

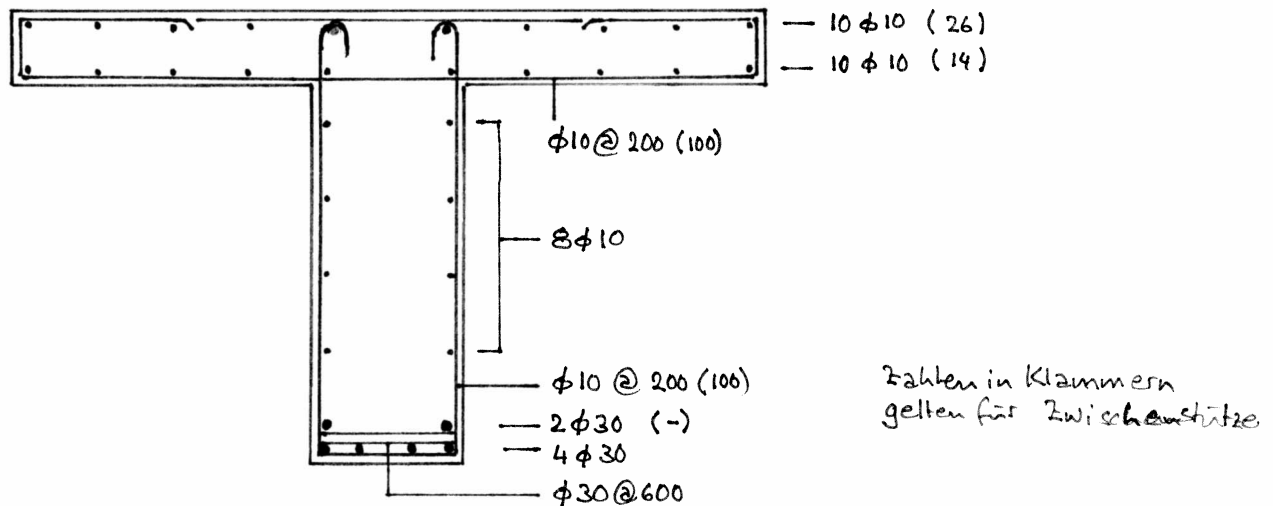
Stahlbeton I - Übung 4

Aufgabenstellung

Optimiere die Bewehrung des im Kolloquium 4 behandelten Trägers. Entwickle zugehörige Spannungsfelder für die Lastfälle Eigenlast plus einseitige Nutzlast sowie Eigenlast plus beidseitige Nutzlast. Erstelle Bewehrungs-skizzen sowie die Eisenliste für den ganzen Träger (36 m Länge + 2 Endüberstände von je 0.3 m). Berechne den mittleren Bewehrungsgehalt (kg pro m³ Beton) und diskutiere das Ergebnis (Anteile Biegebewehrung, Bügel, konstruktive Bewehrung).

N.B. Beschrifte Verankerungs- und Stosslängen sowie die Verlegereihenfolge und berücksichtige sämtliche konstruktiv erforderlichen Bewehrungen.

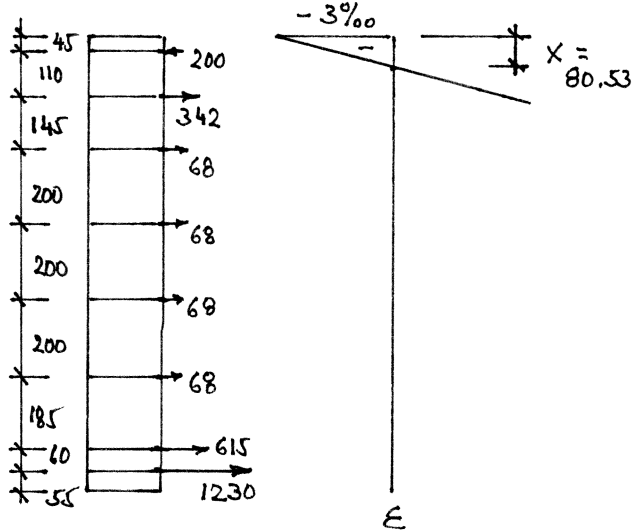
Modifizierte Bewehrung:



Die Optimierung betrifft hauptsächlich die Längsbewehrung (Reduktion von Stabanzahl und Durchmesser). Die Querbewehrung wird im wesentlichen belassen (Reduktion Länge ϕ 10 @ 100 auf je 4 m beidseitig vom Zwischenauflager). Die über die Steghöhe verteilte Bewehrung wird leicht verstärkt (8 ϕ 10 statt 6 ϕ 10) \rightarrow bessere Verteilung / besseres Rissverhalten.

Biege widerstände

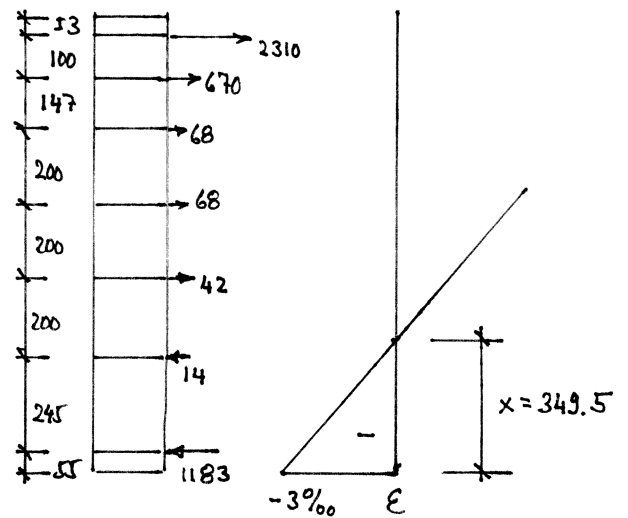
Feld:



$$\left(\frac{x-4.5}{x} \cdot 615 - 16.5\right) \cdot 785 + x \cdot 0.85 \cdot 2 \cdot 16.5 = 2459$$

$$M_{Rd} = 1230 \cdot 11.45 + 615 \cdot 10.85 + 4 \cdot 68 \cdot 600 + 342 \cdot 155 - 200 \cdot 4.5 - 2259 \cdot 34.2 = \underline{2206 \text{ kNm}}$$

Stütze:

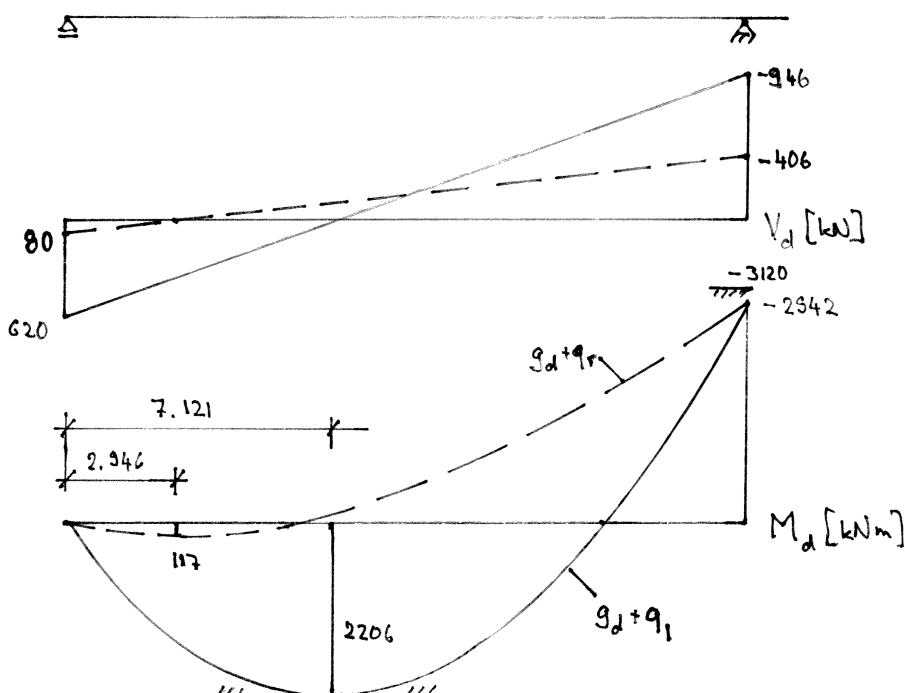


$$3116 + \left(\frac{500-x}{x} - \frac{x-300}{x}\right) \cdot 615 \cdot 157 - 1183 - 0.85x \cdot 0.4 \cdot 16.5 = 0$$

$$M_{Rd} = 2310 \cdot 11.47 + 670 \cdot 10.47 + 2 \cdot 68 \cdot 800 + 42 \cdot 500 - 14 \cdot 300 - 1183 \cdot 55 - 1961 \cdot 148.5 = \underline{3120 \text{ kNm}}$$

Abstufung der Längsbewehrung

Schnittgrössendiagramme:



Annahme Feldbewehrung auf

Biegung voll ausgenutzt:

$$\sqrt{\frac{2206 \cdot 2}{87}} = 7.121 \text{ m}$$

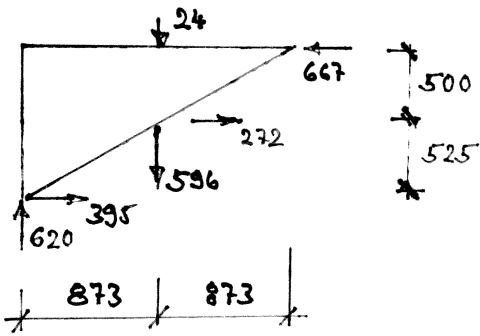
$$\left[\frac{(18 - 7.121)^2}{2}\right] \cdot 87 - 2206 = 2942 \text{ kNm}$$

$$7.121 \cdot 87 = 620 \text{ kN}$$

$$9.27 - 2942/18 = 80 \text{ kN}$$

$$80/27 = 2.946 \text{ m}$$

Endauflagerbereich



- Vereinfachte Betrachtung mit beim Endauf =
lager zentriertem Spannungsfeld
- Druckgurt in Mitte Platte
- Horizontalkraft $4 \cdot 68 = 272 \text{ kN}$ ($4 \cdot 2 \phi 10$)
- Zuggurt auf Höhe Schwerpunkt $6 \phi 30$
- Bügel $\phi 10 @ 200 \triangleq$ Widerstand $= 341.6 \text{ kN/m}$
- $\frac{1}{2}$ Eigenlast (13.5 kN/m) oben aufgebracht
- $\rightarrow 620 = x \cdot (341.6 + 13.5) \rightarrow x = 1.746 \text{ m}$

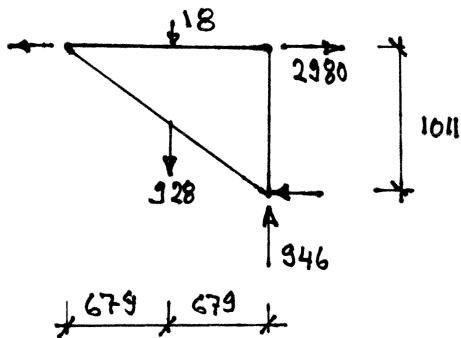
Momentengleichgewicht bringt eine beim Auflager zu verankernde Horizontalkraft von 395 kN, die von 2φ30 aufgenommen werden können: $615 > 395 \text{ kN}$.

Ausgehend von einem fiktiven Auflagerknotenbereich der Breite $620 / (0.4 \cdot 16.5) = 94 \text{ mm}$ und der Höhe $395 / (0.4 \cdot 16.5) = 60 \text{ mm}$ könnte das Spannungsfeld weiter verfeinert werden. Die von den über die Steghöhe verteilten Längsstäben ($4 \cdot 2 \phi 10$) eingeleiteten Kräfte (total 272 kN) führen zu einer Krümmung der Druckspannungstrajektorien. Ferner könnte der Hebelarm der inneren Kräfte erhöht werden, da einerseits beim Auflager nur noch zwei der unteren vier $\phi 30$ nötig sind und andererseits die Druckzone nicht die ganze Plattendicke erfordert. Dies ergäbe eine Reduktion der beim Auflager zu verankernden Horizontalkraft von 395 kN ; das wesentliche Ergebnis, dass mindestens $2 \phi 30$ zu verankern sind, würde aber nicht geändert. Die konservative Annahme, dass der Druckwert mit der Plattenmitte zusammenfällt, erleichtert überdies den Schubanschluss der Platte (Max. Schubfluss $\approx 620 / 1.025 = 605 \text{ kN/m}$ \rightarrow mit $\alpha_f = 25^\circ$ resultiert Querkraft $605 \cdot \tan 25^\circ \cdot 0.8 / 2 = 113 \text{ kN/m}$, d.h. pro Lage der $\phi 10 @ 200$: $56 < 171 \text{ kN/m}$... kein Problem, auch unter Berücksichtigung des kleinen Querbiegemoments, siehe Koll. 4).

Fazit : Bügel $\phi 10 @ 200$ i.O.;

2 $\phi 30$ bei Auflager verankern, Versatzmaß = 873 mm;
Betonbeanspruchung problemlos.

Zwischenanfliegerbereich



N.B.: $1011 = 1200 - \underset{\substack{\uparrow \\ \text{Schwerpt., Zugsatz}}}{75,5} - \underset{\substack{\uparrow \\ \text{Durchgang}}}{113,3}$

- Vereinfachte Betrachtung mit einem zwischenauflager zentriertem Spannungsfeld
- Zugwert auf Höhe Schwerpunkt $10 \phi 26 + 10 \phi 14$
- Druckwert auf Höhe Schwerpunkt Druck =
kraft = $1183 + 1961 = 3144 \text{ kN}$
- Annahme über Stabhöhe verteilte $4 \cdot 2 \phi 10$ verändern ihre Kräfte erst weiter weg vom zwischenauflager \rightarrow für diesen Teil des Spannungsfelds nicht relevant

Bügel $\phi 10 @ 100 \hat{=}$ Widerstand $= 683.3 \text{ kN/m} \rightarrow 946 = x \cdot (683.3 + 13.5) : x = 1.358 \text{ m.}$

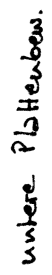
Für die Abstufung der oberen Längsbewehrung ist der Lastfall $g_d + q_{dr}$ massgebend. Wegen der kleineren Querkraft ist auch das Versatzmass geringer: $406 = x \cdot (683.3 + 13.5) \rightarrow x/2 = 291 \text{ mm}$.

Abstufung der Biegelbewehrung ($\phi 10 @ 200$ statt 100) um vom Zwischen-
auflager: Querlast = $406 - 4 \cdot 27 = 298 \text{ kN}$. $298 = x \cdot (341.6 + 13.5) : \frac{x}{2} = \underline{420 \text{ mm}}$.

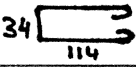
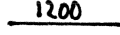



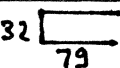
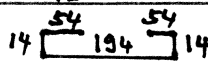
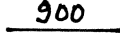

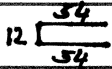

Wie beim Endauflagerbereich könnte auch im Zwischenauflegerbereich das Spannungsfeld verfeinert werden (Knotenbereiche, variable Druckzonenhöhen, etc.). Ferner könnte auch der Kraftfluss in den über die Steghöhe verteilten Längsbewehrungsstäben ($4 \cdot 2 \phi 10$) in den an den Zwischenauflegerbereich anschließenden Bereichen im Detail untersucht werden. An der Bewehrung würde sich damit aber nichts mehr ändern, weshalb hier darauf verzichtet wird.

Fazit: Bügel $\phi 10$ @ 100 i.O., $\phi 10$ @ 200 ab 4m vom Zwischenauflager;
Versatzzone für obere Längsbewehrung = 420mm (konservativ).

obere Plattenbew.



Eisenliste

Pos.	Anzahl	ϕ	l	Verwendung	Form [cm]	kg
1	224	10	2.88	Stegbügel	34 	398
2	16	30	12.00	untere Längsbew.		1066
3	4	30	6.00	Auflager = sicherung	100 	133
4	40	30	0.34	Abstände halter		75
5	96	10	6.00	verteilte Längsbew.		355
6	8	10	1.90	Stegende	32 	9
7	224	10	3.30	Plattenquer bewehrung	14 	456
8	50	14	9.00	obere Längsbew.		545
9	10	26	12.00	obere Längsbew.		500
10	20	10	1.20	Platten = ande	12 	15
11	224	10	1.90	Plattenquer bewehrung		263
						3815

$$\text{Brutto-Betonvolumen} = 0.8 \cdot 3.6 \cdot 6 = 29.28 \text{ m}^3$$

$$\text{Mittlerer Bewehrungsgehalt} = 3815 / 29.28 = \underline{\underline{130 \text{ kg/m}^3}}$$

Anteile: Stegbügel (Pos. 1)	... 398 kg	$\hat{=}$ 11 %
untere Längsbewehrung (Pos. 2+3)	... 1199 kg	$\hat{=}$ 31 %
obere Längsbewehrung (Pos. 8+9)	... 1045 kg	$\hat{=}$ 27 %
Plattenquerbewehrung (Pos. 7+11)	... 719 kg	$\hat{=}$ 19 %
Rest (Pos. 4 + 5 + 6 + 10)	... 454 kg	$\hat{=}$ 12 %