

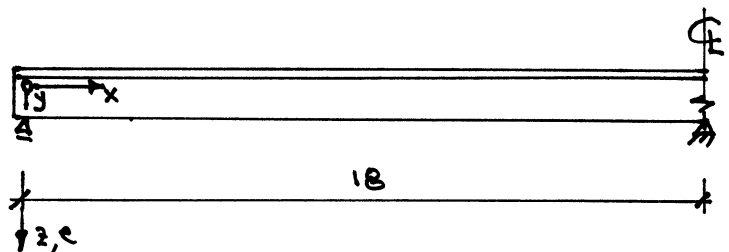
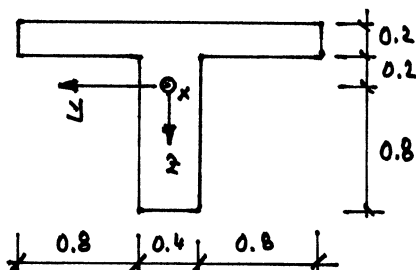
Stahlbeton II - Übung 2

Aufgabenstellung

Man betrachte den in den Übungen 2 und 4 zu Stahlbeton I behandelten Plattenbalken und ersetze die Hauptbewehrung in Längsrichtung teilweise durch eine vorgespannte Bewehrung.

- Entwickle ein geeignetes Vorspannkonzept (Kabelgröße, Kabelprofil, spannbare und nicht spannbare Verankerungen, Spannvorzug).
- Ermittle den Spannkraftverlauf unmittelbar nach dem Vorspannen und ermittle den Spannweg.
- Ermittle die Zwängungsschnittgrößen.
- Erbringe Spannungsnachweise unter Gebrauchslasten beim Endauflager, im höchstbeanspruchten Feldquerschnitt und beim Zwischenauflager ($t=0$ und $t \rightarrow \infty$; Auswirkungen von ständigen und veränderlichen Einwirkungen separat betrachten).
- Weise die Biegetragsicherheit gemäss Norm SIA 262 nach.

Grundlagen



$$g_k = 20 \text{ kN/m} \dots g_d = 27 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 40 \text{ kN/m} \dots q_d = 60 \text{ kN/m} \text{ unten angehängt}$$

$$A_c = 0.8 \text{ m}^2$$

$$I_c = 0.106667 \text{ m}^4$$

$$\text{Beton C 30/37} \dots f_{cd} = 20 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Betonstahl B500B} \dots f_{sd} = 435 \text{ N/mm}^2, e_{nom} = 30 \text{ mm}$$

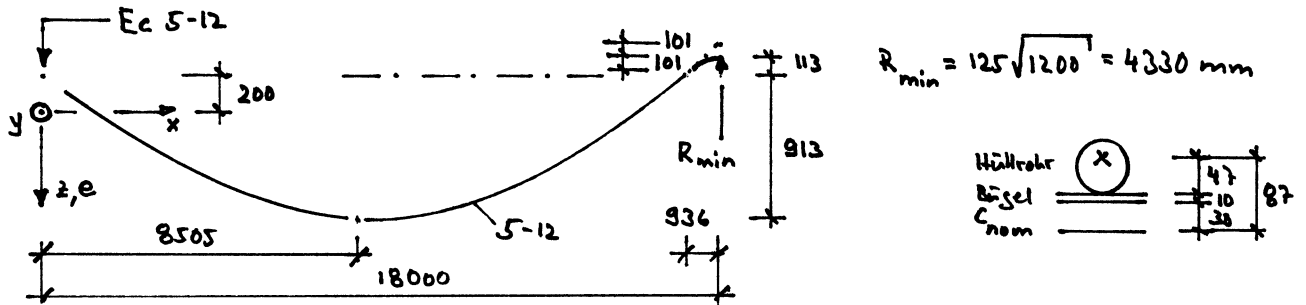
$$\text{Spannstahl Y1860S7-12.9} \dots f_{pd} = 1390 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{p0} = 1302 \text{ N/mm}^2$$

2) Vorspannkonzzept

- Wahl: 1 Kabel 5-12, Hüllrohr $\phi 65/72$ mm (Exzentrizität 11 mm), beidseitig spannbar über Verankerungen Ec 5-12 ($X = 270$ mm), $A_p = 1200$ mm².

- Kabelprofil



- Verankerung am Trägerende auf Höhe Übergang Steg / Platte? $h = 1000 - 87 = 913$ mm.

- Anwendung der Formeln unten auf Seite K 2.1 ...

$l_1 = 18000$		$a = 8505$	[mm]
$h = 913$		$b = 936$	
$h' = 113$		$B = 101$	
$R_{min} = 4330$			

Stich der Parabel... $f = \frac{2h}{a^2} \cdot \frac{l_1^2}{8} = 1022$ mm

- Exzentrizitäten für Gleichung (7.8)... Endauflager $e_b = -200$ mm

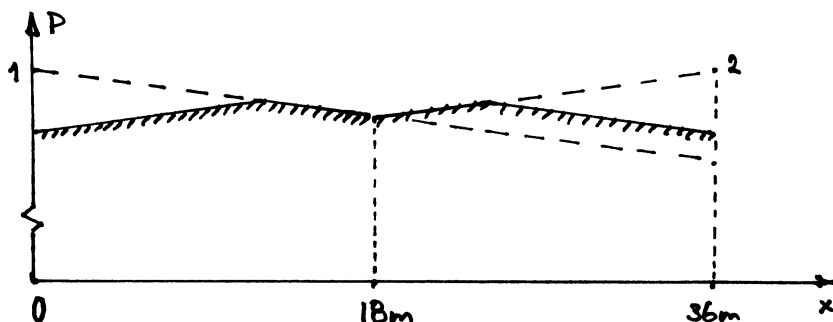
Zwischenaufleger $e_1 = -200 - 113 - 101 = -414$ mm

- Zwängungsmoment gemäss (7.8)... $X_1 = P \cdot \left(-\frac{200}{2} - 414 + 1022\right) = \underline{P \cdot 508}$ mm

- Umlenkraft beim Vorspannen... $u \approx \frac{8 \cdot P_0 \cdot f}{l_1^2} = \frac{8 \cdot 1200 \cdot 1302 \cdot 1022}{18000^2} = 39.4$ kN/m

u ist im Vergleich zu $g_k = 20$ kN/m relativ gross. Beim Endauflager sowie beim Zwischenaufleger entstehen unter $P_0 + g_k$ unten am Träger gewisse Zugspannungen, siehe Spannungsnachweise unter d).

- Spannvorgang



1... Spannen von links und Verketten

2... Nachspannen von rechts

b) Spannkraftverlauf und Spannweg

- Stahlhüllrohr... $\mu = 0.2$, $\Delta\varphi = 5 \text{ mrad/m}$; $A_p \cdot \sigma_{p,max} = 1200 \cdot 0.75 \cdot 1860 = 1674 \text{ kN}$.

x	φ_x	$\mu(\varphi_x + \Delta\varphi \cdot x)$	P	ϵ_{pm}	Δl_p
0	0	0	1674	6.926	59.4
8.51	211	.0508	1591	6.620	56.7
17.06	424	.1019	1512	6.323	5.9
18.0	637	.1454	1447	6.054	5.7
18.94	849	.1888	1386	5.775	49.4
27.49	1062	.2400	1217	5.488	46.7
36.0	1274	.2908	1252		
m	mrad	-	kN	‰	mm

$\Sigma \Delta l_p = 223.8 \text{ mm}$

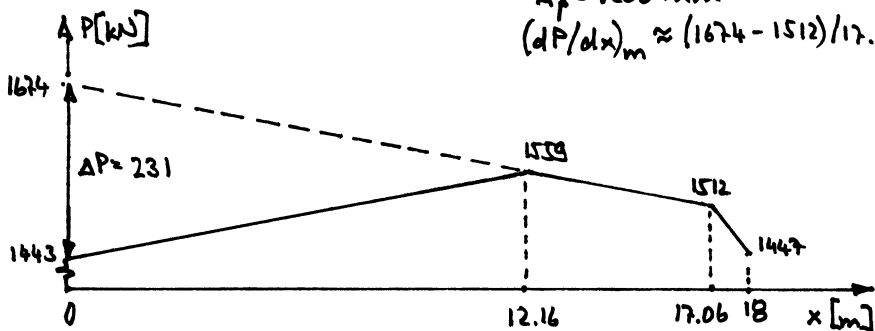
... Spannweg beim Spannen von links ohne Berücksichtigung der Betonverformungen

(7.6)

- Einfluss Verankerungsschlupf:

$\Delta = 6 \text{ mm}$
 $E_p = 195 \text{ kN/mm}^2$
 $A_p = 1200 \text{ mm}^2$
 $(dP/dx)_m \approx (1674 - 1512) / 17.06 = 9.5 \text{ kN/m}$

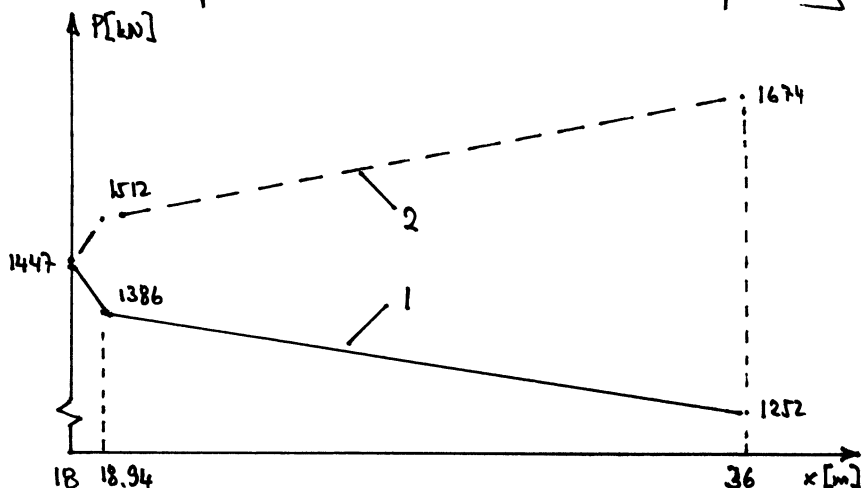
(7.7) ... $l_1 = 12.16 \text{ m}$
 $\Delta P = 231 \text{ kN}$



$P_{0m} \approx 1509 \text{ kN} \hat{=} 0.676 f_{pk}$

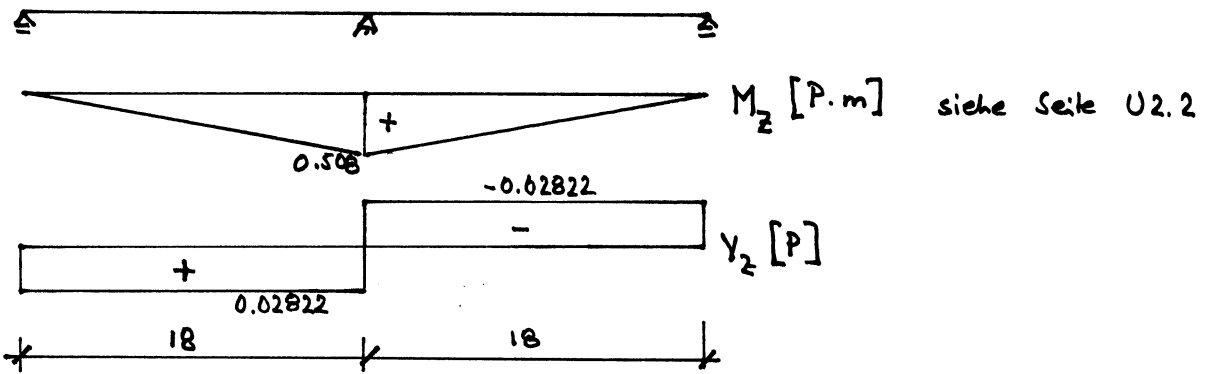
$P_{0max} = 1559 \text{ kN} \hat{=} 0.698 f_{pk}$

- Beim Nachspannen von rechts resultiert ein Spannweg von $\approx 20.2 \text{ mm}$:



$1674 - 1252 = 422 \text{ kN}$
 $1512 - 1386 = 126 \text{ kN}$
 $\frac{422 + 126}{2 \cdot 1.2 \cdot 195} \cdot 17.06 = 20.0$
 $\frac{126}{2 \cdot 1.2 \cdot 195} \cdot 0.54 = 0.2$
20.2

c) Zwängungsschnittgrößen



$P_{0m} \approx \underline{1509 \text{ kN}}$, siehe Seite U2.3

Langzeitverluste:

Relaxation (SIA 262 3.3.2.7) $\sigma_{pi} = 0.676 f_{pk} = 1258 \text{ N/mm}^2$

$$\Delta\sigma_{p\infty} \approx \underset{\substack{\uparrow \\ 3.3.2.7.1}}{3} \cdot \underset{\substack{\uparrow \\ \text{Fig. 7}}}{0.02} \cdot 0.676 f_{pk} = \underline{75 \text{ N/mm}^2}$$

Schwinden (SIA 262 3.1.2.5.7) Annahme RH = 60%
 $f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
 $h_0 = 2 \cdot 0.8 \text{ m}^2 / 6.4 \text{ m} = 0.25 \text{ m}$ } $\epsilon_{cs\infty} \approx \underline{0.36 \text{ ‰}}$

Kriechen (SIA 262 3.1.2.5.3) $E_c \approx 10 \cdot \sqrt[3]{38} = 33.6 \text{ kN/mm}^2$
 $P_{0m} / A_c = 1509 / 0.8 = 1.89 \text{ N/mm}^2$
 $\epsilon_{c,el} = 1.89 / 33.6 = 0.056 \text{ ‰}$

Annahme $k_t t_0 = 28 d \rightarrow \beta(t_0) \approx 0.5$

Beton C30/37 $\rightarrow \beta_{fc} = 2.7$

$h_0 = 250 \text{ mm}$, RH = 60% $\rightarrow \varphi_{RH} \approx 1.6$

$\epsilon_{cc\infty} \approx 0.056 \text{ ‰} \cdot 1.6 \cdot 2.7 \cdot 0.5 = \underline{0.12 \text{ ‰}}$

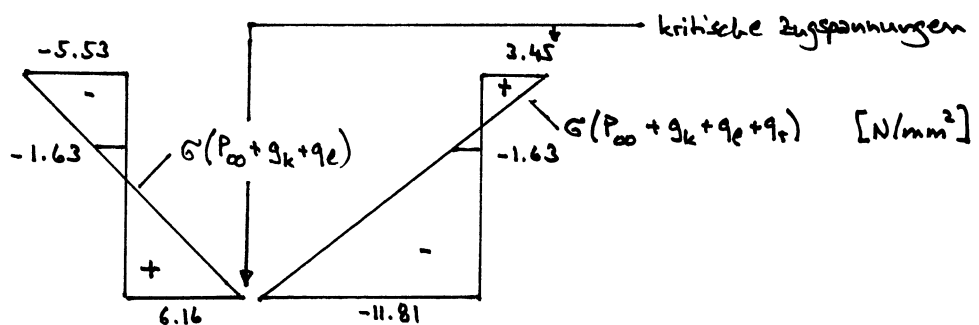
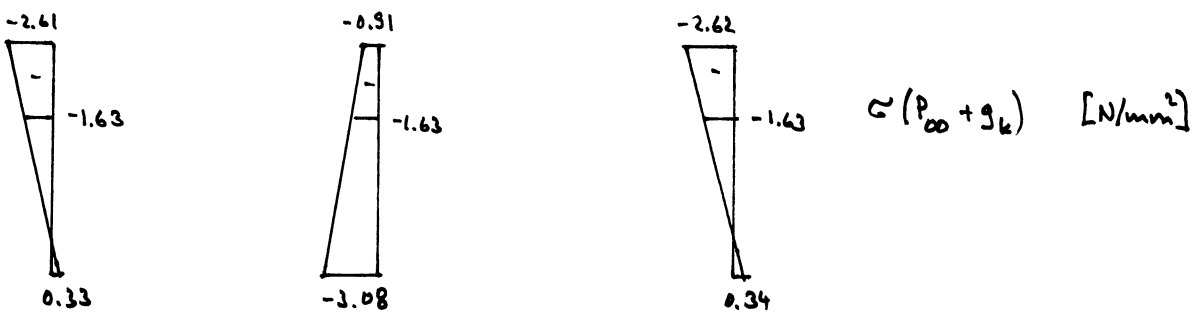
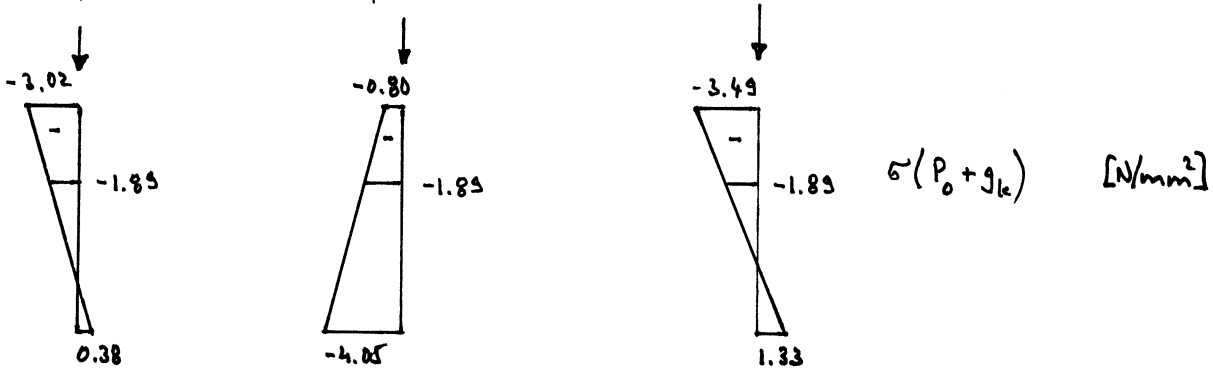
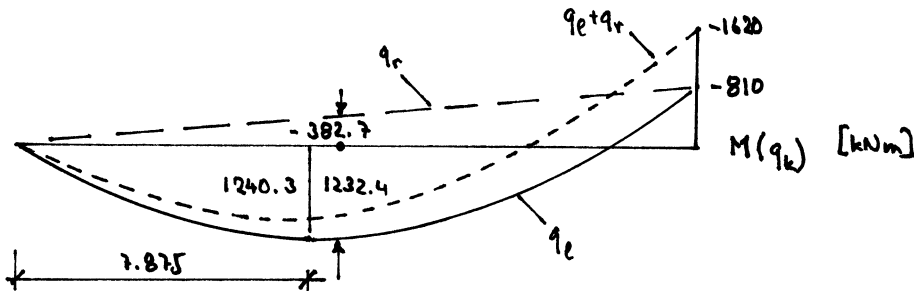
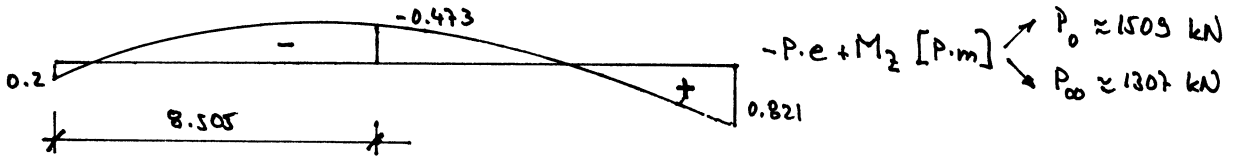
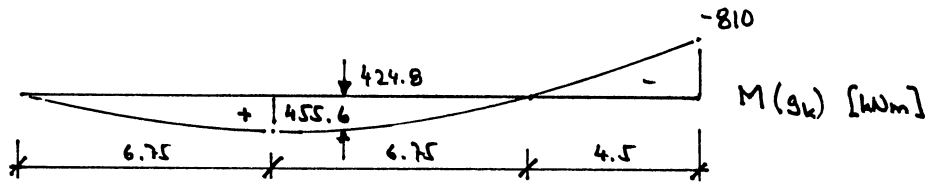
Somit: $\Delta\sigma_{p\infty} + (\epsilon_{cs\infty} + \epsilon_{cc\infty}) E_p = 75 + (0.36 + 0.12) \cdot 195 = 169 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{p\infty} = \sigma_{pi} - 169 \text{ N/mm}^2 = 1258 - 169 = 1089 \text{ N/mm}^2 = 0.585 f_{pk}$

$P_{\infty m} = A_p \cdot \sigma_{p\infty} = \underline{1307 \text{ kN}}$

Die Langzeitverluste bewirken einen Abfall der mittleren Vorspannkraft von $P_{0m} \approx 1509 \text{ kN}$ ($0.676 f_{pk}$) auf $P_{\infty m} \approx 1307 \text{ kN}$ ($0.585 f_{pk}$).

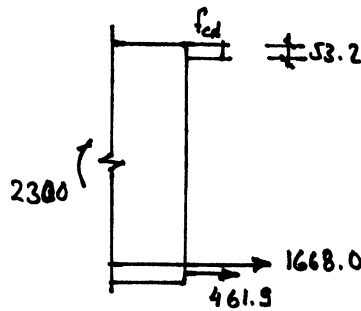
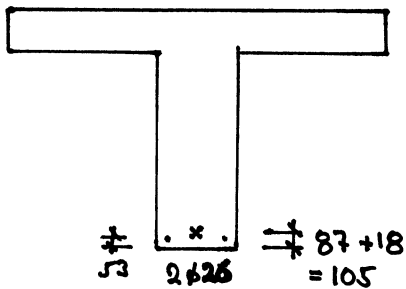
d) Spannungsnachweise



Unter einseitiger Nutzlast reißt der Träger unten im Feld, unter Vollast auch über der Zwischenstütze → Spannungsnachweise zum gerissenen Querschnitt erbringen!

e) Biegetragsicherheit

Feld: $x = 7.3 \text{ m}$

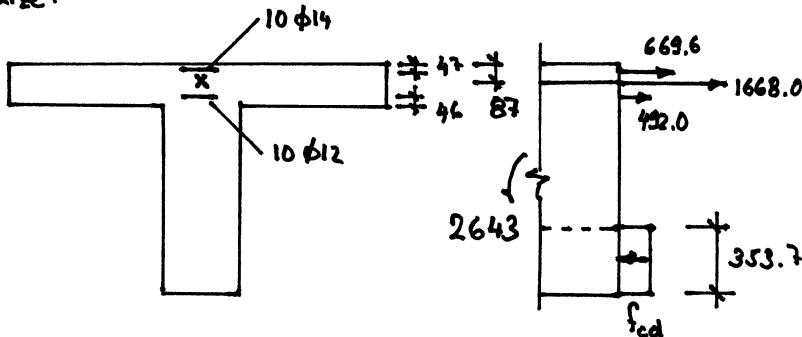


$$\Delta_p \cdot f_{pd} = 1200 \cdot 1390 = 1668 \text{ kN}$$

$$A_s \cdot f_{sd} = 2 \cdot 13^2 \cdot \pi \cdot 435 = 461.9 \text{ kN}$$

$$M_{Rd}^+ = \underline{2300 \text{ kNm}}$$

Stütze:



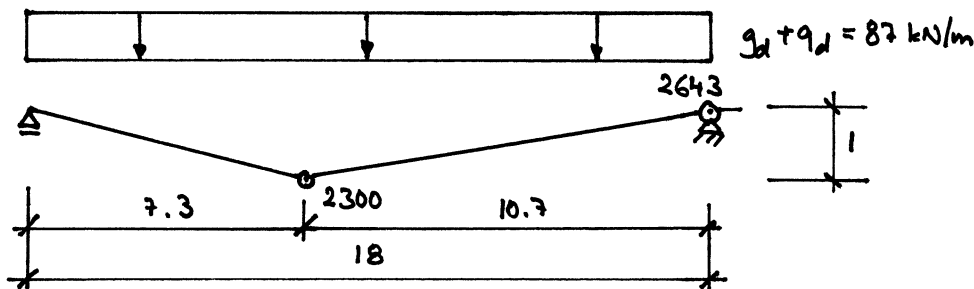
$$A_{s1}' \cdot f_{sd} = 10 \cdot 7^2 \cdot \pi \cdot 435 = 669.6 \text{ kN}$$

$$A_{s2}' \cdot f_{sd} = 10 \cdot 6^2 \cdot \pi \cdot 435 = 492.0 \text{ kN}$$

$$-M_{Rd}^- = \underline{2643 \text{ kNm}}$$

Achtung: $x = 353.7 / 0.85 = 416 \text{ mm}$
 $d = 1111 \text{ mm} \rightarrow \frac{x}{d} \approx 0.374$

Mechanismus:



$$W = 87 \cdot 18 \cdot \frac{1}{2} = \underline{783 \text{ kN}}$$

$$D = 2300 \cdot \left(\frac{1}{7.3} + \frac{1}{10.7} \right) + 2643 \cdot \frac{1}{10.7} = \underline{777 \text{ kN}} \quad \left. \vphantom{D} \right\} W \approx D \quad \text{o.k.}$$

Die über die Trägerhöhe verteilte konstruktive Längsbewehrung sowie die Druckbewehrung in der Biegedruckzone wurden vernachlässigt. Die Biege-
widerstände werden damit etwas unterschätzt.

$$\text{N.B. } \sqrt{2300 / (87/2)} = 7.27 \approx 7.3 \text{ m}$$