Die Statik im Stahlbetonbau

Beyer, Kurt

Berlin [u.a.], 1956

Zahlenbeispiele

Unstetige Ansätze: a) für Einzellasten, b) für veränderliches Trägheitsmoment. a) Bei einem nach beiden Seiten unendlich ausgedehnten Stabe darf der Angriffspunkt einer jeden Einzellast P_k und eines jeden Kräftepaares M_k als Symmetriepunkt angesehen werden, so daß der Verschiebungs- und Spannungszustand eines ausgezeichneten Querschnitts im Abstand x_k, (ξ_k) von dem Lastangriff P_k, M_k durch Superposition gefunden wird (Abb. 143).

$$\left.\begin{aligned} w &= \frac{1}{2\,L\,b\,c}\,\Sigma P_k(\zeta_{1k} + \zeta_{2k}), & \frac{d\,w}{d\,x} &= -\frac{1}{L^2\,b\,c}\,\Sigma P_k\,\zeta_{2k}, \\ M &= \frac{L}{4}\,\Sigma P_k(\zeta_{1k} - \zeta_{2k}), & Q &= -\frac{1}{2}\,\Sigma P_k\,\zeta_{1k}. \end{aligned}\right\} \tag{274}$$

Bei stetiger Belastung werden die Kräfte P_k durch $p(x)\,L\,d\xi$ und die Summenbildung durch Integration ersetzt.

Die Schnittkräfte aus der beliebigen Belastung eines unendlich langen Stabes gelten auch für den Stab mit einer vorgeschriebenen Länge l, wenn neben der

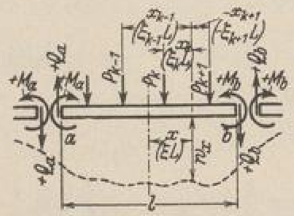

Abb. 143.

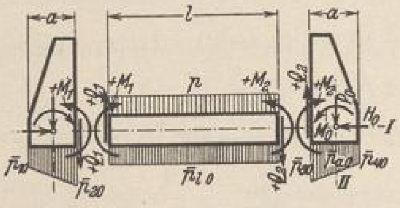

Abb. 144.

Belastung die den Enden a, b zugeordneten Schnittkräfte M_a, Q_a, M_b, Q_b des unendlich langen Stabes als äußere Kräfte wirken. Überlagert man diese Schnittkräfte nachträglich mit einer Zusatzlösung, welche für die negativen Kräfte $(M_a \ldots Q_b)$ als Randkräfte des Stabes l berechnet wird, so sind die Bedingungen für Gleichgewicht, Elastizität und geometrische Verträglichkeit unter den Einzellasten erfüllt. Damit kann die Lösung für den kurzen Stab ohne Zerlegung in stetige Integrationsbereiche angegeben werden. Die Randkräfte werden nach Abschn. 27 in symmetrische und antimetrische Anteile zerlegt, um das Ergebnis aus den bekannten Teillösungen (270) bis (273) unmittelbar zu entwickeln.

b) Die Bestimmung der Integrationskonstanten läßt sich auch bei wechselndem Trägheitsmoment umgehen, wenn die Lösung (260) für jeden Abschnitt $\overline{(i-1),\,i}$ des Trägers mit der vorgeschriebenen Belastung und den Schnittkräften M_{i-1}, Q_{i-1}, M_i, Q_i als äußeren Kräften angeschrieben wird. Diese zunächst unbekannten Schnittkräfte sind aus der Kontinuität der Formänderung des Stabes an den Intervallgrenzen bestimmt. An jedem Querschnitt i ist die gegenseitige Verschiebung $\delta_1^{(i)}$ und die gegenseitige Verdrehung $\delta_2^{(i)}$ der beiden i benachbarten Querschnitte Null. Bei zwei verschiedenen Trägheitsmomenten, also einfacher Unterteilung des Stabes ist daher nach dem Superpositionsgesetz

$$\begin{aligned} \delta_1 &= \delta_{10} - Q_i\,\delta_{11} - M_i\,\delta_{12} = 0, \\ \delta_2 &= \delta_{20} - Q_i\,\delta_{21} - M_i\,\delta_{22} = 0. \end{aligned} \tag{275}$$

Hierbei bezeichnen δ_{11}, δ_{12} nach S. 159 die gegenseitigen Verschiebungen der Querschnitte infolge $-Q_i = 1$ und $-M_i = 1$, δ_{22}, δ_{21} die gegenseitigen Verdrehungen der beiden Querschnitte infolge von $-M_i = 1$ und $-Q_i = 1$ (Abb. 144).

Beispiel zu a).

Die Schnittkräfte in dem Träger eines Brückenrahmens. (Abb. 145, 146.) Abmessungen des Trägers: $l = 11{,}5$ m, $b = 2{,}0$ m, $h = 0{,}8$ m, $J = 0{,}0853$ m^4, $E = 210000$ kg/cm^2. Der Leitwert c des Ansatzes (255) liegt zwischen den Grenzen $10 < c < 200$ kg/cm^3. Die Untersuchung wird daher für die beiden Grenzwerte durchgeführt, die Rechnung für $c = 10$ kg/cm³ angegeben und das Ergebnis für $c = 200$ kg/cm³ in ( ) hinzugefügt. Nach Gl. (259) ist

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 2100000 \cdot 0{,}0853}{2{,}0 \cdot 10000}} = 2{,}447 \text{ m } (1{,}157 \text{ m}) .$$

Die Stützen des Rahmens übertragen die Belastung des Überbaues aus Eigengewicht, Nutzlast und Wind. Hierbei ergeben sich die folgenden Längskräfte der Pfosten:

$$P_1 = 83 \text{ t}, \qquad P_2 = 91 \text{ t}, \qquad P_3 = 99 \text{ t}, \qquad P_4 = 107 \text{ t}.$$

1. Lösung für den unendlich langen Stab. Nach (274) wird

$$c\,\overline{w} = \frac{1}{2 \cdot 2{,}447 \cdot 2{,}0} \sum_{k=1}^{k=4} P_k (\zeta_{1k} + \zeta_{2k}) = 0{,}1022 \sum_{k=1}^{k=4} P_k (\zeta_{1k} + \zeta_{2k}),$$

$$\overline{M} = \frac{2{,}447}{4} \sum_{k=1}^{k=4} P_k (\zeta_{1k} - \zeta_{2k}) = 0{,}6116 \sum_{k=1}^{k=4} P_k (\zeta_{1k} - \zeta_{2k}), \qquad \overline{Q} = -\tfrac{1}{2} \sum_{k=1}^{k=4} P_k \zeta_{1k}.$$

Die Lasten wirken in gleichen Abständen, die auf ein Vielfaches einer Länge $a = \alpha L$ bezogen werden. Daher werden die Funktionen $c\overline{w}(\xi)$, $\overline{M}(\xi)$, $\overline{Q}(\xi)$ auch nur für eine Last $P = 1$ t berechnet ($c\overline{w}_0$, $\overline{M}_0$, $\overline{Q}_0$) und an jedem Querschnitt die mit den einzelnen Lasten $P_1 \ldots P_4$ erweiterten Beträge vorzeichengemäß addiert.

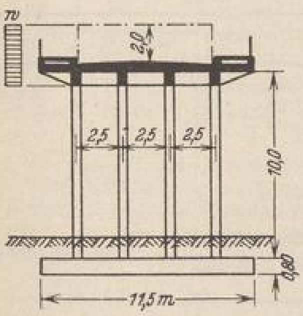

Abb. 145.

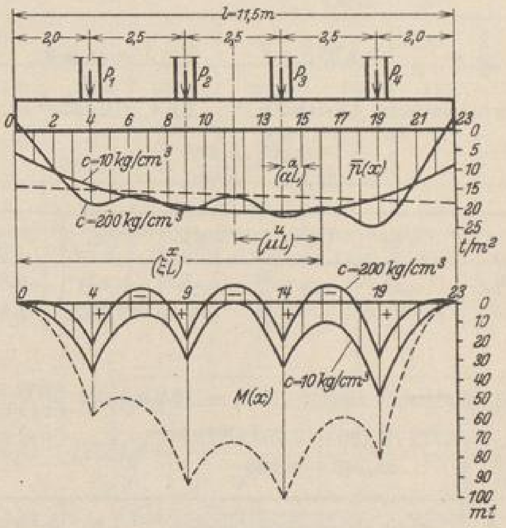

Abb. 146.

$$x = n \cdot a, \quad n = 0, 1, 2 \ldots 23, \quad a = 0{,}5 \text{ m}, \quad \xi = n\,\alpha = x/L.$$

n	x	ξ	$e^{-\xi}$	$\sin \xi$	$\cos \xi$	ζ_1	ζ_2	$(\zeta_1+\zeta_2)$	$(\zeta_1-\zeta_2)$	$c\,\overline{w}_0$	$\overline{M}_0$	$\overline{Q}_0$
0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0,1022	0,6116	−0,500
1	0,5	0,204	0,815	0,202	0,979	0,798	0,165	0,963	0,633	0,0984	0,3875	−0,399
2	1,0	0,409	0,664	0,398	0,918	0,610	0,264	0,874	0,346	0,0894	0,2120	−0,305
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

$$c\,\overline{w} = \sum_{k=1}^{k=4} P_k\, c\,\overline{w}_{0k}, \qquad \overline{M} = \sum_{k=1}^{k=4} P_k \overline{M}_{0k}, \qquad \overline{Q} = \sum_{k=1}^{k=4} P_k \overline{Q}_{0k}.$$

Die Superposition mit $P_1 = 83$ t, ..., $P_4 = 107$ t ergibt:

n	0..	..4..	..9	10	11	12	13	14..	..19..	..23	
$c\,\overline{w}$	5,6	13,2	19,1	19,7	20,1	20,4	20,5	20,5	16,1	7,3	t/m²
$\overline{M}$	−16,5	30,6	31,3	12,4	3,4	4,5	15,9	37,8	46,3	−17,3	mt
$\overline{Q}$	+ 7,07	+44,7 −38,3	+43,9 −47,1	−27,7	− 7,8	+12,3	+32,8	+53,5 −45,6	+48,8 −58,2	−10,9	t

2. Zusatzlösung für den kurzen Stab. Die negativen Schnittkräfte des unendlich langen Stabes für

$$n = 0: \quad -\overline{M} = -16{,}5\ \text{mt}, \quad -\overline{Q} = 7{,}07\ \text{t}; \qquad n = 23: \quad -\overline{M} = -17{,}3\ \text{mt}, \quad -\overline{Q} = -10{,}9\ \text{t}$$

werden als Randkräfte des kurzen Stabes eingeführt und nach (270) bis (273) in symmetrische (1) und antimetrische (2) Anteile zerlegt:

$$^{(1)}P_0 = 9{,}0\ \text{t}, \quad ^{(1)}M_0 = 16{,}9\ \text{mt}, \quad ^{(2)}P_0 = -1{,}93\ \text{t}, \quad ^{(2)}M_0 = -0{,}4\ \text{mt}.$$

Berechnung von $\eta_1 \ldots \eta_4$, bezogen auf die Abszisse $u = \mu \cdot L$

n	u	μ	$\sin\mu$	$\cos\mu$	$\mathfrak{Sin}\,\mu$	$\mathfrak{Cof}\,\mu$	η_1	η_4	η_2	η_3
12	0,25	0,102	0,101	0,995	0,102	1,005	1	0,010	0,101	0,102
13	0,75	0,307	0,302	0,953	0,311	1,047	0,998	0,094	0,296	0,316
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

$$\lambda = \frac{l}{L} = \frac{11{,}5}{2{,}447} = 4{,}70, \qquad \sin\lambda = -0{,}999, \qquad \sin\frac{\lambda}{2} = 0{,}711, \qquad \cos\frac{\lambda}{2} = -0{,}703,$$

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{4{,}70}{2} = 2{,}35, \qquad \mathfrak{Sin}\,\lambda = 54{,}969, \qquad \mathfrak{Sin}\,\frac{\lambda}{2} = 5{,}195, \qquad \mathfrak{Cof}\,\frac{\lambda}{2} = 5{,}290.$$

Symmetrische Lasten $^{(1)}P_0 = 9{,}0$ t. Gl. (270)

$$U_1 = \frac{-0{,}703 \cdot 5{,}290}{54{,}969 - 0{,}999} = -0{,}0689, \qquad U_4 = \frac{0{,}711 \cdot 5{,}195}{54{,}969 - 0{,}999} = 0{,}0684.$$

n	$U_1\eta_1$	$U_4\eta_4$	$^{(1)}c\,w_P$	$U_1\eta_4$	$U_4\eta_1$	$^{(1)}M_P$	$U_1(\eta_2+\eta_3)$	$U_4(\eta_2-\eta_3)$	$^{(1)}Q_P$
12	−0,069	0,001	−0,50	−0,001	0,068	−3,04	−0,014	0	−0,25
13	−0,069	0,006	−0,46	−0,006	0,068	−2,82	−0,042	−0,001	−0,74
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Symmetrische Lasten $^{(1)}M_0 = 16{,}9$ mt. Gl. (271)

$$U_1 = \frac{0{,}711 \cdot 5{,}290 + 0{,}703 \cdot 5{,}195}{54{,}969 - 0{,}999} = 0{,}1374, \qquad U_4 = \frac{-0{,}711 \cdot 5{,}290 + 0{,}703 \cdot 5{,}195}{54{,}969 - 0{,}999} = -0{,}0020.$$

n	$U_1\eta_1$	$U_4\eta_4$	$^{(1)}c\,w_M$	$U_1\eta_4$	$U_4\eta_1$	$^{(1)}M_M$	$U_1(\eta_2+\eta_3)$	$U_4(\eta_2-\eta_3)$	$^{(1)}Q_M$
12	0,137	0	0,77	0,001	−0,002	0,10	0,028	0	0,39
13	0,137	0	0,77	0,013	−0,002	0,51	0,084	0	1,16
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

In der gleichen Weise wird die Berechnung für die antimetrischen Anteile durchgeführt. Das Ergebnis ist für die andere Stabhälfte symmetrisch oder antimetrisch.

n	0..	..4..	..9	10	11	12	13	14..	..19..	..23	
$^{(1)}c\,w_P$	3,74	1,07	−0,37	−0,46	−0,50	−0,50	−0,46	−0,37	1,07	3,74	t/m²
$^{(1)}c\,w_M$	−2,93	0,05	0,76	0,77	0,77	0,77	0,77	0,76	0,05	−2,93	,,
$^{(2)}c\,w_P$	−0,78	−0,25	−0,01	−0,00	−0,00	0,00	0,00	0,01	0,25	0,78	,,
$^{(2)}c\,w_M$	0,07	−0,00	−0,01	−0,01	−0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	−0,07	,,
$^{(1)}M_P$	0	−6,96	−3,79	−2,82	−3,04	−3,04	−2,82	−3,79	−6,96	0	mt
$^{(1)}M_M$	16,90	10,26	1,29	0,51	0,10	0,10	0,51	1,29	10,26	16,90	,,
$^{(2)}M_P$	0	1,55	0,63	0,39	0,13	−0,13	−0,39	−0,63	−1,55	0	,,
$^{(2)}M_M$	−0,40	−0,26	−0,06	−0,03	−0,01	0,01	0,03	0,06	0,26	0,40	,,
$^{(1)}Q_P$	−9,00	0,23	1,15	0,74	0,25	−0,25	−0,74	− 1,15	−0,23	9,00	t
$^{(1)}Q_M$	0	−4,69	−1,94	−1,16	−0,39	0,39	1,16	1,94	4,69	0	,,
$^{(2)}Q_P$	1,93	−0,03	−0,50	−0,51	−0,51	−0,54	−0,51	−0,03	−0,49	1,93	,,
$^{(2)}Q_M$	0	0,10	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,10	0	,,

3. Die Superposition der Ergebnisse aus 1. und 2. liefert Bodendruck und Schnittkräfte:

Für $c = 10\ \mathrm{kg/cm^3}$

n	0	2	4	5	6	7	8	9	10	11	
$cw=\bar{p}$	5,7	10,3	14,1	15,5	16,7	17,8	18,7	19,5	20,0	20,4	t/m²
M	0	7,9	35,2	17,3	7,2	6,1	11,7	29,4	10,5	0,6	mt
Q	0	16,3	40,3 −42,7	−28,2	−11,8	5,7	23,5	42,6 −48,4	−28,6	−8,4	t

n	12	13	14	15	16	17	18	19	21	23	
$cw=\bar{p}$	20,7	20,8	20,9	20,7	20,3	19,5	18,8	17,5	13,6	8,8	t/m²
M	1,4	13,2	33,1	17,0	10,4	13,1	26,0	48,3	11,0	0	mt
Q	11,9	32,8	53,8 −45,2	−24,3	−4,2	16,0	35,4	53,3 −53,7	−22,8	0	t

Für $c = 200\ \mathrm{kg/cm^3}$

n	0	2	4	5	6	7	8	9	10	11	
$cw=\bar{p}$	−2,9	9,6	19,0	18,5	17,0	17,0	19,0	20,5	19,0	17,2	t/m²
M	0	1,2	21,1	2,7	−6,6	−7,4	0,6	18,0	− 0,1	−8,7	mt
Q	0	6,6	36,5 −46,5	−27,5	−9,8	6,9	24,9	44,8 −46,2	−26,3	−8,3	t

n	12	13	14	15	16	17	18	19	21	23	
$cw=\bar{p}$	17,6	20,2	22,4	21,3	20,0	20,8	23,4	24,5	12,5	−3,6	t/m²
M	−8,7	0,4	19,5	0,1	−8,8	−7,4	4,5	28,0	1,2	0	mt
Q	8,7	27,6	49,1 −49,9	−27,9	−7,3	12,8	34,9	59,2 −47,8	−8,7	0	t

$\bar{p}$ und M sind in Abb. 146 dargestellt.

Bei Anwendung des Geradliniengesetzes für $\bar{p}$ als Näherungslösung ergeben sich die in der Abb. 146 mit — — — gezeichneten Bodenpressungen und Biegungsmomente.

Beispiel zu b).

Die Berechnung der Sohle eines Trockendocks. (Abb. 147.) Spannungen bei gefüllter Dockkammer infolge Eigengewicht, Wasser und Erddruck. Ein Unterdruck auf die Sohle soll nicht vorhanden sein. Der Leitwert c des Ansatzes (255) liegt zwischen den Grenzen $10 < c < 200\ \mathrm{kg/cm^3}$. Die Untersuchung wird daher für die beiden Grenzwerte durchgeführt, die Rechnung für $c = 10\ \mathrm{kg/cm^3}$ angegeben und das Ergebnis für $c = 200\ \mathrm{kg/cm^3}$ in ( ) hinzugefügt.

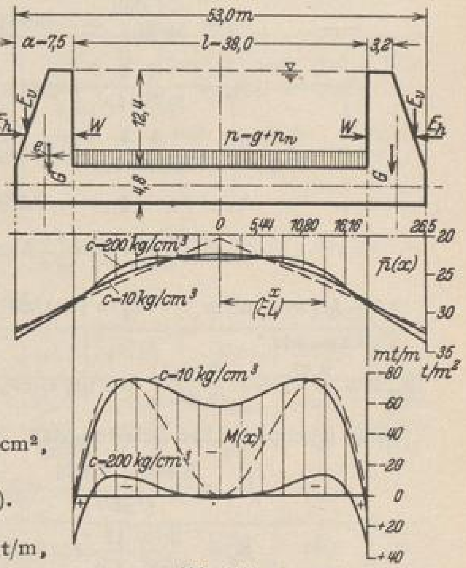

Abb. 147.

$$l = 38{,}0\ \mathrm{m}, \quad a = 7{,}5\ \mathrm{m}, \quad b = 1{,}0\ \mathrm{m},$$

$$J_l = 9{,}22\ \mathrm{m^4}, \quad J_a = \infty, \quad E = 210000\ \mathrm{kg/cm^2},$$

Gl. (259) $$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 2100000 \cdot 9{,}22}{1{,}0 \cdot 10000}} = 9{,}38\ \mathrm{m}\ (4{,}44\ \mathrm{m}).$$

$$G = 230\ \mathrm{t/m}, \quad (e = 0{,}605\ \mathrm{m}), \quad W = 77\ \mathrm{t/m},$$

$$E_h = 78\ \mathrm{t/m}, \quad E_v = 26\ \mathrm{t/m},$$

$$g = 10{,}8\ \mathrm{t/m^2}, \quad p_w = 12{,}4\ \mathrm{t/m^2}, \quad p = g + p_w = 23{,}2\ \mathrm{t/m^2}.$$

Die äußeren Kräfte an der Seitenwand werden im Schnittpunkt der beiden Achsen I, II Abb. 144 zusammengefaßt.

$$P_0 = 256\ \mathrm{t/m}, \quad H_0 = 1\ \mathrm{t/m}, \quad M_0 = 85{,}5\ \mathrm{mt/m}.$$

Bodendruck für Seitenwand und Sohle und Formänderungsgrößen δ_{11}, δ_{12} usw. für die rechte Hälfte des Systems (andere Hälfte symmetrisch) infolge:

1. P_0, H_0, M_0.

$$\bar{p}_{30} = \frac{P_0}{a\,b} - \frac{6\,M_0}{a^2\,b} = \frac{256}{7{,}5 \cdot 1{,}0} - \frac{6\,(-85{,}5)}{7{,}5^2 \cdot 1{,}0} = 43{,}280\ \mathrm{t/m^2}, \quad \bar{p}_{l0} = p = 23{,}200\ \mathrm{t/m^2},$$

$$\frac{c\,d\,w_{a\,0}}{d\,x} = \frac{12\,M_0}{a^3\,b} = \frac{12\,(-85{,}5)}{7{,}5^3 \cdot 1{,}0} = -2{,}440, \quad \frac{c\,d\,w_{l\,0}}{d\,x} = 0;$$

$$\delta_{10} = \bar{p}_{30} - p_{l\,0} = 43{,}280 - 23{,}200 = 20{,}080\ \mathrm{t/m^2}\ (20{,}080\ \mathrm{t/m^2}),$$

$$\delta_{20} = \frac{c\,d\,w_{a\,0}}{d\,x} - \frac{c\,d\,w_{l\,0}}{d\,x} = -2{,}440 - 0 = -2{,}440\ \mathrm{t/m^3}\ (-2{,}440\ \mathrm{t/m^3}).$$

2. $-Q_1 = 1\ \mathrm{t/m}$, $\quad -Q_2 = -1\ \mathrm{t/m}$.

Seitenwand:

$$\bar{p}_{31} = -\frac{4\,Q_2}{a\,b} = -\frac{4 \cdot 1}{7{,}5 \cdot 1{,}0} = -0{,}534\ \mathrm{t/m^2}, \frac{c\,d\,w_{a\,1}}{d\,x} = \frac{6\,Q_2}{a^2\,b} = \frac{6 \cdot 1}{7{,}5^2 \cdot 1{,}0} = 0{,}107\ \mathrm{t/m^3}.$$

Sohle (symmetrischer Belastungsfall, Abb. 139, $P_0 = 1$ t) Gl. (270):

$$\lambda = \frac{l}{L} = \frac{38}{9{,}38} = 4{,}05, \quad \sin\lambda = -0{,}789, \quad \sin\frac{\lambda}{2} = 0{,}898, \quad \cos\frac{\lambda}{2} = -0{,}439,$$

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{4{,}05}{2} = 2{,}025, \quad \mathfrak{Sin}\,\lambda = 28{,}690, \quad \mathfrak{Sin}\,\frac{\lambda}{2} = 3{,}723, \quad \mathfrak{Cos}\,\frac{\lambda}{2} = 3{,}853.$$

Für $x = \frac{l}{2}$ wird nach Gl. (270):

$$\bar{\eta}_1 = \cos\frac{\lambda}{2}\,\mathfrak{Cos}\,\frac{\lambda}{2} = -0{,}439 \cdot 3{,}853 = -1{,}693, \quad \bar{\eta}_2 = \cos\frac{\lambda}{2}\,\mathfrak{Sin}\,\frac{\lambda}{2} = -0{,}439 \cdot 3{,}723 = -1{,}638,$$

$$\bar{\eta}_4 = \sin\frac{\lambda}{2}\,\mathfrak{Sin}\,\frac{\lambda}{2} = 0{,}898 \cdot 3{,}723 = 3{,}345, \quad \bar{\eta}_3 = \sin\frac{\lambda}{2}\,\mathfrak{Cos}\,\frac{\lambda}{2} = 0{,}898 \cdot 3{,}853 = 3{,}460,$$

$$U_1 = \frac{-1{,}693}{27{,}901} = -0{,}061, \qquad U_4 = \frac{3{,}345}{27{,}901} = 0{,}120,$$

$$\bar{p}_{l_1} = \frac{4 \cdot 1}{9{,}38 \cdot 1{,}0}\,(0{,}061 \cdot 1{,}693 + 0{,}120 \cdot 3{,}345) = 0{,}215\ \mathrm{t/m^2},$$

$$\frac{c\,d\,w_{l_1}}{d\,x} = \frac{4 \cdot 1}{9{,}38^2 \cdot 1{,}0}\,(0{,}061 \cdot 5{,}098 + 0{,}120 \cdot 1{,}822) = 0{,}024\ \mathrm{t/m^3};$$

$$\delta_{11} = \bar{p}_{31} - \bar{p}_{l_1} = -0{,}534 - 0{,}215 = -0{,}749\ \mathrm{t/m^2}\ (-0{,}983\ \mathrm{t/m^2}),$$

$$\delta_{21} = \frac{c\,d\,w_{a_1}}{d\,x} - \frac{c\,d\,w_{l_1}}{d\,x} = 0{,}107 - 0{,}024 = 0{,}083\ \mathrm{t/m^3}\ (0{,}005\ \mathrm{t/m^3}).$$

3. $-M_1 = 1\ \mathrm{mt/m}$, $-M_2 = 1\ \mathrm{mt/m}$.

Seitenwand:

$$\bar{p}_{32} = -\frac{6\,M_2}{a^2 b} = -\frac{6\,(-1)}{7{,}5^2 \cdot 1} = 0{,}107\ \mathrm{t/m^2}, \quad c\,\frac{d\,w_{a_2}}{d\,x} = +\frac{12\,M_0}{a^3\,b} = \frac{12\,(-1)}{7{,}5^3 \cdot 1{,}0} = -0{,}029\ \mathrm{t/m^3}.$$

Sohle (symmetrischer Belastungsfall, Abb. 140, $M_0 = -1$ mt) Gl. (271):

$$U_1 = \frac{3{,}460 + 1{,}638}{27{,}901} = 0{,}183, \quad U_4 = -\frac{3{,}460 - 1{,}638}{27{,}901} = -0{,}065,$$

$$\bar{p}_{l_2} = \frac{4\,(-1)}{9{,}38^2 \cdot 1{,}0}\,(-0{,}183 \cdot 1{,}693 - 0{,}065 \cdot 3{,}345) = 0{,}024\ \mathrm{t/m^2},$$

$$\frac{c\,d\,w_{l_2}}{d\,x} = \frac{4\,(-1)}{9{,}38^3 \cdot 1{,}0}\,(-0{,}183 \cdot 5{,}098 - 0{,}065 \cdot 1{,}822) = 0{,}005\ \mathrm{t/m^3};$$

$$\delta_{12} = \bar{p}_{32} - \bar{p}_{l_2} = 0{,}107 - 0{,}024 = 0{,}083\ \mathrm{t/m^2}\ (0{,}005\ \mathrm{t/m^2}),$$

$$\delta_{22} = \frac{c\,d\,w_{a_2}}{d\,x} - \frac{c\,d\,w_{l_2}}{d\,x} = -0{,}029 - 0{,}005 = -0{,}034\ \mathrm{t/m^3}\ (-0{,}074\ \mathrm{t/m^3}).$$

Bedingungen für die Schnittkräfte aus der Kontinuität (275):

$$20{,}080 + 0{,}749\,Q_2 - 0{,}083\,M_2 = 0\,,$$
$$-\ 2{,}440 - 0{,}083\,Q_2 + 0{,}034\,M_2 = 0\,,$$

woraus

$$M_2 = M_1 = \quad 8{,}67\ \mathrm{mt/m}\ (\quad 31{,}40\ \mathrm{mt/m})\,,$$
$$-Q_2 = Q_1 = -\,25{,}85\ \mathrm{t/m}\quad (-\,20{,}25\ \mathrm{t/m})\,.$$

4. Schnittkräfte in der Sohle aus $p = 23{,}2\ \mathrm{t/m^2}$.

$$\bar{p}(x) = p = 23{,}2\ \mathrm{t/m}\,,\qquad M = 0\,,\qquad Q = 0\,.$$

5. Schnittkräfte in der Sohle aus M_1, M_2, Q_1, $-Q_2$. Berechnung von $\eta_1 \ldots \eta_4$.

x	ξ	$\sin\xi$	$\cos\xi$	$\mathfrak{Sin}\,\xi$	$\mathfrak{Cof}\,\xi$	η_1	η_4	η_2	η_3	$\eta_2+\eta_3$	$\eta_2-\eta_3$
0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
2,72	0,29	0,286	0,958	0,294	1,042	1	0,084	0,282	0,298	0,580	−0,016
5,44	0,58	0,548	0,836	0,613	1,173	0,981	0,336	0,513	0,644	1,157	−0,131
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Symmetrische Belastung ${}^{(1)}P_0 = -\,Q_2 = -\,25{,}85$ t/m. Gl. (270). Nach 2. ist $U_1 = -\,0{,}061$, $U_4 = 0{,}120$.

x	$U_1\eta_1$	$U_4\eta_4$	${}^{(1)}\bar{p}_P$	$U_1\eta_4$	$U_4\eta_1$	${}^{(1)}M_P$	$U_1(\eta_2+\eta_3)$	$U_4(\eta_2-\eta_3)$	${}^{(1)}Q_P$
0	−0,061	0	−0,67	0	0,120	−58,3	0	0	0
2,72	−0,061	0,010	−0,56	−0,005	0,110	−60,7	−0,035	−0,002	−1,71
5,44	−0,060	0,040	−0,22	−0,021	0,118	−67,6	−0,070	−0,016	−2,79
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	

Symmetrische Belastung ${}^{(1)}M_0 = M_2 = 8{,}47$ mt/m, Gl. (271). Nach 3. ist $U_1 = 0{,}183$, $U_4 = -\,0{,}065$.

x	$U_1\eta_1$	$U_4\eta_4$	${}^{(1)}\bar{p}_M$	$U_1\eta_4$	$U_4\eta_1$	${}^{(1)}M_M$	$U_1(\eta_2+\eta_3)$	$U_4(\eta_2-\eta_3)$	${}^{(1)}Q_M$
0	0,183	0	0,07	0	−0,065	1,10	0	0	0
2,72	0,183	−0,005	0,07	0,002	−0,065	1,14	0,106	0,001	0,19
5,44	0,180	−0,022	0,06	0,061	−0,064	2,12	0,212	0,009	0,37
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

6. Die Superposition der Ergebnisse aus 4. und 5. liefert Bodendruck und Schnittkräfte:

Für $c = 10\ \mathrm{kg/cm^3}$

x	0	2,72	5,44	8,08	10,8	13,5	16,16	19,0	26,5	m
$\bar{p}(x)$	22,6	22,7	23,1	23,7	24,5	25,6	27,0	28,6	32,8	t/m²
$M(x)$	−57,2	−59,6	−65,5	−72,0	−75,5	−69,5	−45,0	8,7	—	mt/m
$Q(x)$	0	− 1,5	− 2,4	− 2,1	0,6	5,2	13,4	25,9	—	t/m

Für $c = 200\ \mathrm{kg/cm^3}$

x	0	2,72	5,44	8,08	10,8	13,5	16,16	19,0	26,5	m
$\bar{p}(x)$	23,0	23,0	23,0	23,0	23,4	24,6	23,7	29,1	33,7	t/m²
$M(x)$	1,2	0,5	−1,4	−5,2	−10,0	−13,1	−5,0	+31,4	—	mt/m
$Q(x)$	0	−0,4	−1,0	−1,7	− 1,8	− 0,2	6,6	20,3	—	t/m

$\bar{p}$ und M sind in Abb. 147 dargestellt.

Bei Anwendung der Näherungsrechnung nach Foerster: Taschenb. f. Bauing. Bd. 2, 5. Aufl. S. 585 ergeben sich die in der Abb. 147 mit ——— gezeichneten Bodenpressungen und Biegungsmomente.