Die Statik im Stahlbetonbau

Beyer, Kurt

Berlin [u.a.], 1956

Zahlenbeispiele

urn:nbn:de:hbz:466:1-74292

Näherungsrechnung für den Rahmenträger (Abb. 474).

Belastung $P = 2{,}5\,\mathrm{t}$ in den Knoten 1, 2, 3, 4, 5, 6.

k	0	$\bar{1}$	1	$\bar{2}$	2	$\bar{3} = 3'$	3	$\bar{4} = 4'$
P	(− 7,5)	0	2,5	0	2,5	0	2,5	0 t
V_{k0}	0	7,5	7,5	5	5	2,5	2,5	0 t
$c/2$	—	1,25	1,25	1,25	1,25	2,5	2,5	2,5 m
$V_{k0}\,c/2$	—	9,38	9,38	6,25	6,25	6,25	6,25	0 mt
$M_{k0}/2$	—	4,69	9,38	12,50	15,63	18,75	21,88	21,88 mt
$M_{k(k+1)}$	− 4,69		− 3,12		− 3,12		0	mt
$M_{k(k-1)}$			4,69		3,12		3,12	mt

Die Momente sind in Abb. 473 dargestellt. Die genauen Werte sind nach S. 497 berechnet und das Ergebnis in Klammern und gestrichelten Linien eingetragen.

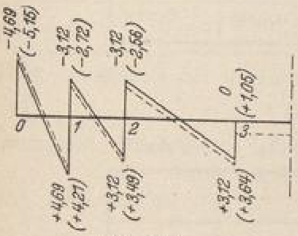


Abb. 473.

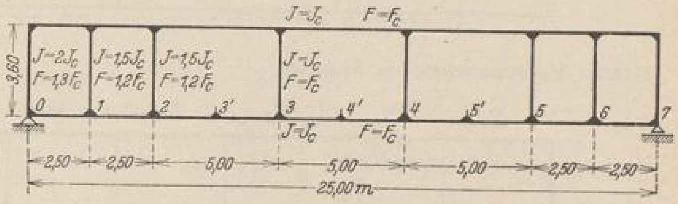


Abb. 474.

Zahlenbeispiel für die Berechnung eines Rahmenträgers (Abb. 474).

Das Tragwerk ist symmetrisch zu einer waagerechten und zu einer senkrechten Mittellinie.

Geometrische Grundlagen.

$$h_0' = 1{,}8\,, \qquad h_1' = h_2' = 2{,}4\,, \qquad h_3' = 3{,}6\,\mathrm{m}\,,$$

$$c_1' = c_2' = 2{,}5\,, \qquad c_3' = c_4' = 5{,}0\,\mathrm{m};$$

$$\varkappa = 1{,}2\,, \qquad E/G = 2\,, \qquad J_c = 0{,}0533\,\mathrm{m}^4\,, \qquad F_c = 1{,}0\,\mathrm{m}^2\,, \qquad J_c/F_k^s = 0{,}0533\,\mathrm{m}^2\,;$$

$$\nu_0 = 1{,}2 \cdot 2 \cdot 0{,}0533/1{,}3 = 0{,}0985\,, \qquad \nu_1 = \nu_2 = 0{,}1067\,, \qquad \nu_3 = 0{,}128\,, \qquad \gamma_k = 0{,}128\,.$$

Antimetrischer Ansatz, Vorzahlen nach (774):

$$\delta_{21} = -\frac{1}{3}\left(2{,}4 + 12 \cdot \frac{0{,}1067}{3{,}6}\right) = -0{,}919\,, \qquad \delta_{23} = -\frac{1}{3}\left(2{,}4 + 12 \cdot \frac{0{,}1067}{3{,}6}\right) = -0{,}919\,,$$

$$\delta_{22} = \frac{1}{3}\cdot\left(2{,}4 + 2{,}4 + 6 \cdot 2{,}5 + \frac{12}{3{,}6} \cdot 2 \cdot 0{,}1067 + 24 \cdot 0{,}0533 \cdot \frac{2{,}5}{3{,}6^2}\right) = 6{,}921\,.$$

Symmetrischer Ansatz, Vorzahlen nach (775):

$$\tau_{21}^{(1)} = \frac{2{,}4\left(2{,}5 - 6\,\dfrac{0{,}128}{2{,}5}\right)}{2 \cdot 2{,}5 + 3 \cdot 2{,}4 + 6\,\dfrac{0{,}128}{2{,}5}} = 0{,}421\,, \qquad \tau_{23}^{(1)} = \frac{2{,}4\left(5{,}0 - 6\,\dfrac{0{,}128}{5{,}0}\right)}{2 \cdot 5{,}0 + 3 \cdot 2{,}4 + 6\,\dfrac{0{,}128}{5{,}0}} = 0{,}670\,,$$

$$\tau_{22}^{(1)} = \left(\frac{2}{3} \cdot 2{,}5 + 2\,\frac{0{,}128}{2{,}5}\right) + \left(\frac{2}{3} \cdot 5{,}0 + 2\,\frac{0{,}128}{5{,}0}\right) - \frac{\left(2{,}5 - 6\,\dfrac{0{,}128}{2{,}5}\right)^2}{3\left(2 \cdot 2{,}5 + 3 \cdot 2{,}4 + 6\,\dfrac{0{,}128}{2{,}5}\right)}$$

$$- \frac{\left(2 \cdot 5{,}0 + 6\,\dfrac{0{,}128}{5{,}0}\right)^2}{3\left(2 \cdot 5{,}0 + 3 \cdot 2{,}4 + 6\,\dfrac{0{,}128}{5{,}0}\right)} = 3{,}046\,.$$

Matrix des antimetrischen Ansatzes:

Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7
+ 6,712	− 0,919					
− 0,919	+ 6,921	− 0,919				
	− 0,919	+ 12,425	− 1,342			
		− 1,342	+ 12,846	− 1,342		
			− 1,342	+ 12,425	− 0,919	
				− 0,919	+ 6,921	− 0,919
					− 0,919	+ 6,712

Matrix des symmetrischen Ansatzes:

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
2,638	0,421					
0,421	3,046	0,670				
	0,670	4,677	0,833			
		0,833	4,756	0,833		
			0,833	4,031	0,421	
				0,421	2,660	0,421
					0,421	1,641

Bemerkenswert ist die geringe Abhängigkeit der überzähligen Größen, so daß die Formänderungen δ_{ki} und $\tau_{ki}^{(1)}$ mit $k \neq i$ zur Bildung eines ersten Näherungsergebnisses Null gesetzt werden können.

Konjugierte Matrix $\beta_{ki}^{(y)}$ des antimetrischen Ansatzes:

$-\varkappa_{21}$ 0,1341 | $-\varkappa_{32}$ 0,0748 | $-\varkappa_{43}$ 0,1057 | $-\varkappa_{54}$ 0,1091 | $-\varkappa_{65}$ 0,1352 | $-\varkappa_{76}$ 0,1370

1	0,1518	0,0204	0,0015	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,1370 = $-\varkappa_{12}$
2	0,0204	0,1486	0,0111	0,0012	0,0001	0,0000	0,0000	0,1352 = $-\varkappa_{23}$
3	0,0015	0,0111	0,0822	0,0087	0,0009	0,0001	0,0000	0,1091 = $-\varkappa_{34}$
4	0,0002	0,0012	0,0087	0,0796	0,0087	0,0012	0,0002	0,1057 = $-\varkappa_{45}$
5	0,0000	0,0001	0,0009	0,0087	0,0822	0,0111	0,0015	0,0748 = $-\varkappa_{56}$
6	0,0000	0,0000	0,0001	0,0012	0,0111	0,1486	0,0204	0,1341 = $-\varkappa_{67}$
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0015	0,0204	0,1518	

Konjugierte Matrix $\beta_{ki}^{(x)}$ des symmetrischen Ansatzes.

$$\begin{array}{cccccc} -\varkappa_{21} & -\varkappa_{32} & -\varkappa_{43} & -\varkappa_{54} & -\varkappa_{65} & -\varkappa_{76} \\ -0{,}1429 & -0{,}1481 & -0{,}1817 & -0{,}2103 & -0{,}1650 & -0{,}2564 \end{array} \longrightarrow$$

1	+0,3880	−0,0554	+0,0082	−0,0015	+0,0003	−0,0001	+0,0000
2	−0,0554	+0,3477	−0,0515	+0,0094	−0,0020	+0,0003	−0,0001
3	+0,0082	−0,0515	+0,2290	−0,0416	+0,0087	−0,0014	+0,0004
4	−0,0015	+0,0094	−0,0416	+0,2260	−0,0475	+0,0078	−0,0020
5	+0,0003	−0,0020	+0,0087	−0,0475	+0,2622	−0,0433	+0,0111
6	−0,0001	+0,0003	−0,0014	+0,0078	−0,0433	+0,3990	−0,1024
7	+0,0000	−0,0001	+0,0004	−0,0020	+0,0111	−0,1024	+0,6360

$$\begin{array}{l} -0{,}1595 = -\varkappa_{12} \\ -0{,}2249 = -\varkappa_{23} \\ -0{,}1840 = -\varkappa_{34} \\ -0{,}1810 = -\varkappa_{45} \\ -0{,}1085 = -\varkappa_{56} \\ -0{,}1610 = -\varkappa_{67} \end{array}$$

Rechenvorschrift der überzähligen Größen.

$$Y_k = \Sigma\, \beta_{ki}^{(y)}\, \delta_{k0}\,, \qquad X_k = \Sigma\, \beta_{ki}^{(x)}\, \tau_{k0}^{(1)}\,.$$

Senkrechte Einzellasten in den Punkten 1, 2, 3′ 3, 4′, . . .

$$\delta_{20,1} = V_{20}\left[\frac{2{,}5\cdot 2{,}5}{2} + \frac{1}{6}\,2{,}5\left(2{,}4 + 12\cdot\frac{0{,}1067}{3{,}6}\right)\right] - \frac{1}{6}\,V_{30}\,5{,}0\left(2{,}4 + 12\,\frac{0{,}1067}{3{,}6}\right) + 4\,M_{20}\,\frac{2{,}5}{3{,}6^2}\cdot 0{,}0533\,.$$

$$\begin{aligned}
\delta_{10,1} &= 4{,}011\,V_{10} - 1{,}148\,V_{20} + 0{,}0412\,M_{10}\,,\\
\delta_{20,1} &= 4{,}273\,V_{20} - 2{,}296\,V_{30} + 0{,}0412\,M_{20}\,,\\
\delta_{30,1} &= 14{,}796\,V_{30} - 3{,}356\,V_{40} + 0{,}0824\,M_{30}\,,\\
\delta_{40,1} &= 15{,}856\,V_{40} - 3{,}356\,V_{50} + 0{,}0824\,M_{40}\,,\\
\delta_{50,1} &= 15{,}856\,V_{50} - 1{,}148\,V_{60} + 0{,}0824\,M_{50}\,,\\
\delta_{60,1} &= 4{,}273\,V_{60} - 1{,}148\,V_{70} + 0{,}0412\,M_{60}\,,\\
\delta_{70,1} &= 4{,}273\,V_{70}\,.
\end{aligned}$$

$$\delta_{k0,2} = \frac{c_k'}{2\,c_k}\,P_k\,z_k^2 + \frac{1}{6}\,P_k\,z_k\left(h_{k-1}' + 12\,\frac{v_{k-1}}{h}\right) - \frac{1}{6}\,P_{k+1}\,z_{k+1}\left(h_k' + 12\,\frac{v_k}{h}\right).$$

Gleichförmige Belastung $g = 1{,}0$ t/m liefert $P = 2{,}5\,t$ in 1, 2, 3′, 3, 4′, . . .

$k =$	1	2	3	4	5	6	7
$V_{k0} =$	11,25	8,75	3,75	−1,25	−6,25	−8,75	−11,25 t
$M_{k0} =$	28,125	50,0	75,0	75,0	50,0	28,125	0 mt

$\delta_{30,1} = 14{,}796\cdot 3{,}75 + 3{,}356\cdot 1{,}25 + 0{,}0824\cdot 75 = 65{,}860\,,$

$$\delta_{30,2} = \frac{5{,}0}{2\cdot 5{,}0}\,2{,}5\cdot 2{,}5^2 + \frac{1}{6}\,2{,}5\cdot 2{,}5\left(2{,}4 + 12\,\frac{0{,}1067}{3{,}6}\right) - \frac{1}{6}\,2{,}5\cdot 2{,}5\left(3{,}6 + 12\,\frac{0{,}128}{3{,}6}\right) = 6{,}4885;$$

δ_{10}	δ_{20}	δ_{30}	δ_{40}	δ_{50}	δ_{60}	δ_{70}
36,2375	27,9668	-72,3485	15,1475	−72,9283	−23,3150	−48,0713

$$\tau_{30}^{(1)} = -\left[-\frac{5{,}0\cdot 5{,}0}{6}\cdot 2{,}5\cdot\frac{3}{8} - \frac{5{,}0\cdot 5{,}0}{6}\cdot 2{,}5\cdot\frac{3}{8} + \frac{5{,}0\cdot 5{,}0}{6}\,2{,}5\cdot\frac{3}{8}\,\frac{5{,}0 - 6\,\frac{0{,}128}{5{,}0}}{2\cdot 5{,}0 + 3\cdot 2{,}4 + 6\,\frac{0{,}128}{5{,}0}} + \frac{5{,}0\cdot 5{,}0}{6}\,2{,}5\,\frac{3}{8}\,\frac{2\cdot 5{,}0 + 6\,\frac{0{,}128}{5{,}0}}{2\cdot 5{,}0 + 3\cdot 3{,}6 + 6\,\frac{0{,}128}{5{,}0}}\right] = 4{,}8286\,.$$

$\tau_{10}^{(1)}$	$\tau_{20}^{(1)}$	$\tau_{30}^{(1)}$	$\tau_{40}^{(1)}$	$\tau_{50}^{(1)}$	$\tau_{60}^{(1)}$	$\tau_{70}^{(1)}$
0	1,6208	4,8286	5,0160	3,0028	0	0

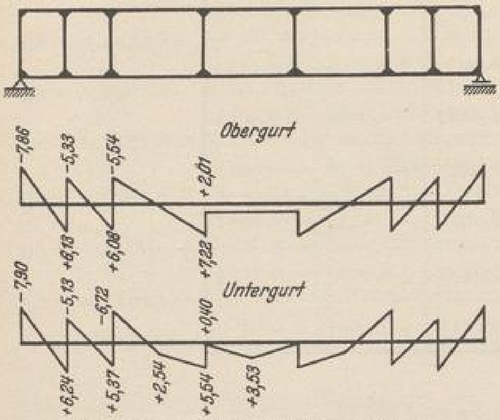


Abb. 475. Momente in mt für $g = 1,0$ t/m.

Ergebnis der Superposition.

$$
\begin{aligned}
Y_1 &= 6{,}1829 \text{ mt}, & X_1 &= -0{,}0568 \text{ mt},\\
Y_2 &= 5{,}7236 \text{ mt}, & X_2 &= 0{,}3560 \text{ mt},\\
Y_3 &= 6{,}3756 \text{ mt}, & X_3 &= 0{,}8397 \text{ mt},\\
Y_4 &= 1{,}2039 \text{ mt}, & X_4 &= 0{,}8053 \text{ mt},\\
Y_5 &= -6{,}1259 \text{ mt}, & X_5 &= 0{,}5907 \text{ mt},\\
Y_6 &= -5{,}2294 \text{ mt}, & X_6 &= -0{,}1000 \text{ mt},\\
Y_7 &= -7{,}8792 \text{ mt}, & X_7 &= 0{,}0225 \text{ mt},
\end{aligned}
$$

$$M_{21}^a = 5{,}7236 + 0{,}3560 = 6{,}08 \text{ mt},$$
$$M_{21}^b = 5{,}7236 - 0{,}3560 = 5{,}37 \text{ mt},$$
$$M_{23}^a = M_{54}^a = -6{,}1259 + 0{,}5907 = -5{,}54 \text{ mt},$$
$$M_{23}^b = M_{54}^b = -6{,}1259 - 0{,}5907 = -6{,}72 \text{ mt}.$$

Einflußlinie Y_3 für $P = 1$ t in 1, 2, 3, 4, 5, 6

$$\mathfrak{W}_{23} = -\frac{1}{6}\left(3 \cdot 5 + 2{,}4 + 12\,\frac{0{,}1067}{36}\right) = -2{,}9593,$$

$$\mathfrak{W}_{33} = \frac{1}{6}\left(3 \cdot 5 + 2{,}4 + 3{,}6 + 24\,\frac{5}{3{,}6^2}\,0{,}0533\right) = +3{,}7127,$$

$$\mathfrak{W}_{43} = -\frac{1}{6}\left(3{,}6 + 12\,\frac{0{,}128}{3{,}6}\right) = -0{,}6711.$$

$$
\begin{aligned}
\beta_{33}^{(y)}\,\mathfrak{W}_{23} &= -0{,}2433, & \beta_{32}^{(y)}\,\mathfrak{W}_{12} &= -0{,}0190, & \beta_{34}^{(y)}\,\mathfrak{W}_{34} &= -0{,}0276,\\
\beta_{33}^{(y)}\,\mathfrak{W}_{33} &= +0{,}3052, & \beta_{32}^{(y)}\,\mathfrak{W}_{22} &= +0{,}0245, & \beta_{34}^{(y)}\,\mathfrak{W}_{44} &= +0{,}0341,\\
\beta_{33}^{(y)}\,\mathfrak{W}_{43} &= -0{,}0552, & \beta_{32}^{(y)}\,\mathfrak{W}_{32} &= -0{,}0051, & \beta_{34}^{(y)}\,\mathfrak{W}_{54} &= -0{,}0058.
\end{aligned}
$$

Die Superposition der Anteile an jedem Knoten ergibt

$\mathfrak{W}_1$	$\mathfrak{W}_2$	$\mathfrak{W}_3$	$\mathfrak{W}_4$	$\mathfrak{W}_5$	$\mathfrak{W}_6$
−0,0190	−0,2188	+0,2725	−0,0211	−0,0058	0

$$A_{\mathfrak{w}} = -0{,}0382, \quad B_{\mathfrak{w}} = +0{,}0460, \quad Y_3 = M_{\mathfrak{w}}.$$

k =	1	2	3	4	5	6	7
$Q_{\mathfrak{w}}$ =	−0,0382	−0,0192	+0,1996	−0,0729	−0,0518	−0,0460	−0,0460
$Q_{\mathfrak{w}}c$ =	−0,0955	−0,0480	+0,3980	−0,3645	−0,2590	−0,1150	−0,1150
Y_3 =	−0,096	−0,140	+0,854	+0,490	+0,231	+0,116	0 mt

Ergänzung der Einflußlinie Y_3 für $P = 1$ t in 3′, 4′, 5′.

$$\Delta\delta_{k'k} = -\frac{c_k\,c_k'}{2}\,\omega_R = -\frac{5 \cdot 5}{2}\,\frac{1}{4} = -3{,}125, \qquad k = 3, 4, 5. \qquad \Delta Y_{3k'} = \beta_{3k}\,\delta_{k'k},$$

$$\Delta Y_{33'} = -0{,}0822 \cdot 3{,}125 = -0{,}257, \qquad \Delta Y_{34'} = -0{,}027, \qquad \Delta Y_{35'} = -0{,}003.$$

$$Y_{33'} = \frac{Y_{33} + Y_{32}}{2} + \Delta Y_{33'} = 0{,}098 \text{ mt}, \qquad Y_{34'} = 0{,}645 \text{ mt}, \qquad Y_{35'} = 0{,}357 \text{ mt}.$$

Einflußlinie X_3 für $P = 1$ t in 3′, 4′, 5′.

$$\tau_{3'2}^{(1)} = 0{,}6483, \quad \tau_{3'3}^{(1)} = 1{,}1255, \quad \tau_{4'3}^{(1)} = 0{,}8053, \quad \tau_{4'4}^{(1)} = 1{,}2011.$$

Feld c_3: $\quad X_{33'} = 0{,}2290\,(1{,}1255 - 0{,}2249 \cdot 0{,}6483) = 0{,}224$ mt,

Feld c_4: $\quad X_{34'} = 0{,}2290\,(0{,}8053 - 0{,}1817 \cdot 1{,}2011) = 0{,}134$ mt.

Einflußlinien $M_{32}^a = Y_3 + X_3$, $M_{32}^b = Y_3 - X_3$.

$k =$	1	2	3′	3	4′	4	5′	5
$M_{32}^a =$	− 0,096	− 0,144	0,322	0,854	0,779	0,490	0,334	0,231 mt
$M_{32}^b =$	− 0,096	− 0,144	− 0,126	0,854	0,511	0,490	0,338	0,321 mt

Die beiderseits anschließenden Teile sind geradlinig.

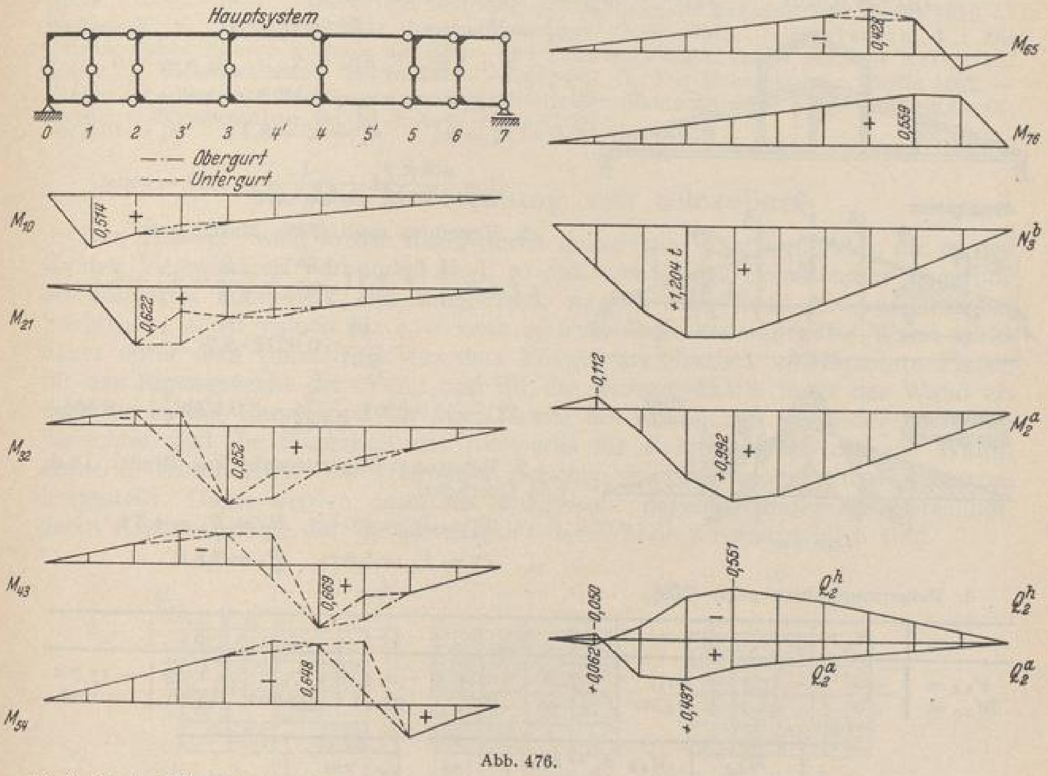


Abb. 476.

Einflußlinie $N_3^b = (M_{03} - 2\,Y_3)/h$.

$k =$	1	2	3′	3	4′	4	5′	5
$M_{03} =$	1,500	3,000	4,500	6,000	5,000	4,000	3,000	2,000
$N_3^b =$	0,470	0,913	1,200	1,192	1,031	0,839	0,635	0,491 t

Alle übrigen Einflußlinien ergeben sich in derselben Weise.

Ist das Trägheitsmoment des Untergurtes groß gegenüber dem des Obergurtes, so kann näherungsweise mit einem System nach Abb. 477 gerechnet werden. Die Einflußlinien für die Untergurtmomente haben dann die in Abb. 477 dargestellte Form.

$J_k^b = J_c = 0{,}1\ \mathrm{m}^4, \quad F_k^b = 1{,}0\,, \quad F_k^a = 0{,}2\ \mathrm{m}^2\,,$

$J_0 = J_1 = J_2 = 0{,}025\,, \quad J_3 = 0{,}0125\ \mathrm{m}^4\,,$

$F_0 = F_1 = F_2 = 0{,}30\,, \quad F_3 = 0{,}25\ \mathrm{m}^2\,,$

$\nu_0 = \nu_1 = \nu_2 = 0{,}8\,, \quad \nu_3 = 0{,}96\,.$

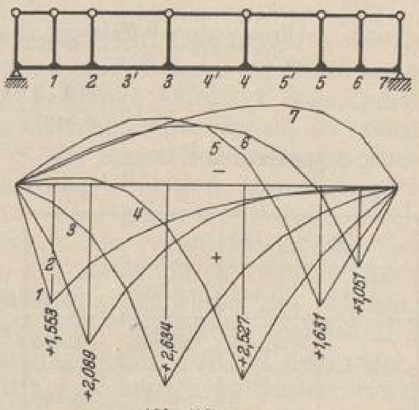


Abb. 477.

Berechnung eines Dachbinders mit vollwandigen Endfeldern (Abb. 478).

1. Geometrische Grundlagen.

$$c = 2{,}7\ \text{m}\,,\qquad h_0 = 1{,}8\,,\qquad h_1 = 2{,}7\,,\qquad h_2 = 3{,}6\ \text{m}\,,$$

$$c/s_k^a = \cos\alpha = 0{,}9487\,,\qquad J_c = J^b = J^a\cos\alpha\,,$$

$$J_c = 0{,}0031\ \text{m}^4\,,\qquad F^a = 0{,}155\,,\qquad F^b = 0{,}150\,,\qquad F^h = 0{,}105\ \text{m}^2\,,$$

$$J_c/F^a = 0{,}0201\,,\qquad J_c/F^b = 0{,}0208\,,\qquad J_c/F^h = 0{,}0297\ \text{m}^2\,,$$

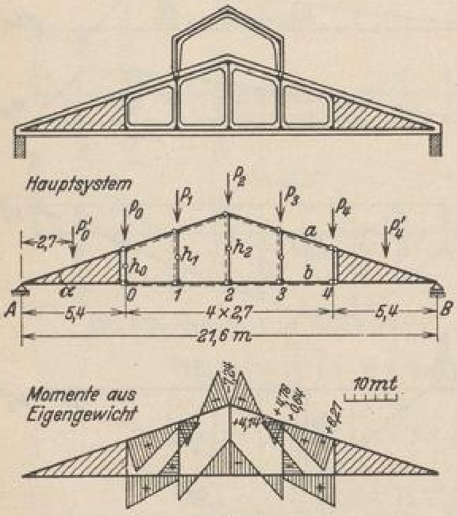


Abb. 478.

$$J_0^h = J_4^h = \infty\,,\qquad F_0^h = F_4^h = \infty\,,\qquad J_h = J_c/3;$$

$$\varkappa = 1{,}2\,,\qquad E/G = 2\,,\qquad \nu_0 = \nu_4 = 0\,,$$

$$\nu_1 = \nu_2 = \nu_3 = 0{,}0712\,,\qquad c' = c\,,$$

$$h_0' = h_4' = 0\,,\qquad h_1' = h_3' = 8{,}1\,,\qquad h_2' = 10{,}8\ \text{m}\,.$$

$$\zeta_k' = \frac{\cos\alpha}{2}\left(1 + \frac{1}{\cos^2\alpha}\right) = 1{,}00 = \text{const.}$$

2. Vorzahlen nach (768). Matrix s. u.

$$\delta_{11} = \frac{1}{3}\left[2\cdot 2{,}7\left(\frac{1{,}8^2}{2{,}7^2} + \frac{1{,}8}{2{,}7} + 1\right) + 8{,}1\right.$$
$$+ \frac{12}{2{,}7^2}\cdot 0{,}0712\cdot 2{,}7$$
$$\left. + 12\,\frac{2{,}7}{2{,}7^2}\left(0{,}0201\cdot\frac{1}{0{,}9487} + 0{,}0208\right)\right] = 6{,}465\,.$$

3. Belastung: Eigengewicht aus Binder, Dach und Oberlicht.

$$P_0' = P_4' = 4{,}0\ \text{t},\qquad P_0 = P_4 = 4{,}5\ \text{t},$$
$$P_1 = P_3 = 5{,}8\ \text{t},\qquad P_2 = 2{,}8\ \text{t}.$$

4. Belastungszahlen nach (769).

$k =$	A	0′	0	1	2	3	4	4′	B
$V_{k0} =$	0	15,7	11,7	7,2	1,4	−1,4	−7,2	−11,7	−15,7 t
$M_{k0} \doteq$	0	42,40	74,00	93,44	97,22	93,44	74,00	42,40	0 mt

k	$\dfrac{M_{k0}}{V_{k0}}$	$\dfrac{M_{k0}}{V_{k0}}\ \dfrac{h_k - h_{k-1}}{h_k\,c_k}$	ζ_k''	ζ_k'''	ζ_{k0}
1	12,99	1,60	−0,60	2,60	1,04
2	69,40	6,42	−5,42	7,42	1,01
3	−66,70	8,24	−7,24	9,24	1,01
4	−10,27	1,90	−0,90	2,90	1,03

$$\delta_{10} = 7{,}2\,\frac{-0{,}60}{6}\cdot 1{,}0\,[2{,}7\cdot 6{,}3 + 0] - 1{,}4\,\frac{-5{,}42}{6}\cdot 2{,}7\left(8{,}1 + \frac{0{,}854}{2{,}7}\right)$$
$$+ \frac{5{,}4}{2{,}7^2}\left(\frac{0{,}0201\cdot 1{,}04}{0{,}9487} + 0{,}0208\right)\cdot 93{,}44 = 19{,}44\,.$$

5. δ Matrix und Lösung.

Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	
6,465	−2,110			19,44
−2,110	9,445	−4,910		−93,19
	−4,910	16,800	−4,210	90,40
		−4,210	14,890	73,29

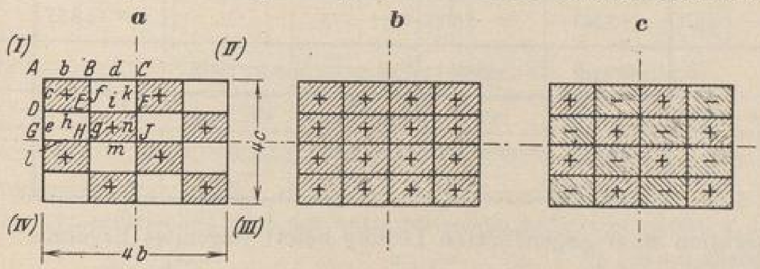
$$M_{10} = M_{34} = Y_1 = 0{,}64\ \text{mt}\,,$$
$$M_{21} = M_{23} = Y_2 = -7{,}24\ \text{mt}\,,$$
$$M_{32} = M_{12} = Y_3 = 4{,}78\ \text{mt}\,,$$
$$M_{43} = M_{01} = Y_4 = 6{,}27\ \text{mt}\,,$$
$$M_{k(k-1)}^a = M_{k(k-1)}^b\,,\qquad M_{kh}^a = -M_{kh}^b\,.$$
$$M_{1h}^b = -M_{3h}^b = 4{,}78 - 0{,}64 = 4{,}14\ \text{mt}\,,$$

Mit den Momenten sind auch die Quer- und Längskräfte bekannt. Die Schnittkräfte aus Wind- und Schneelast werden in gleicher Weise berechnet.

Mann, L.: Statische Berechnung steifer Vierecknetze. Berlin 1909 und Z. Bauw. 1909. — Derselbe: Das strebenlose Ständerfachwerk. Müller-Breslau-Festschrift. Leipzig 1912. — Engesser, F.: Die Berechnung der Rahmenträger. Z. Bauw. 1913. — Grüning, M.: Die Spannungen im Knotenpunkt eines Vierendeelträgers. Eisenbau 1914. — Lührs, J.: Die statische Berechnung des Rahmenträgers. Eisenbau 1915 S. 83. — Mohr, O.: Die Berechnung der Pfostenträger. Eisenbau 1915. — Derselbe: Beitrag zur Berechnung der Rahmenträger. Berlin 1915. — Engesser, F.: Die Berechnung der Rahmenträger. Berlin 1919. — Hartmann, F.: Die statisch unbestimmten Systeme des Eisen- und Eisenbetonbaues. Berlin 1922. — Kriso, K.: Statik der Vierendeelträger. Berlin 1922. — Spiegel, G.: Der Rahmenträger. Berlin 1922. — Vieser, F.: Statische Berechnung der Vierendeelträger. Bautechn. 1927 S. 263. — Domke, O.: Handb. f. Eisenbetonbau Bd. 10 3. Aufl. Berlin 1931.

53. Die Berechnung von Silozellen.

Der Zellensilo wird in der Regel durch senkrechte Wände gebildet, die in den Kanten biegungssteif verbunden sind, so daß rechteckige Behälter zur Lagerung des Füllgutes entstehen. Der Innendruck wächst nach S. 14 mit zunehmender Schütthöhe z, ist jedoch für $z = \text{const}$ in jeder Zelle konstant. Die Wand wirkt daher unter dem Innendruck aus dem Füllgut als elastisch eingespannte Platte, für das Eigengewicht der Wand und für die Reibungskräfte längs der Wand als Scheibe. In der Regel wird auf die Klärung des räumlichen Spannungszustandes verzichtet und die Sicherheit des Bauwerks für Kräfte winkelrecht zur Wandebene in Abschnitten des Tragwerks zwischen je zwei waagerechten Schnitten festgestellt. Diese werden dann als waagerecht liegende Stabwerke berechnet, deren Knoten infolge der Längssteifigkeit der Wände unverschieblich sind.



Vorgeschriebene Belastung p t/m

Belastungsanteil A durch $p/2$ mit Symmetrie zu beiden Achsen

Belastungsanteil B durch $p/2$ mit Antimetrie zu beiden Achsen

Abb. 479.

Das Tragwerk Abb. 479a besteht darnach aus elastisch eingespannten, gleichförmig belasteten Stäben $\overline{JK} = l_k$. Ihr Spannungszustand ist durch die Belastung p und die benachbarten Knotendrehwinkel φ_J, φ_K bestimmt. Wird der Querschnitt im Bereich der theoretischen Stablänge l_k als konstant angenommen, so lassen sich n Knotendrehwinkel des Stabnetzes nach S. 320 aus n Bedingungsgleichungen $\delta A_J = 0$ berechnen, in denen die Stabdrehwinkel Null sind. Der allgemeine Ansatz wird bei Symmetrie des Tragwerks nach einer oder zwei Achsen durch Umordnung der Belastung in Anteile mit Symmetrie oder Antimetrie zu einer der beiden Achsen vereinfacht und in jedem Falle am besten durch Iteration nach Abschn. 30 gelöst. Damit sind auch die Schnittkräfte des Stabnetzes bekannt. Sie entstehen nach (530) durch die Überlagerung der bekannten Schnittkräfte des gleichförmig belasteten, beiderseits eingespannten Stabes $J\,K$ mit denjenigen, welche durch die Verdrehung der Endquerschnitte J, K um φ_J, φ_K hervorgerufen werden. Das Ergebnis läßt sich mit der Bedingung nachprüfen, daß die Summe der