521,2 \text{ cm}^4} \cdot \frac{33 \text{ cm}}{2} = \Delta E L_i \cdot 8,229 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \end{aligned}$$

Spannungsschwingbreiten Stegnaht:

$$\Delta V_i = \Delta E L_i \cdot 250 \text{ kN}$$

$$\Delta \tau_i = \frac{\Delta V_i}{2 \cdot a_w \cdot d_{IPE330}} = \frac{\Delta E L_i \cdot 250 \text{ kN}}{2 \cdot 0,4 \cdot 27,1} = \Delta E L_i \cdot 11,531 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Ermüdungsnachweis Kerbdetail 1: Riss am Schweißnahtübergang
(Längsspannungen)

$$\Delta \sigma_D = 5,13 \text{ kN/mm}^2$$

$$\Delta \sigma_L = 2,82 \text{ kN/mm}^2$$

$$\Delta \sigma_1 = \Delta E L_1 \cdot 5,958 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1,287 \cdot 5,958 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 7,67 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > \Delta \sigma_D \Rightarrow m = 3$$

$$\Delta \sigma_1 = \Delta E L_2 \cdot 5,958 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,320 \cdot 5,958 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1,91 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \Delta \sigma_L \Rightarrow m = -$$

Ermüdungsnachweis Kerbdetail 2: Wurzelriss
(Längsspannungen)

$$\Delta \sigma_D = 2,31 \text{ kN/mm}^2$$

$$\Delta \sigma_L = 1,27 \text{ kN/mm}^2$$

$$\Delta \sigma_1 = \Delta E L_1 \cdot 8,229 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1,287 \cdot 8,229 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 10,59 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > \Delta \sigma_D \Rightarrow m = 3$$

$$\Delta \sigma_1 = \Delta E L_2 \cdot 8,229 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,320 \cdot 8,229 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 2,63 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > \Delta \sigma_D \Rightarrow m = 3$$

Ermüdungsnachweis Kerbdetail 3: Schubspannungen in Schweißnaht
(Schubspannungen)

$$\Delta\tau_L = 3,18 \text{ kN/mm}^2$$

$$\Delta\tau_1 = \Delta E L_i \cdot 11,531 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1,287 \cdot 11,531 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 14,84 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > \Delta\tau_L \Rightarrow m = 5$$

$$\Delta\tau_1 = \Delta E L_i \cdot 11,531 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,320 \cdot 11,531 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 3,69 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > \Delta\tau_L \Rightarrow m = 5$$

Ermittlung der zulässigen Lastspiele:

Kerbdetail 1: $\Delta\sigma_D = 5,13 \text{ kN/mm}^2$

$$N_{1,1} = N_D \cdot \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_i} \right)^m = 5 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{5,13}{7,67} \right)^3 = 1.496.015 \text{ LW}$$

Kerbdetail 2: $\Delta\sigma_D = 2,31 \text{ kN/mm}^2$

$$N_{2,1} = N_D \cdot \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_i} \right)^m = 5 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{2,31}{10,59} \right)^3 = 51.894 \text{ LW}$$

$$N_{2,2} = N_D \cdot \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_i} \right)^m = 5 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{2,31}{2,63} \right)^3 = 3.387.963 \text{ LW}$$

Kerbdetail 3: $\Delta\tau_L = 3,18 \text{ kN/mm}^2$

$$N_{3,1} = N_L \cdot \left(\frac{\Delta\tau_L}{\Delta\tau_i} \right)^5 = 1 \cdot 10^8 \cdot \left(\frac{3,18}{14,84} \right)^5 = 45.182 \text{ LW}$$

$$N_{3,2} = N_L \cdot \left(\frac{\Delta\tau_L}{\Delta\tau_i} \right)^5 = 1 \cdot 10^8 \cdot \left(\frac{3,18}{3,69} \right)^5 = 47.553.935 \text{ LW}$$

Zusammenfassung Spannungsschwingbreiten Anschluss

Anschluss	n _i	Δσ _i , Δτ _i [N/mm ²]	m	N _i
Detail 1	1	7,67	3	1.496.015
	1	1,91	-	-
Detail 2	1	10,59	3	51.894
	1	2,63	3	3.387.963
Detail 3	1	14,84	5	45.182
	1	3,69	5	47.553.935

Lastspielzahl:

$$n_{vorh} = 1.250 \cdot 40 = 50.000$$

Ermüdungsnachweise:

Schweißnahtübergang (Kerbdetail 1):

$$D = \sum_i \left(\frac{n_i}{N_i} \right)_\sigma = \frac{50.000}{1.496.015} = 0,03 \leq 1,0$$

⇒ Nachweis eingehalten!

Wurzelriss (Kerbdetail 2):

$$D = \sum_i \left(\frac{n_i}{N_i} \right)_\sigma = \frac{50.000}{51.894} + \frac{50.000}{3.387.963} = 0,98 \leq 1,0$$

⇒ Nachweis eingehalten!

Stegnaht (Kerbdetail 3):

$$D = \sum_i \left(\frac{n_i}{N_i} \right)_\tau = \frac{50.000}{45.182} + \frac{50.000}{47.553.935} = 1,11 > 1,0$$

⇒ Nachweis nicht eingehalten!