

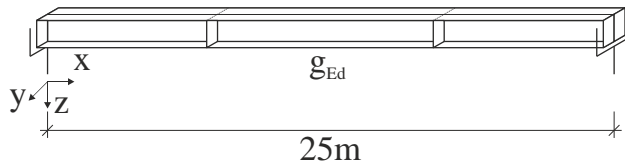
**Aufgabe 1**

**20 Punkte**

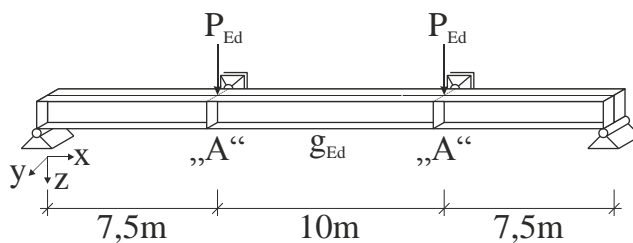
**gegeben:**

Statisches System gemäß Skizze / Profilkennwerte:

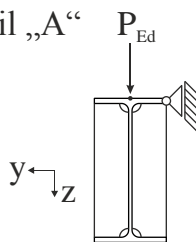
Transportsituation (a)



Einbausituation (b)



Detail „A“



Profilkennwerte IPE 300:

$$I_{zz} = 603,78 \text{ cm}^4$$

$$I_w = 126.332 \text{ cm}^6$$

$$I_T = 19,87 \text{ cm}^4$$

$$W_y = 557,07 \text{ cm}^3$$

Belastung „Transportsituation“ (a):

$$g_{Ed} = 0,4 \text{ kN/m}$$

Belastung „Einbausituation“ (b):

$$g_{Ed} = 0,4 \text{ kN/m}$$

$$P_{Ed} = x \text{ kN}$$

Profil: IPE 300

Material: S 235

**gesucht:**

- a) Das Profil soll stehend (wie dargestellt) zur Baustelle transportiert werden. Überprüfen Sie, ob dies ohne weitere Transportsicherung möglich ist. Führen Sie hierzu den Biegedrillknicknachweis unter Zuhilfenahme von **Anlage 1.1**.
- b) Ermitteln Sie für die Einbausituation die maximal aufnehmbare Last  $P_{Ed}$ . Führen Sie hierzu den Biegedrillknicknachweis unter Zuhilfenahme von **Anlage 1.2**.

**Hinweise (informativ):**

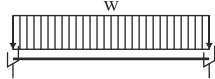
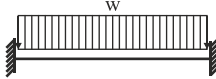


Das zu transportierende Profil (Aufgabenteil a) wird durch eine Gabellagerung an beiden Enden gehalten.

Das eingebaute Profil ist an den Enden nicht gabelgelagert; die Verdrehmöglichkeit um die z-Achse ist behindert.

**Anlage 1.1 (zu Aufgabenteil a):**

Ermittlung des bezogenen kritischen Biegedrillknickmomentes

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{l_{LT}^2} \cdot \left[ \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + 0,039 \cdot \frac{l_{LT}^2 \cdot I_T}{I_z}} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right]$$

	1	2
Belastung und Auflagerbedingungen		
Biegemomentenverlauf		
Fall	Beiwert C <sub>1</sub>	Beiwert C <sub>2</sub>
1	1,12	0,45
2	2,58	1,57

**Anlage 1.2 (zu Aufgabenteil b):**

Bezogenes kritisches Biegedrillknickmoment gegeben:

$$M_{cr} = 75,248[kNm]$$

**Musterlösung:**
**a) Biegedrillknicknachweis unter Eigengewicht**

Nachweis zu führen nach DIN EN 1993-1-1, Kapitel 6.3.2

Ermittlung der maßgebenden Schnittgrößen:

$$M_{Ed} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{0,4[kN/m] \cdot 25^2[m^2]}{8} = 31,25[kNm]$$

Ermittlung des bezogenen kritischen Biegedrillknickmomentes:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{l_{LT}^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + 0,039 \cdot \frac{l_{LT}^2 \cdot I_T}{I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$= 1,12 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21.000 \cdot 603,78}{2.500^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot \frac{126.332,3}{603,78} + 0,039 \cdot \frac{2.500^2 \cdot 19,87}{603,78} + (0)^2} - 0 \right]$$

$$= 20,35[kNm]$$

Ermittlung des Schlankheitsgrades:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{557,07[cm^3] \cdot 23,5[kN/cm^2]}{2035[kNcm]}} = 2,537[-]$$

**Alternative 1: Vorgehen nach Variante für „gewalzte oder gleichartige geschweißte Querschnitte“:**

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken:

Knicklinie: gewalztes Profil,  $h/b = 30/15 = 2 \Rightarrow$  Knicklinie b

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

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

$$= 0,5[1 + 0,34(2,537 - 0,4) + 0,75 \cdot 2,537^2] = 3,277[-]$$

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{3,277 + \sqrt{3,277^2 - 0,75 \cdot 2,537^2}} = 0,175[-]$$

Ermittlung des Bemessungswertes der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,175 \cdot 557,07[cm^3] \cdot \frac{23,5[kN/cm^2]}{1,1} = 20,85[kNm]$$

Nachweis:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{31,25[kNm]}{20,85[kNm]} = 1,50 > 1$$

Nachweis nicht erbracht!

### **Alternative 2: Vorgehen nach Variante für den „Allgemeinen Fall“:**

#### Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken:

Knicklinie: gewalztes Profil,  $h/b = 30/15 = 2 \Rightarrow$  Knicklinie a

Imperfektionsbeiwert:  $\alpha_{LT} = 0,21[-]$

$$\begin{aligned}\Phi_{LT} &= 0,5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] \\ &= 0,5[1 + 0,21(2,537 - 0,2) + 2,537^2] = 3,964[-]\end{aligned}$$

#### Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{3,964 + \sqrt{3,964^2 - 2,537^2}} = 0,143[-]$$

#### Ermittlung des Bemessungswertes der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,143 \cdot 557,07[cm^3] \cdot \frac{23,5[kN/cm^2]}{1,1} = 16,98[kNm]$$

Nachweis:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{31,25[kNm]}{16,98[kNm]} = 1,84 > 1$$

Nachweis nicht erbracht!

Der Träger sollte somit beim Transport nicht um die starke Achse belastet, sondern (wenn möglich) um 90° gedreht werden.

**b) Maximale Auflast**

Nachweis zu führen nach DIN EN 1993-1-1, Kapitel 6.3.2

Bezogenes kritisches Biegedrillknickmoment:

$$M_{cr} = 75,248[kNm]$$

Ermittlung des Schlankheitsgrades:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{557,07[cm^3] \cdot 23,5[kN/cm^2]}{7524,8[kNcm]}} = 1,319[-]$$

**Alternative 1: Vorgehen nach Variante für „gewalzte oder gleichartige geschweißte Querschnitte“:**

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken:

Knicklinie: gewalztes Profil,  $h/b = 30/15 = 2 \Rightarrow$  Knicklinie b

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

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

$$= 0,5[1 + 0,34(1,319 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,319^2] = 1,309[-]$$

Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,309 + \sqrt{1,309^2 - 0,75 \cdot 1,319^2}} = 0,514[-]$$

Ermittlung des Bemessungswertes der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,514 \cdot 557,07[cm^3] \cdot \frac{23,5[kN/cm^2]}{1,1} = 61,12[kNm]$$

Nachweis:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \Rightarrow M_{Ed} = M_{b,Rd}$$

Ermittlung der maßgebenden Schnittgrößen:

$$M_{Ed} = \frac{q \cdot l^2}{8} + P \cdot 0,3 \cdot l = 31,25[kNm] + P \cdot 0,3 \cdot 25 \stackrel{\text{def}}{=} 61,12[kNm] \Rightarrow P = 3,98[kN]$$

Die maximal aufzubringende Bemessungslast beträgt  $P = 3,98[kN]$ .

**Alternative 2: Vorgehen nach Variante für den „Allgemeinen Fall“:****Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken:**

Knicklinie: gewalztes Profil,  $h/b = 30/15 = 2 \Rightarrow$  Knicklinie a

Imperfektionsbeiwert:  $\alpha_{LT} = 0,21[-]$

$$\Phi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$
$$= 0,5[1 + 0,21(1,319 - 0,2) + 1,319^2] = 1,487[-]$$

**Ermittlung des Abminderungsfaktors für Biegedrillknicken:**

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,487 + \sqrt{1,487^2 - 1,319^2}} = 0,460[-]$$

**Ermittlung des Bemessungswertes der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit:**

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,460 \cdot 557,07[cm^3] \cdot \frac{23,5[kN/cm^2]}{1,1} = 54,72[kNm]$$

Nachweis:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \Rightarrow M_{Ed} = M_{b,Rd}$$

**Ermittlung der maßgebenden Schnittgrößen:**

$$M_{Ed} = \frac{q \cdot l^2}{8} + P \cdot 0,3 \cdot l = 31,25[kNm] + P \cdot 0,3 \cdot 25 \stackrel{\text{def}}{=} 54,72[kNm] \Rightarrow P = 3,13[kN]$$

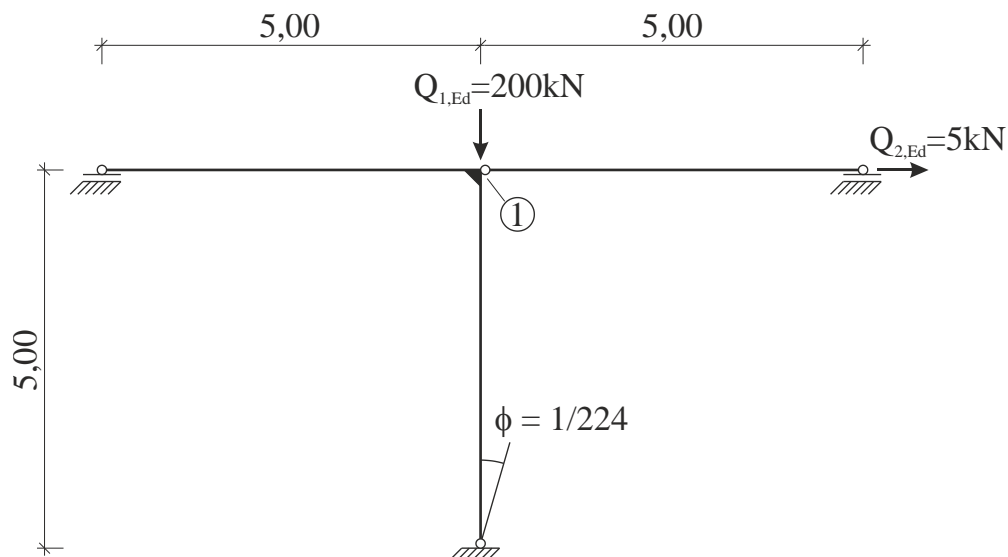
Die maximal aufzubringende Bemessungslast beträgt  $P = 3,13[kN]$ .

**Aufgabe 2**

**20 Punkte**

**gegeben:**

Statisches System gemäß Skizze / Profilkennwerte:



Profilkennwerte (Stütze / Riegel):

HEA 200:  $I_{yy} = 3690 \text{ cm}^4$

Material: S 235

**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. Tragen Sie die ermittelten Ersatzlasten in **Anlage 2.1** ein.
- Ermitteln Sie die Schnittgrößenverläufe ( $M^I$ ,  $N^I$ ) nach Theorie 1. Ordnung, resultierend aus äußeren Lasten und Anfangsschiefstellung (d.h. System aus Anlage 2.1). Tragen Sie die Schnittgrößenverläufe in **Anlage 2.2** ein.
- Zeichnen Sie die Verformungsfigur (qualitativ); nutzen Sie hierzu **Anlage 2.3**. 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).



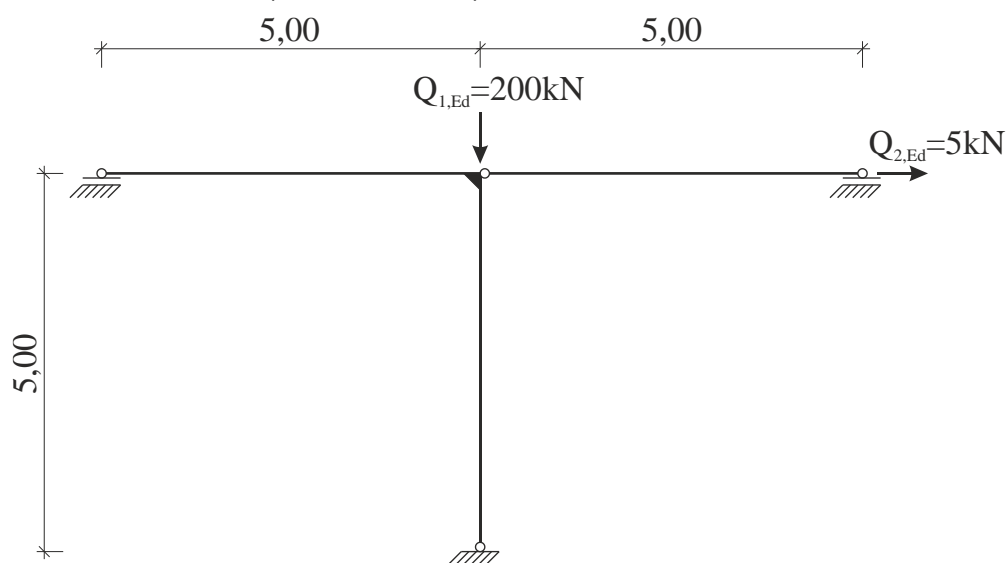
**Hinweise:**

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

Die Profile werden alle um ihre starke Achse belastet.

**Anlage 2.1 (zu Aufgabenteil a):**

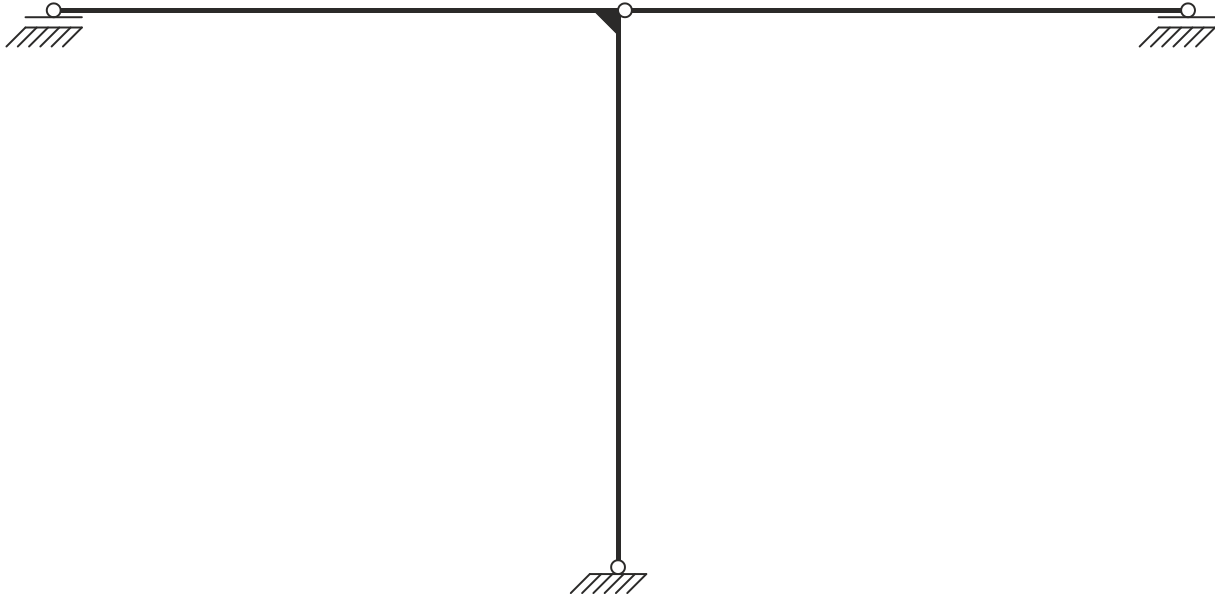
Äquivalente Ersatzlasten (Abtriebskräfte):



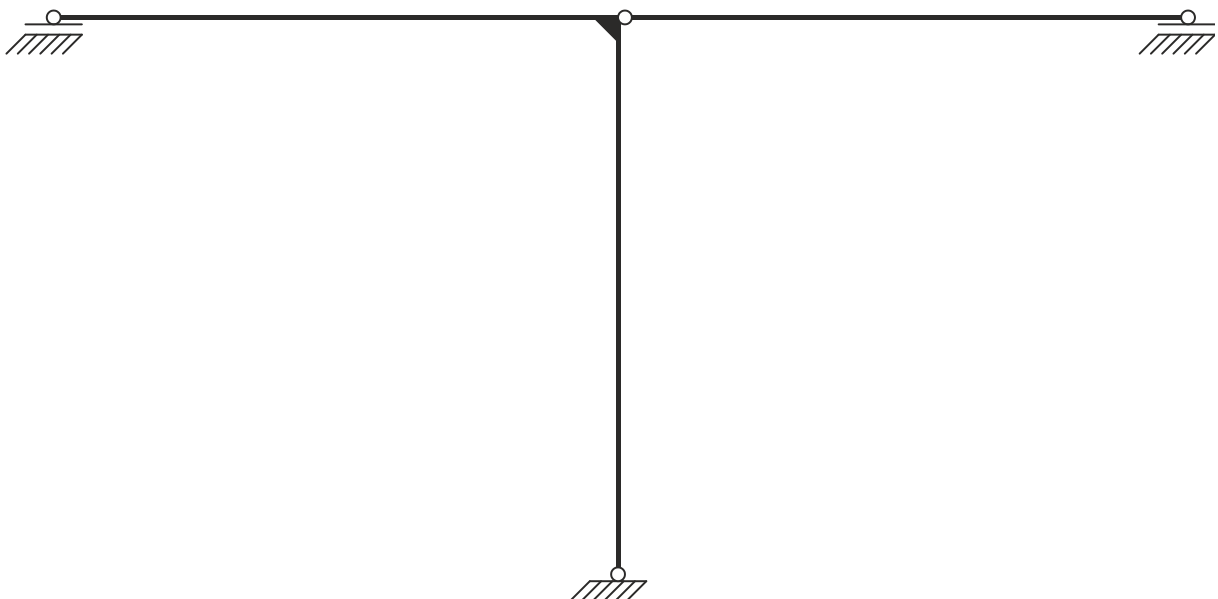
**Anlage 2.2 (zu Aufgabenteil b):**

Schnittgrößenverläufe nach Theorie 1. Ordnung:

$N^I$



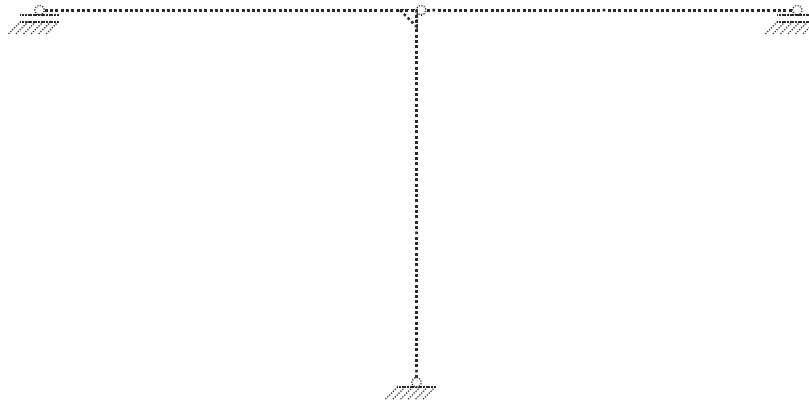
$M^I$



---

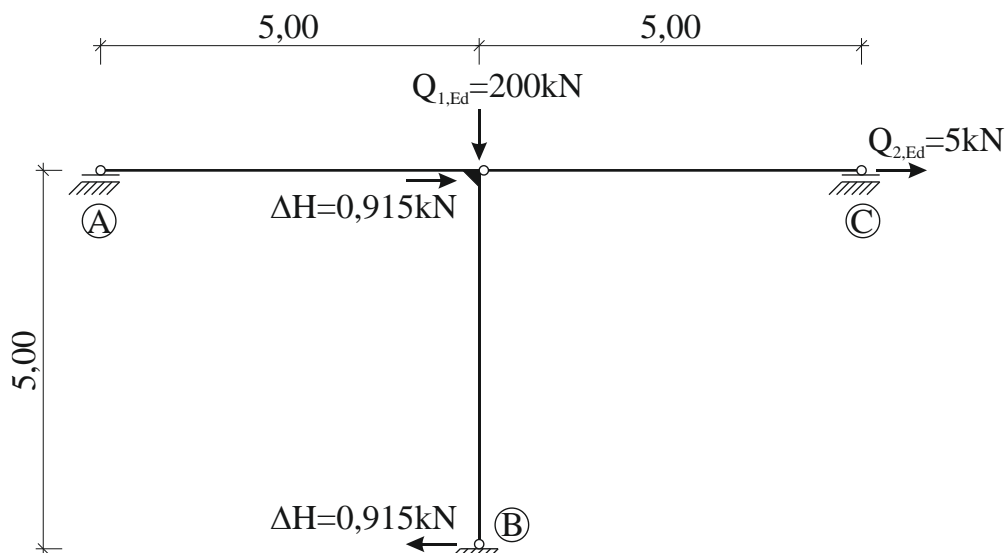
**Anlage 2.3 (zu Aufgabenteil c):**

Verformungsfigur:



**Musterlösung:**
**a) Abtriebskräfte / Ersatzlasten**

$$\Delta H = N \cdot \left( \frac{\delta}{L} + \phi \right) = 205[kN] \cdot \frac{1}{224} = 0,915[kN]$$

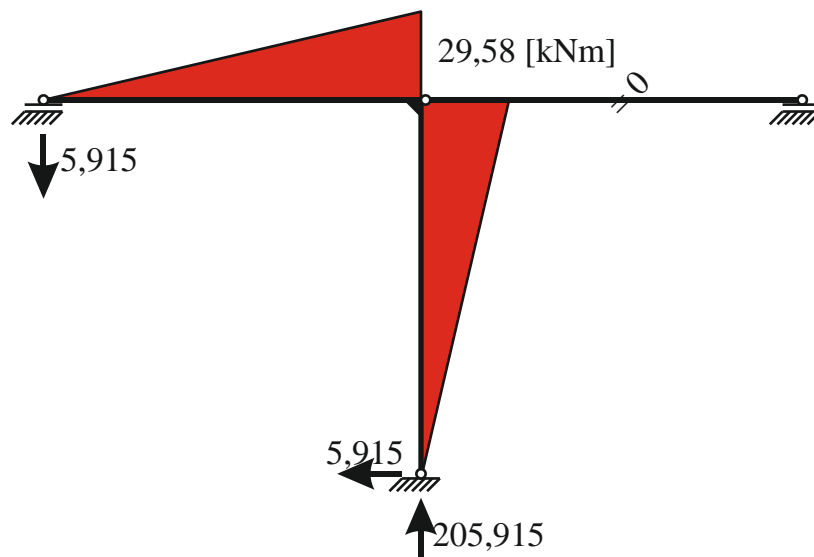

**b) Schnittgrößenverläufe ( $M^I$ ,  $N^I$ ) nach Theorie 1. Ordnung**

Rechtes Teilsystem: Pendelstab, lediglich Normalkraft vorhanden  $\Rightarrow V_C = 0$

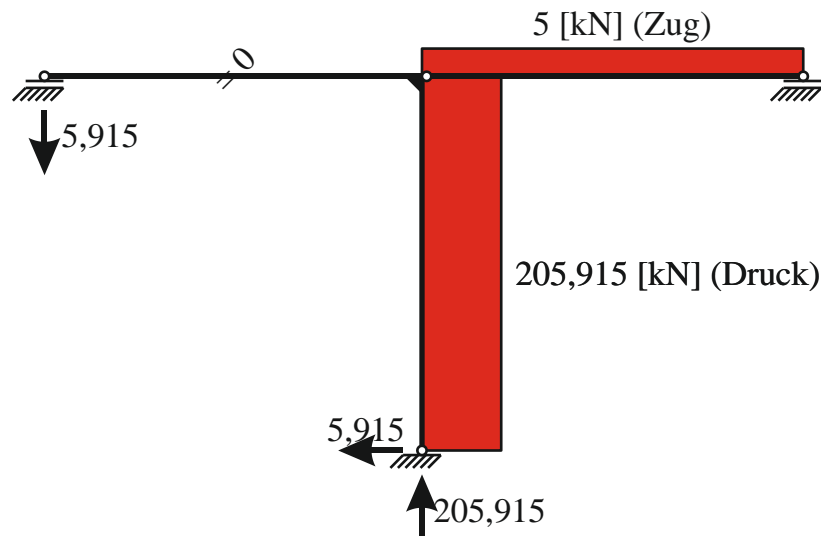
$$\sum M_B = 0 \Rightarrow V_A \cdot 5[m] + 0,915[kN] \cdot 5[m] + 5[kN] \cdot 5[m] = 0 \Rightarrow V_A = -5,915[kN]$$

$$\sum F_h = 0 \Rightarrow H_B = 5,915[kN] \quad \sum F_v = 0 \Rightarrow V_B = 5,915[kN] + 200[kN] = 205,915[kN]$$

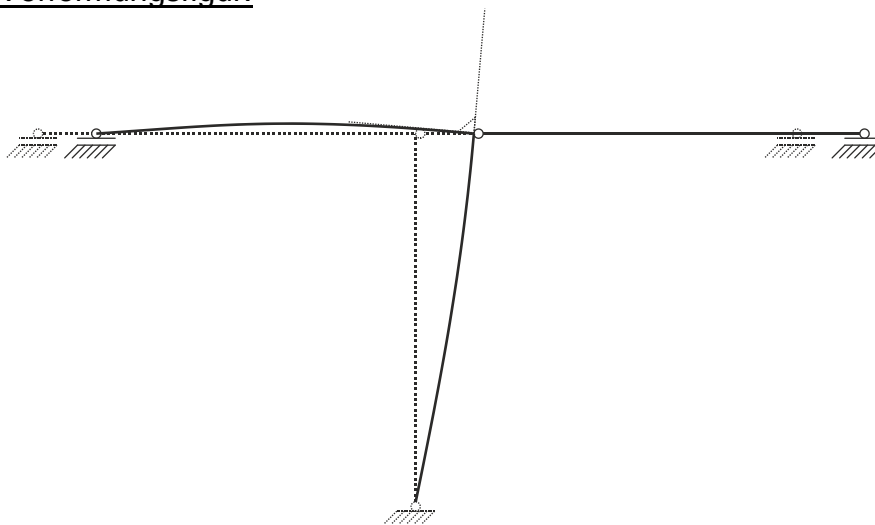
Momentenverlauf nach Theorie 1. Ordnung:



Normalkraftverlauf nach Theorie 1. Ordnung:

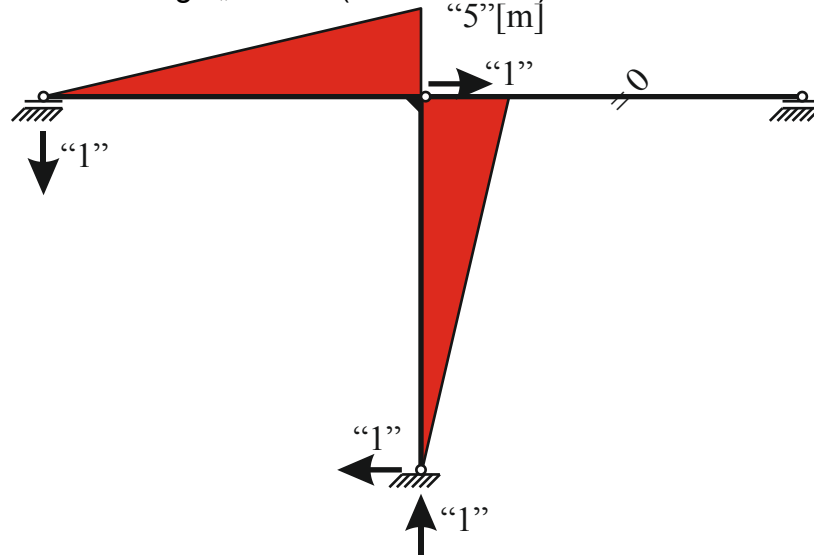


**c) Verformungsfigur / Verformungen:**  
Skizze der Verformungsfigur:



Ermittlung der Verformung in der Rahmenecke:

Schnittgrößenverlauf infolge „1“-Last (Rahmenecke):



$$\delta_{10} = \frac{1}{21.000[kN/cm^2] \cdot 3.690[cm^4]} \cdot 2 \cdot \left[ \frac{1}{3} \cdot 500[cm] \cdot 2.958[kNcm] \cdot 500[cm] \right]$$

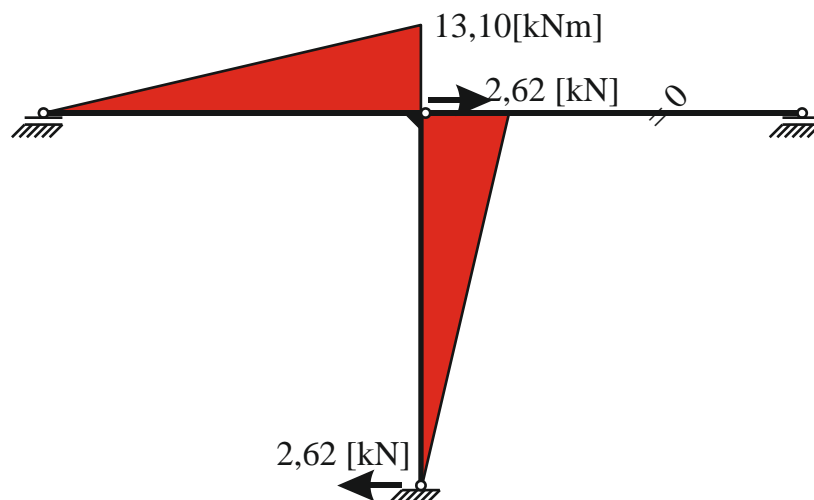
$$= 6,36[cm]$$

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

Abtriebskräfte durch Verformung im Punkt ① (Rahmenecke):

$$\Delta H = N \cdot \left( \frac{\delta}{L} + \phi \right) = 205,915[kN] \cdot \frac{6,36[cm]}{500[cm]} = 2,62[kN]$$

Momentenzuwachs  $\Delta M_I$ :



Moment in der Rahmenecke nach Theorie 2. Ordnung:

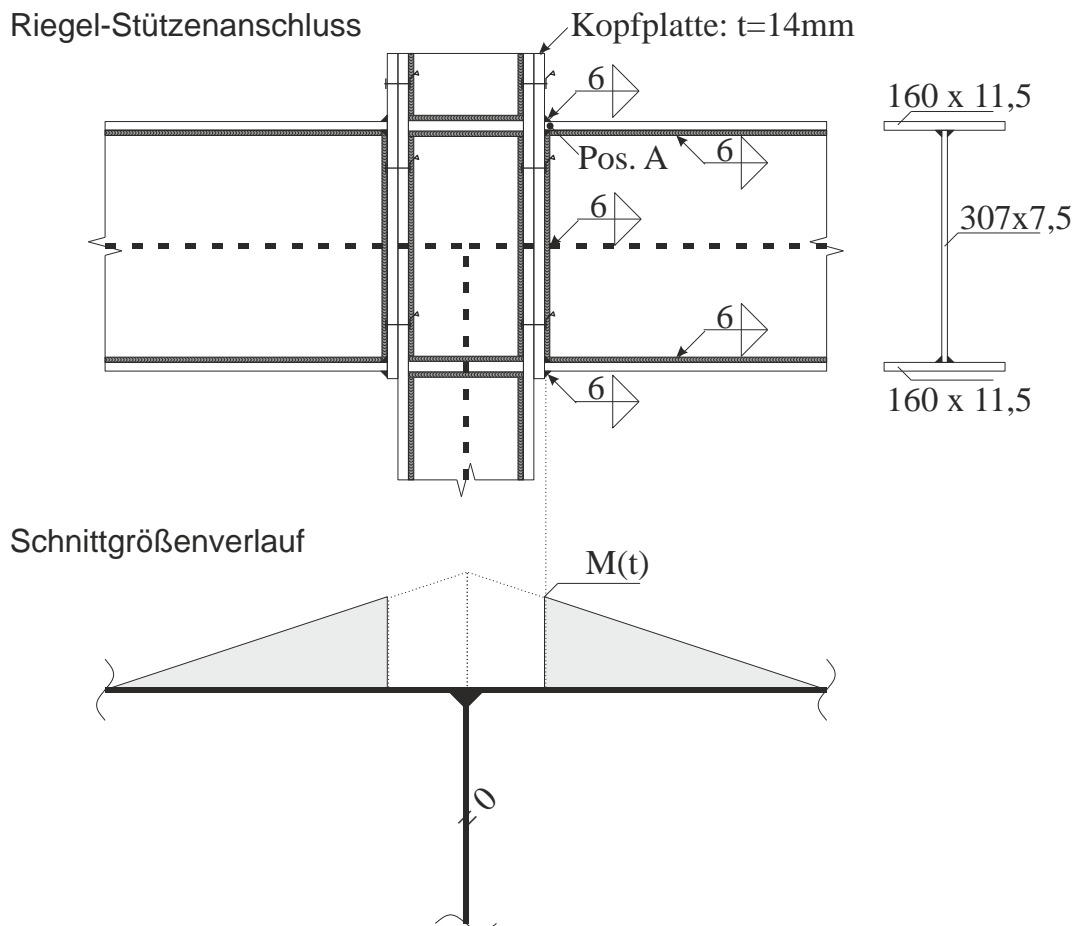
$$M^{II} = \frac{M^I}{1 - \Delta M_I / M^I} = \frac{29,58[kNm]}{1 - 13,10[kNm] / 29,58[kNm]} = 53,10[kNm]$$

**Aufgabe 3**

**20 Punkte**

**gegeben:**

Riegel-Stützenanschluss mit zyklischer Momentenbeanspruchung:



Schnittgröße  $M(t)$ : Momenten-Zeitverlauf gegeben in **Anlage 3.1**

Material: S 235

Lastzyklen: 165.000

Teilsicherheitsbeiwerte:  $\gamma_{Mf} = 1,0$   $\gamma_{Ff} = 1,0$

**gesucht:**

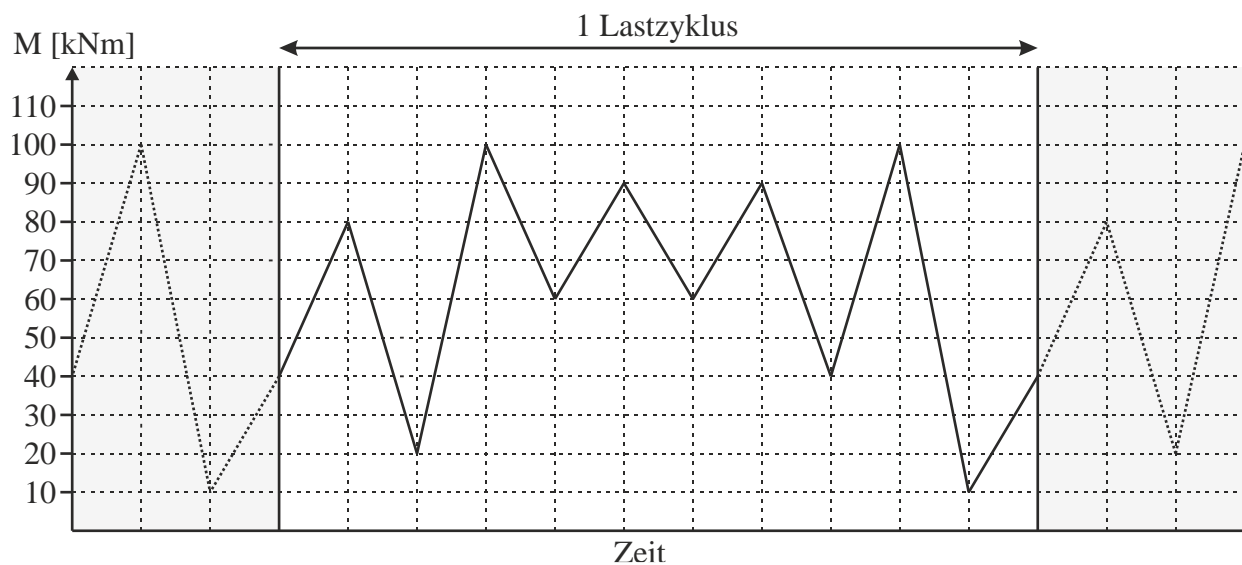
- Ermitteln Sie das Spannungskollektiv im Obergurt des Riegels (Schweißnahtübergang des Kopfplattenanschlusses, Pos. A) für einen Lastzyklus, basierend auf dem gegebenen Momenten-Zeitverlauf (**Anlage 3.1**).
- Führen Sie den Ermüdungsnachweis für den Schweißnahtübergang des Kopfplattenanschlusses (Pos. A) mit Hilfe der Schadensakkumulation nach Palmgren-Miner. Nutzen Sie zur Klassifizierung des Kerbfalls die **Anlage 3.2**.

**Hinweise:**

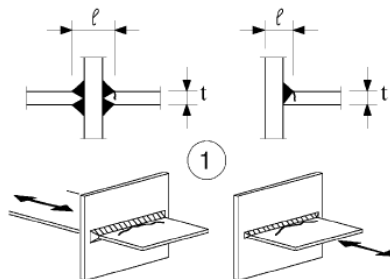
Die Ermittlung der Spannungskollektive soll nach der Reservoir-Methode erfolgen.

Es darf davon ausgegangen werden, dass die Anforderungen in den Kerbfalltabellen eingehalten sind.

Gehen Sie davon aus, dass die Momente ausschließlich über die Flansche abgetragen werden.

**Anlage 3.1 (zu Aufgabenteil a):**

**Anlage 3.2 (zu Aufgabenteil b):**

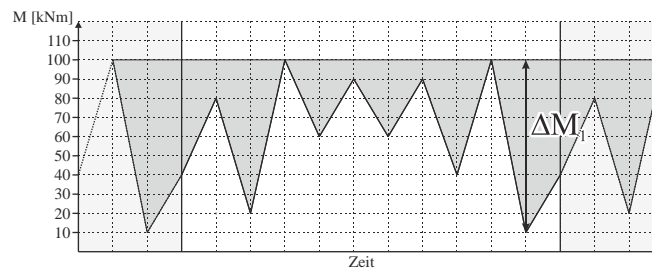
Kerbfall	Konstruktionsdetail		Beschreibung
80	$\ell < 50$	alle $t$	<b>Kreuz- und T-Stöße:</b> 1) Riss am Schweißnahtübergang in voll durchgeschweißten Stumpfnähten und allen nicht durchgeschweißten Nähten.
71	$50 < \ell \leq 80$	alle $t$	
63	$80 < \ell \leq 100$	alle $t$	
56	$100 < \ell \leq 120$	alle $t$	
56	$\ell > 120$	$t \leq 20$	
50	$120 < \ell \leq 200$	$t > 20$	
	$\ell > 200$	$20 < t \leq 30$	
45	$200 < \ell \leq 300$	$t > 30$	
	$\ell > 300$	$30 < t \leq 50$	
40	$\ell > 300$	$t > 50$	



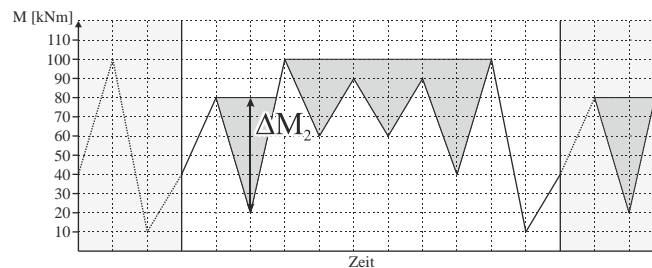


**Musterlösung:**
**a) Spannungskollektiv**

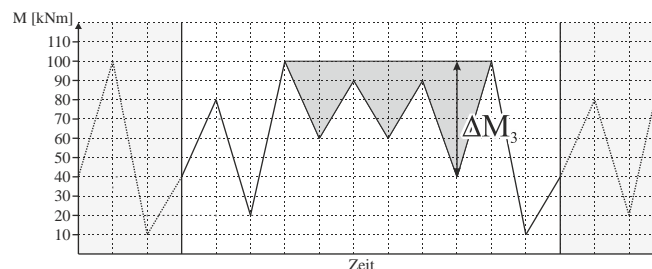
Das Spannungskollektiv wird mit Hilfe der Reservoir-Methode ermittelt. Hierzu werden zunächst die Momentenschwingbreiten bestimmt:



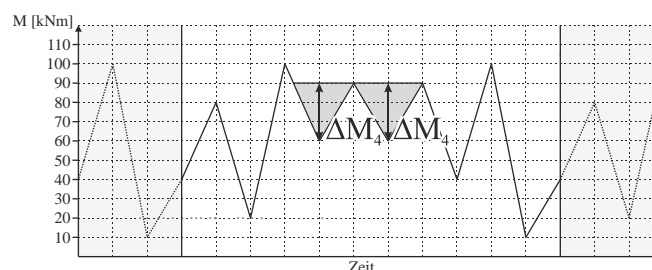
$$\Delta M_1 = 100[kNm] - 10[kNm] = 90[kNm], n_1 = 1[-]$$



$$\Delta M_2 = 80[kNm] - 20[kNm] = 60[kNm], n_2 = 1[-]$$



$$\Delta M_3 = 100[kNm] - 40[kNm] = 60[kNm] (= \Delta M_2), n_3 = 1[-]$$



$$\Delta M_4 = 90[kNm] - 60[kNm] = 30[kNm], n_4 = 2[-]$$

Das Moment wird auf Ober- und Unterflansch aufgeteilt. Hieraus ergibt sich:

$$F_o = F_u = \frac{M}{307[mm] + 11,5[mm]} = \frac{M}{318,5[mm]}$$

Hieraus ergeben sich folgende Normalspannungen im Obergurt:

$$\sigma_o = \frac{F_o}{160[mm] \cdot 11,5[mm]} = \frac{M}{160[mm] \cdot 11,5[mm] \cdot 318,5[mm]} = \frac{M}{586.040[mm^3]}$$

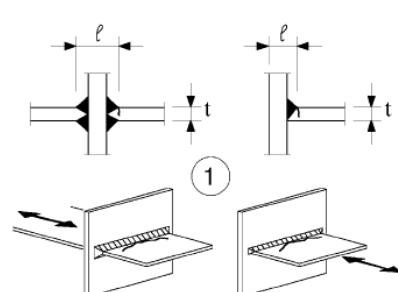
$$\Delta\sigma_1 = \frac{90 \cdot 1000^2[Nmm]}{586.040[mm^3]} = 153,6 \left[ \frac{N}{mm^2} \right], n_1 = 1[-]$$

$$\Delta\sigma_2 = \frac{60 \cdot 1000^2[Nmm]}{586.040[mm^3]} = 102,4 \left[ \frac{N}{mm^2} \right], n_2 = 2[-]$$

$$\Delta\sigma_4 = \frac{30 \cdot 1000^2[Nmm]}{586.040[mm^3]} = 51,2 \left[ \frac{N}{mm^2} \right], n_4 = 2[-]$$

### **b) Ermüdungsnachweis für Schweißnahtübergang des Kopfplattenanschlusses**

Ermittlung des Kerbfalls:

Kerbfall	Konstruktionsdetail		Beschreibung
80	$\ell < 50$	alle $t$	 <p>Kreuz- und T-Stöße: 1) Riss am Schweißnahtübergang in voll durchgeschweißten Stumpfnähten und allen nicht durchgeschweißten Nähten.</p>
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	$120 < \ell \leq 200$	$t > 20$	
	$\ell > 200$	$20 < t \leq 30$	
45	$200 < \ell \leq 300$	$t > 30$	
	$\ell > 300$	$30 < t \leq 50$	
40	$\ell > 300$	$t > 50$	

$$l = 14[mm] + \frac{6[mm]}{\sqrt{2}} = 18,2[mm] < 50[mm]$$

Kerbfall: 80

$$\Delta\sigma_C = 80 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\Delta\sigma_D = \Delta\sigma_C \cdot \sqrt[m]{\frac{N_C}{N_D}} = 80 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \cdot \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 10^6}{5 \cdot 10^6}} = 58,94 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\Delta\sigma_L = \Delta\sigma_D \cdot \sqrt[m]{\frac{N_D}{N_L}} = 58,94 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \cdot \sqrt[5]{\frac{5 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^8}} = 32,37 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

Ermittlung der zulässigen Lastspiele:

$\Delta\sigma_1 = 153,6 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$	$n_1 = 1[-]$	$m = 3$
$\Delta\sigma_2 = 102,4 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$	$n_2 = 2[-]$	$m = 3$
$\Delta\sigma_4 = 51,2 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$	$n_4 = 2[-]$	$m = 5$

$$N_1 = N_D \cdot \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_1} \right)^m = 5 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{58,94 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]}{153,6 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]} \right)^3 = 282.505$$

$$N_2 = N_D \cdot \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_2} \right)^m = 5 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{58,94 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]}{102,4 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]} \right)^3 = 953.456$$

$$N_3 = N_D \cdot \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_3} \right)^m = 5 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{58,94 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]}{51,2 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]} \right)^5 = 10.108.131$$

Schadenssumme für ein Lastspiel:

$$D = \sum_i \frac{n_i}{N_i} = \frac{1}{282.505} + \frac{2}{953.456} + \frac{2}{10.108.131} = 5,8353 \cdot 10^{-6}$$

Schadenssumme für 165.000 Lastspiele:

$$D = \sum_i \frac{n_i}{N_i} = \frac{165.000}{282.505} + \frac{2 \cdot 165.000}{953.456} + \frac{2 \cdot 165.000}{10.108.131} = 0,96 < 1,0$$

Nachweis erbracht!