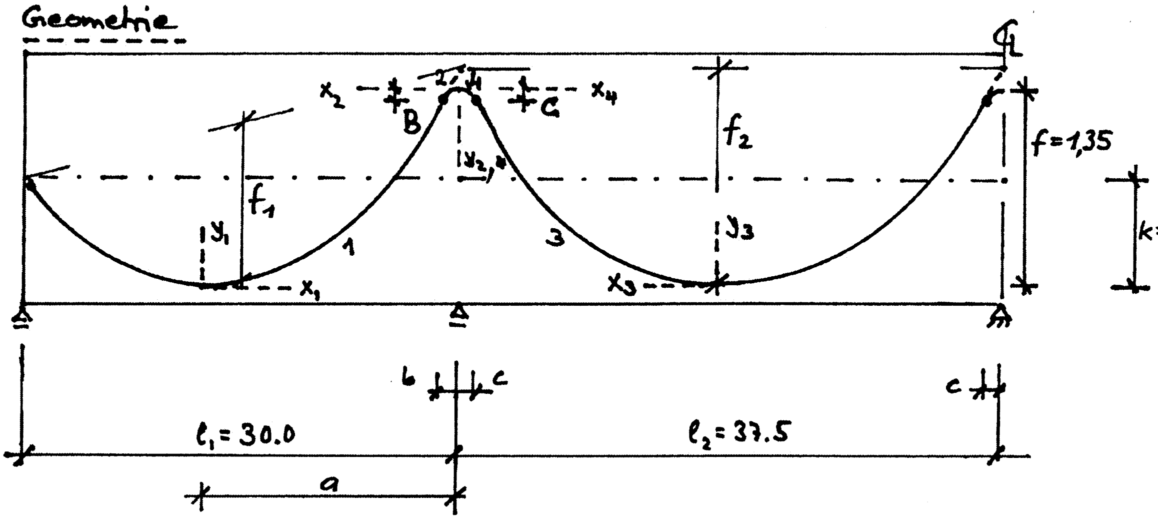
Stahlbeton II - Kolloquium 2

Ein über vier Felder laufender Träger mit einer Länge von 135 m wird mit einem Spannglied 6-22 (22 Litzen ϕ 15.7 mm, $A_p = 22 \cdot 150 = 3300\ mm^2$, $f_{pk} = 1770\ N/mm^2$) vorgespannt. Über den Zwischenstützen wird der minimale Kabelkrümmungsradius gemäss (7.4) ausgenutzt, und beim Spannen wird $\sigma_{p,max} = 0.75\ f_{pk}$ gemäss SIA 262 (20) eingehalten, d.h. $P_{max} = A_p \cdot \sigma_{p,max} = 3300 \cdot 0.75 \cdot 1770 = 4381$ kN. Es wird ein Kunststoffhüllrohr verwendet.

Man ermittle den Verlauf der Spannkraft P(x) sowie die Zwängungsschnittgrössen.

a) Geometrie



(7.4) $\quad R_{min} = 125 \cdot \sqrt{3300} = 7.18$ m

Parabel 1 ... $y_1 = \left(\frac{x_1}{\ell_1 - a}\right)^2 \cdot k, \quad y_1' = \frac{2x_1}{(\ell_1-a)^2}, \quad y_1'' = \frac{2k}{(\ell_1-a)^2} = \frac{8f_1}{\ell_1^2}$

" $\quad$ 2 ... $y_2 = (x_2/b)^2 \cdot B, \quad y_2' = 2x_2 B/b^2, \quad y_2'' = 2B/b^2 = 1/R_{min}$

Koeffizienten für Spanngliedgeometrie:

$$a = \frac{f}{f-k} \cdot \left[\ell_1 - \sqrt{\frac{k}{f}\left(\ell_1^2 + 2 \cdot R_{min} \cdot k\right) - 2 \cdot R_{min} \cdot k}\right] \qquad u = \frac{2 \cdot P \cdot k}{(\ell_1 - a)^2}$$

$$b = \frac{2 \cdot R_{min} \cdot f}{a} \qquad B = \frac{2 \cdot R_{min} \cdot f^2}{a^2} \qquad f_1 = \frac{k \cdot \ell_1^2}{4(\ell_1-a)^2}$$

Im Beispiel : $\left\{\begin{matrix} \ell_1 = 30.000 \\ k = 0.750 \\ f = 1{,}350 \\ R_{min} = 7.180 \end{matrix}\right\} \longrightarrow \left\{\begin{matrix} a = 17.430 \\ b = 1.112 \\ B = 0.086 \\ f_1 = 1.068 \end{matrix}\right\}$

Parabel 3 ... $y_3 = \dfrac{4 x_3^{\,2} \cdot f}{\ell_2^{\,2} - 8 \cdot R_{min} \cdot f}$

" 4 ... $y_4 = \left(\dfrac{x_4}{c}\right)^2 \cdot C$

Koeffizienten : $c = \dfrac{4 \cdot R_{min} \cdot f}{\ell_2}$ $\quad C = \dfrac{8 \cdot R_{min} \cdot f^2}{\ell_2^{\,2}}$ $\quad f_2 = \dfrac{f - C}{\left(1 - \frac{2c}{\ell_2}\right)^2}$ $\quad u = \dfrac{8 \cdot P \cdot f}{\ell_2^{\,2} - 8 \cdot R_{min} \cdot f}$

Im Beispiel: $\left\{\begin{matrix} \ell_2 = 37.500 \\ k = 0.750 \\ f = 1{,}350 \\ R_{min} = 7.180 \end{matrix}\right\} \longrightarrow \left\{\begin{matrix} c = 1.034 \\ C = 0.074 \\ f_2 = 1.428 \end{matrix}\right\}$

b) Spannkraftverlauf und Spannweg

Anwendung von (7.6) mit $\mu = 0.14$ und $\Delta\varphi = 7$ mrad/m auf Wendepunkte sowie Tief- und Hochpunkte :

x	φ_x	$\mu(\varphi_x + \Delta\varphi x)$	P	ε_{pm}	$\Delta\ell_p$
0	0	0	4381		
				6.711	84.4
12.57	119	.0290	4256		
				6.493	106.0
28.89	272	.0664	4100		
				6.300	7.0
30	426	.0890	4008		
				6.163	6.3
31.03	569	.1101	3924		
				5.986	106.1
48.75	712	.1475	3780		
				5.767	102.2
66.47	855	.1848	3642		
				5.601	5.8
67.5	998	.2059	3566		
m	mrad	-	kN	‰	mm

$\Delta\ell_p = \Delta x \cdot \varepsilon_{pm}$

$\varepsilon_{pmi} = \dfrac{P_i + P_{i-1}}{2 E_p A_p}$

$E_p = 195$ kN/mm², $A_p = 3300$ mm²

$\sum \Delta\ell_p = \underline{417.8 \text{ mm}}$

Zu dieser Verlängerung des Spannstahls kommt bei der Messung der Relativverschiebung zwischen Beton und Spannstahl am Trägerende die Verkürzung des Betons dazu, z.B. $\varepsilon_{cm} = 0.1‰ \mathrel{\hat{=}} 6.8$ mm

→ totaler Spannweg = 417.8 + 6.8 = 424.6 mm.

Einfluss des Verankerungsschlupfes:

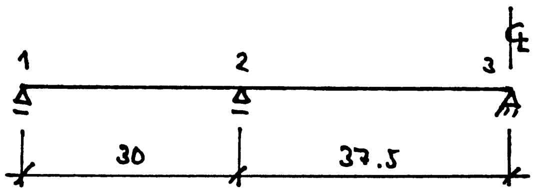
(7.7) mit $\Delta = 6$ mm
$E_p = 195$ kN/mm²
$A_p = 3300$ mm²
$(dP/dx)_m \approx (4381 - 4100)/28.89 = 9.73$ kN/m

$$\left.\begin{array}{l} \Delta = 6\text{ mm} \\ E_p = 195\text{ kN/mm}^2 \\ A_p = 3300\text{ mm}^2 \\ (dP/dx)_m \approx (4381-4100)/28.89 = 9.73\text{ kN/m} \end{array}\right\} \begin{array}{l} \ell_1 = 19.92\text{ m} \\ \Delta P = 386\text{ kN} \end{array}$$

Bei $x = 19.92$ m ergibt sich nach dem Verkeilen $P \approx 4381 - \frac{386}{2} = \underline{4187 \text{ kN}}$

Diese maximale Spannkraft entspricht einer Spannung $\sigma_p = 4187/3300 = 1269$ N/mm² $= 0.72\ f_{pk} \approx 0.7\ f_{pk}$, o.k., eventuell etwas weniger hoch spannen!

c) Zwängungsschnittgrössen

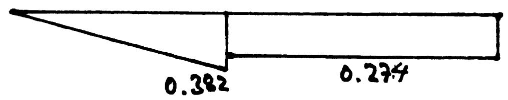


Annahme $P = \text{const}$, $EI = \text{const}$

$e_0 = 0$
$e_1 = -0.686$
$f = 1.068$
(7.8): $X_{2\ell} = \underline{0.382P}$

$e_1 = -0.678 = e_2$
$f = 1.428$
(7.10): $X_{2r} = X_{3\ell}$
$= \underline{0.274P}$

N.B. Gemäss b) beträgt P im Mittel nach dem Spannen etwa 3950 kN.

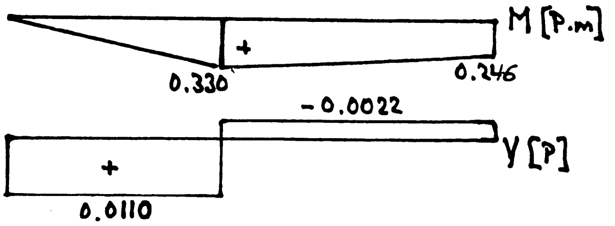


Festeinspannmomente [P.m] ... Sprung 0.108 P.m

$s_{21} = \frac{3EI}{\ell_1}$ $\quad s_{23} = \frac{4EI}{\ell_2}$ Stabsteifigkeiten

$\varkappa_{21} = .484$ $\quad \varkappa_{23} = .516$ Verteilzahlen

$\mu_{23} = .5$ Überleitzahl



Momentenausgleich (Cross):

$X_2 = (0.382 - 0.108 \cdot 0.484) \cdot P$
$= (0.274 + 0.108 \cdot 0.516) \cdot P$
$= \underline{0.3297 \cdot P \cdot m}$

$X_3 = (0.274 - 0.108 \cdot 0.516 \cdot 0.5)$
$= \underline{0.2461 \cdot P \cdot m}$