



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Statik im Stahlbetonbau

Beyer, Kurt

Berlin [u.a.], 1956

59. Der durchlaufende Bogenträger

[urn:nbn:de:hbz:466:1-74292](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-74292)

trägers mit biegeungssteifem Zugband oder Streckträger ist auf S. 270 abgeschätzt worden.

Bleich, F.: Die Berechnung statisch unbestimmter Tragwerke mit der Methode des Viermomentensatzes, 2. Aufl. Berlin 1925. — Girkmann, K.: Berechnung von Rahmen-Bogenträgern mit beliebigen Gurtquerschnitten. Stahlbau 1929 S. 253. — Maillart: Leichte Eisenbetonbrücken in der Schweiz. Bauing. 1931 S. 165. — Nielsen, O. F.: Bogenträger mit schräggestellten Hängestangen. Abhandlung d. Internat. Vereinigung f. Brückenbau u. Hochbau Bd. 1 S. 355. Zürich 1932.

59. Durchlaufende Bogenträger.

Die Mittellinie der durchlaufenden Bogenträger des Brücken- und Hochbaues ist stetig gekrümmt oder geradlinig gebrochen. Die Träger sind über den Stützen starr oder frei drehbar verbunden und stützen sich auf Pfeiler oder senkrechte Pfosten. Die Stützenquerschnitte sind starr oder frei drehbar, beweglich oder unverschieblich, elastisch drehbar oder elastisch verschieblich angeschlossen, so daß der wesentliche Anteil des Widerstandes entweder den Pfosten oder den Riegelstäben des Tragwerks zufällt.

Ist die Formänderung der Pfeiler ohne Einfluß auf den Spannungszustand der Träger, so werden die Schnittkräfte am einfachsten aus den geometrischen Bedingungen für die Formänderung eines statisch bestimmten oder unbestimmten Hauptsystems abgeleitet. Diese Rechnung verdient auch in allen anderen Fällen den Vorzug, wenn das Lösungsergebnis nicht durch ungünstige Fehlerfortpflanzung beeinträchtigt wird. Als statisch unbestimmte Hauptsysteme dienen die Rahmen und Bogenträger, deren Schnittkräfte aus den Tabellen in Abschn. 55, 56 und 61 bekannt sind oder in erster Stufe mit dreigliedrigen Bedingungen angegeben werden können.

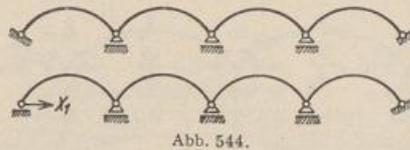


Abb. 544.

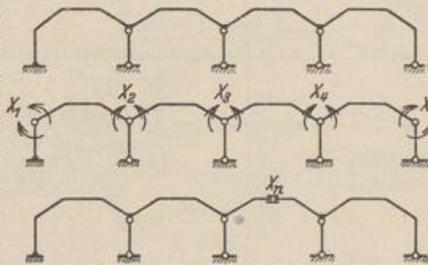


Abb. 545.

1. Der durchlaufende Bogen mit frei drehbarer Verbindung der Träger über den beweglich gelagerten Zwischenstützen ist einfach statisch unbestimmt. Die Bogenwirkung ist gering, da die Verschiebung δ_{10} aus der Belastung eines Feldes ebenso groß ist wie beim Zweigelenkbogen, dagegen die Verschiebung δ_{11} mit der Anzahl der Felder wächst (Abb. 544).

2. Der durchlaufende Bogen mit starrer Verbindung der Träger und beweglicher Lagerung der Zwischenstützen kann aus der Formänderung eines statisch bestimmten oder statisch unbestimmten Hauptsystems berechnet werden. Das eine besteht aus der Reihe einfacher Träger, das andere ist ein durchlaufender Balkenträger mit der Bogenkraft X_n als überzähliger Größe (Abb. 545).



Abb. 546. Durchgehender Bogenträger auf frei drehbaren Stützpunkten mit oder ohne Scheitelgelenk.

Die statisch unbestimmten Schnittkräfte des Hauptsystems können daher nach Abschn. 47 mit einer Gruppe dreigliedriger Bedingungen abgeleitet werden. Damit sind die Biegemomente $M_0^{(n-1)}$, $M_n^{(n-1)}$ also nach (305) auch die Verschiebungen $\delta_{n0}^{(n-1)}$, $\delta_{nn}^{(n-1)}$ bestimmt, so daß

$$X_n = \delta_{n0}^{(n-1)} / \delta_{nn}^{(n-1)} \quad \text{und} \quad M = M_0^{(n-1)} - X_n M_n^{(n-1)}.$$

3. Der durchlaufende Bogenträger mit frei drehbaren, aber unverschieblichen Zwischenstützen kann aus den geometrischen Bedingungen für die Form-

änderung eines Hauptsystems untersucht werden, an dem die Stützenmomente als überzählige Größen wirken. Der Ansatz ist dreigliedrig. Es besteht daher keine Veranlassung, die Schnittkräfte nach Abschn. 41 aus den Knotendrehwinkeln

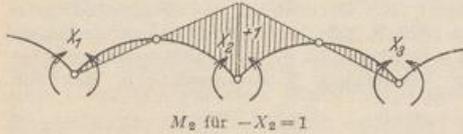


Abb. 547. Das statisch bestimmte Hauptsystem bei Anordnung von Scheitelgelenken. Die überzähligen Größen sind die Stützenmomente. Die Bedingungsgleichungen lauten bei Parabelform des Bogens und bei einer Querschnittsveränderung nach $f_c: f \cos \alpha = 1$
 $-X_1 l'_2 + 4 X_2 (l'_2 + l'_3) - X_3 l'_3 = 30 \delta_{20}^{(0)}$

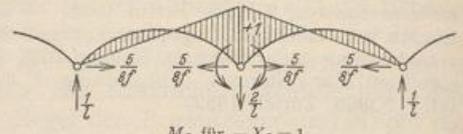


Abb. 548. Das statisch unbestimmte Hauptsystem besteht bei einem Träger ohne Scheitelgelenke aus einer Reihe von Zweigelenkbogen. Die überzähligen Größen sind die Stützenmomente. Die Bedingungsgleichungen lauten bei Parabelform des Bogens und bei einer Querschnittsveränderung nach $f_c: f \cos \alpha = 1$
 $-X_1 l'_2 + 3 X_2 (l'_2 + l'_3) - X_3 l'_3 = 24 \delta_{20}^{(5)}$

abzuleiten, denn die statischen Bedingungsgleichungen (583) mit $\psi_0 = 0$ sind ebenfalls dreigliedrig. Dagegen läßt sich leicht dabei erkennen, daß der Spannungszustand eines Abschnittes von dem der anschließenden Felder weniger abhängt als beim durchlaufenden Balkenträger und daß die starre Einspannung der Trägerenden die Zerlegung des Trägers in statisch voneinander unabhängige Abschnitte bedeutet (Abb. 546 bis 548).

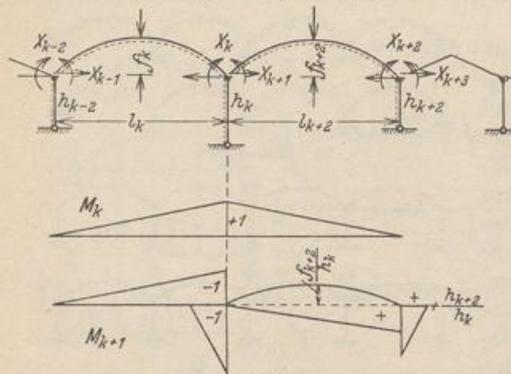


Abb. 549.

4. Der durchlaufende Bogenträger mit Pfosten auf frei drehbaren Enden läßt sich aus den geometrischen Verträglichkeitsbedingungen des statisch bestimmten Hauptsystems Abb. 549 berechnen. Der Ansatz erhält folgende Form:

$$\left. \begin{aligned}
 &+ l'_k X_{k-2} + 2 \frac{h_k + f_k}{h_{k-2}} l'_k X_{k-1} + 2 (l'_k + l'_{k+2}) X_k \\
 &- \left(2 l'_k - \frac{h_{k+2} + 2 f_{k+2}}{h_k} l'_{k+2} \right) X_{k+1} + l'_{k+2} X_{k+2} - l'_{k+2} X_{k+3} = 6 \delta_{k0} \\
 &- l'_k X_{k-2} - 2 \left(\frac{h_k}{h_{k-2}} h'_k + \frac{h_k + f_k}{h_{k-2}} l'_k \right) X_{k-1} - \left(2 l'_k - \frac{h_{k+2} + 2 f_{k+2}}{h_k} l'_{k+2} \right) X_k \\
 &+ 2 \left[l'_k + h'_k + \frac{h_{k+2}^2}{h_k^2} (l'_{k+2} + h'_{k+2}) + \frac{8}{5} \frac{f_{k+2}^2}{h_k^2} l'_{k+2} + 2 \frac{f_{k+2} h_{k+2}}{h_k^2} l'_{k+2} \right] X_{k+1} \\
 &+ 2 \frac{h_{k+2} + f_{k+2}}{h_k} l'_{k+2} X_{k+2} - 2 \left(\frac{h_{k+2} + f_{k+2}}{h_k} l'_{k+2} + \frac{h_{k+2}}{h_k} h'_{k+2} \right) X_{k+3} = 6 \delta_{(k+1)0}
 \end{aligned} \right\} \quad (863)$$

c

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

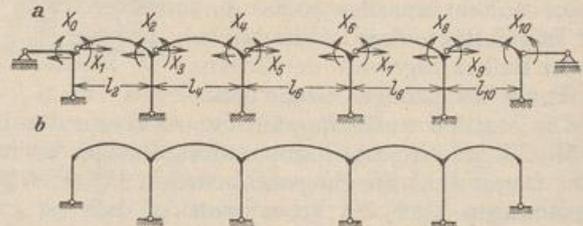


Abb. 550.

Je nachdem die Rahmenstellung nach Abb. 550a oder b abschließt, gilt in Abb. 550c die vollständige Matrix oder ihr umrandeter Kern. Der Ansatz wird

nach S. 219ff. aufgelöst. Der Abschluß der Rechnung nach S. 252 bedarf keiner Erläuterung. Dasselbe gilt bei Verwendung eines statisch unbestimmten Hauptsystems nach Abb. 551, dessen Spannungszustand für jeden Belastungsfall nach den Tabellen Abschn. 61 angeschrieben werden kann. Bei Symmetrie des Stabnetzes entsteht dann die folgende Rechenvorschrift:

Das Hauptsystem ist einfach statisch unbestimmt und die Bogenkraft H des mittleren Abschnitts überzählige Größe der ersten Eliminationsstufe. $H = Y_a$. Sie ist bei antimetrischer Belastung des Hauptsystems Null oder statisch bestimmt. Aus den symmetrisch liegenden statisch unbestimmten Schnittkräften der zweiten Eliminationsstufe (Abb. 551b) werden nach Abschn. 28 folgende Gruppenlasten gebildet:

$$X_1 = \frac{X_a + X_d}{2}, \quad X_2 = \frac{X_c - X_d}{2},$$

$$X_3 = \frac{X_b + X_c}{2}, \quad X_4 = \frac{X_b - X_c}{2}.$$

Nach Tabelle 45 ist für den mittleren Rahmen ($J_b = J_c/3$), $\kappa = 0,1333$, $\varphi = 0,45$, $\mu = 26,9430$ und mit den Werten Φ für $-X_1 = 1$: $H = -W\Phi = +0,25 \cdot 0,227 = 0,0567$ t,

$-X_3 = 1$: $H = \frac{M}{h} \Phi = \frac{1}{4,0} \cdot 0,724 = 0,1810$ t,

$-X_2 = 1$: $H_a = -H_b = \frac{1}{h} = 0,25$ t,

$-X_4 = 1$: $H = 0$.

Bei gleichförmiger Belastung der Endfelder ist $H = 0$, bei gleichförmiger Belastung $p = 3$ t/m des mittleren Abschnitts (Abb. 552) nach S. 583

$$H = \frac{p l}{8} \lambda \Phi = \frac{3 \cdot 10,0}{8} \cdot \frac{10}{4} \cdot 0,505 = 4,731$$
 t.

Der symmetrische (1) und antimetrische (2) Anteil $w/2$ einer waagerechten Belastung $w = 0,75$ t/m des linken Endpfostens (Abb. 553) liefert nach S. 584

(1) $H = -W\Phi = -\frac{w}{2} \cdot \frac{4}{2} \Phi = -0,75 \cdot 0,227 = -0,170$ t,

(2) $H_b = -$ (2) $H_a = \frac{W}{2} = \frac{0,75}{2} = 0,375$ t.

Damit sind die Schnittkräfte des Hauptsystems aus der vorgeschriebenen Belastung (Abb. 554) und aus $-X_1 = 1$ usw. bekannt, so daß die Verschiebungen $\delta_k^{(1)}$, $\delta_k^{(2)}$, $\delta_k^{(3)}$ des Hauptsystems nach S. 161 angegeben werden können.

Symmetrischer Anteil

X_1	X_3
15,870	6,467
6,467	7,263

Antimetrischer Anteil

X_2	X_4
19,937	3,000
3,000	10,000

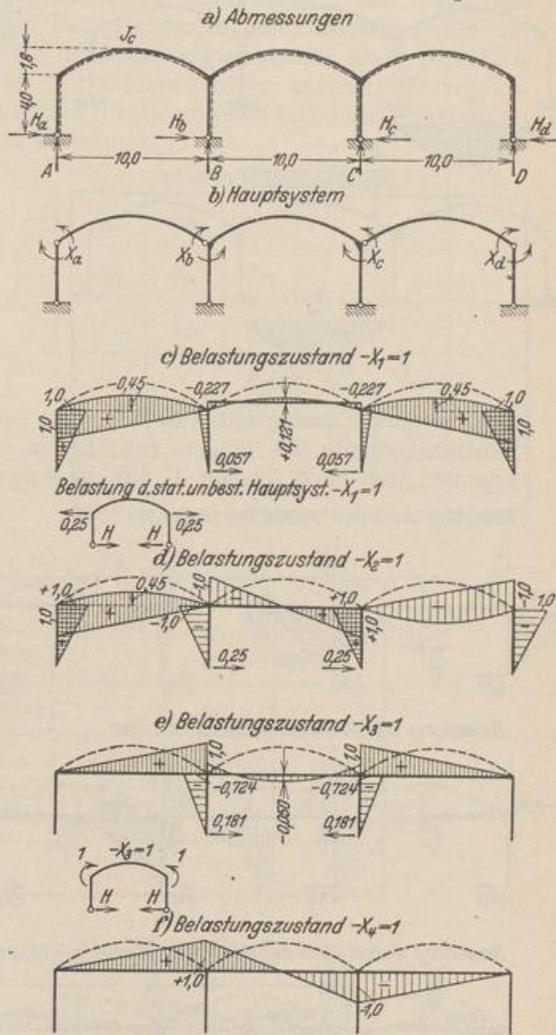


Abb. 551.

5. Die durchlaufenden Bogenträger auf elastisch drehbaren Stützen mit frei drehbaren oder eingespannten Enden lassen sich nach einheitlichen Regeln untersuchen, wenn die Längskräfte im Bogenscheitel als überzählige Größen

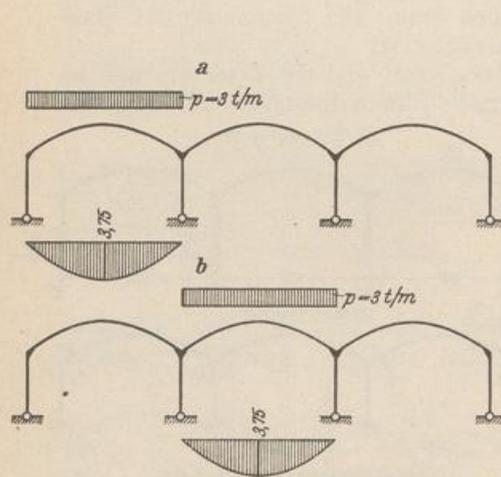


Abb. 552.

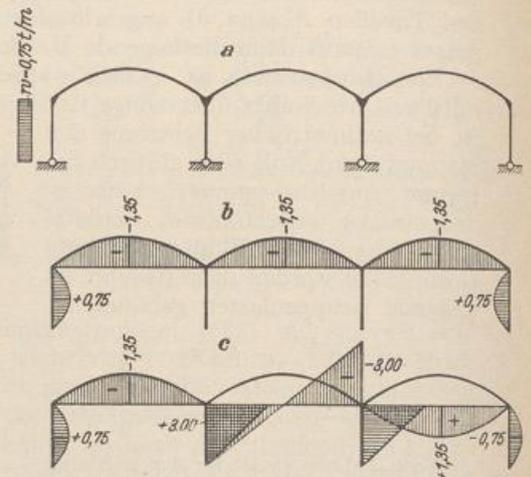
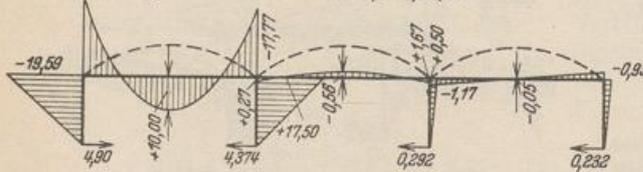


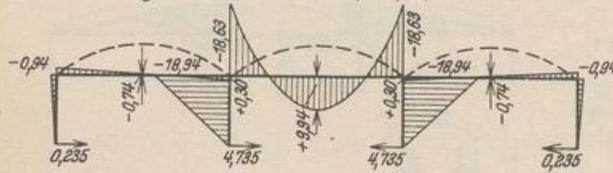
Abb. 553.

einer zweiten Eliminationsstufe bestimmt werden, so daß die statisch unbestimmten Stützenmomente des Trägers zunächst in einem durchlaufenden Balkenträger erscheinen und nach Abschn. 47 für die vorgeschriebene Belastung und die äußeren

Belastung des linken Feldes mit $p = 3,0 \text{ t/m}$



Belastung des Mittelfeldes mit $p = 3,0 \text{ t/m}$



Belastung durch Wind auf den linken Pfosten $nu = 0,755 \text{ t/m}$

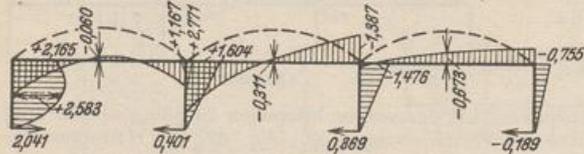
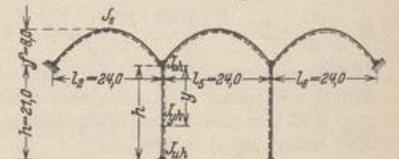


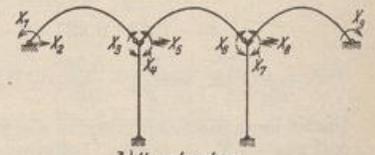
Abb. 554.

Kräfte $-X_3 = 1$ usw. aus dreigliedrigen Bedingungsbedingungen hervorgehen. In jedem Falle entsteht dann die folgende Rechenvorschrift:

Die geometrischen und elastischen Eigenschaften des Stabnetzes (Abb. 555) werden möglichst einfach gewählt, um



a) Abmessungen



b) Hauptsystem

Abb. 555.

übersichtlich zu rechnen. Die Mittellinie des Trägers wird daher als Parabel angenommen, für die Querschnitte gilt $J_s/J \cos \alpha = 1$. Die Querschnitte des Zwischenpfeilers mit J_{vh} sollen mit $n = J_{oh} : J_{uh}$ die Funktion $J_{oh}/J_{vh} = 1 - (1 - n) y^2/h^2$ erfüllen. Die waagerechte Verschiebung ϵ_{11} und die Verdrehung ϵ_{21} des Stützenkopfes durch eine waagerechte Kraft 1 ist daher im statisch bestimmten Haupt-

system nach Abschn. 18

$$\epsilon_{11} = \int y^2 \frac{J_c}{J} dy = \frac{h^2 h'}{15} (2 + 3n), \quad \epsilon_{21} = \int y \frac{J_c}{J} ds = \frac{h h'}{4} (1 + n).$$

Ein Kräftepaar 1 am Stützkopf führt zur Verdrehung

$$\epsilon_{22} = \int \frac{J_c}{J} dy = \frac{h'}{3} (2 + n), \quad h' = h \frac{J_s}{J_{oh}}$$

Das Tragwerk zählt neun statisch unbestimmte Schnittkräfte, von denen die Längskräfte X_2, X_5, X_8 im Scheitel der Bogenträger in einer zweiten Stufe berechnet werden, so daß die erste nur die Einspannungsmomente eines sechsfach statisch unbestimmten Balkenträgers als überzählige Größen enthält. Sie werden durch $X_1^{(6)} = Y_1 \dots X_6^{(6)} = Y_6$ bezeichnet und für die vorgeschriebenen Belastungen $P, -X_2 = 1$ aus dem folgenden Ansatz berechnet:

Die $6 EJ_s/l'$ -fachen Beträge der Verschiebungen sind

$$\delta'_{11} = 2, \quad \delta'_{12} = 1, \quad \delta'_{22} = 2 + \frac{6}{l} \epsilon_{22},$$

$$\delta'_{23} = -\frac{6}{l} \epsilon_{22}.$$

Mit $l = l' = 24,0 \text{ m}, h = 21,0 \text{ m},$

$$J_s = 0,018 \text{ m}^4, \quad J_{oh} = 0,0833 \text{ m}^4,$$

$$J_{wh} = 0,667 \text{ m}^4,$$

$$n = 0,0833/0,667 = 0,125, \quad h' = 4,54 \text{ m}$$

nach Abb. 555 ist

$$\epsilon_{11} = 317,0, \quad \epsilon_{12} = 26,8, \quad \epsilon_{22} = 3,21,$$

$$\delta'_{22} = 2,8025, \quad \delta'_{23} = -0,8025.$$

Bedingungsgleichungen der ersten Stufe:

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
1	2	1				
3	1	2,8025	-0,8025			
4		-0,8025	2,8025	1		
6			1	2,8025	-0,8025	
7				-0,8025	2,8025	1
9					1	2

Konjugierte Matrix nach Abschnitt 29:

$$\begin{matrix} & -\kappa_{21} & -\kappa_{32} & -\kappa_{43} & -\kappa_{54} & -\kappa_{65} \\ \rightarrow & -0,394501 & +0,333525 & -0,396385 & +0,348534 & -0,500000 & \rightarrow \end{matrix}$$

1	+0,622859	-0,245718	-0,081953	+0,032485	+0,011322	-0,005661	
3	-0,245718	+0,491437	+0,163907	-0,064970	-0,022644	+0,011322	-0,500000 = - κ_{12}
4	-0,081953	+0,163907	+0,470274	-0,186410	-0,064970	+0,032485	+0,348534 = - κ_{24}
6	+0,032485	-0,064970	-0,186410	+0,470274	+0,163907	-0,081953	-0,396385 = - κ_{34}
7	+0,011322	-0,022644	-0,064970	+0,163907	+0,491437	-0,245718	+0,333525 = - κ_{45}
9	-0,005661	+0,011322	+0,032485	-0,081953	-0,245718	+0,622859	-0,394501 = - κ_{56}
	1	3	4	6	7	9	

Die Belastungszahlen $\delta'_{k0} = 6 \delta_{k0}/l$ sind für

$$\begin{aligned}
 -X_2 = 1: \quad & \delta'_{10} = 2f = 16,0, & \delta'_{20} = 2f - \frac{6}{l} \varepsilon_{12} = 9,30, & \delta'_{30} = \frac{6}{l} \varepsilon_{12} = 6,70, \\
 -X_5 = 1: \quad & \delta'_{20} = \frac{6}{l} \varepsilon_{12} = 6,70, & \delta'_{30} = 2f - \frac{6}{l} \varepsilon_{12} = 9,30 = \delta'_{40}, & \delta'_{50} = \frac{6}{l} \varepsilon_{12} = 6,70, \\
 -X_8 = 1: \quad & \delta'_{40} = \frac{6}{l} \varepsilon_{12} = 6,70, & \delta'_{50} = 2f - \frac{6}{l} \varepsilon_{12} = 9,30, & \delta'_{60} = 2f = 16,0.
 \end{aligned}$$

Infolge der Symmetrie wird daher nach (412)

$$\begin{aligned}
 Y_{11} = Y_{66} = 7,13148, & \quad Y_{21} = Y_{58} = 1,73705, & \quad Y_{31} = Y_{48} = 3,36421, \\
 Y_{41} = Y_{38} = -1,33282, & \quad Y_{51} = Y_{28} = -0,04356, & \quad Y_{61} = Y_{18} = 0,23237, \\
 Y_{15} = Y_{65} = -2,03050, & \quad Y_{25} = Y_{55} = 4,36445, & \quad Y_{35} = Y_{45} = 3,30281.
 \end{aligned}$$

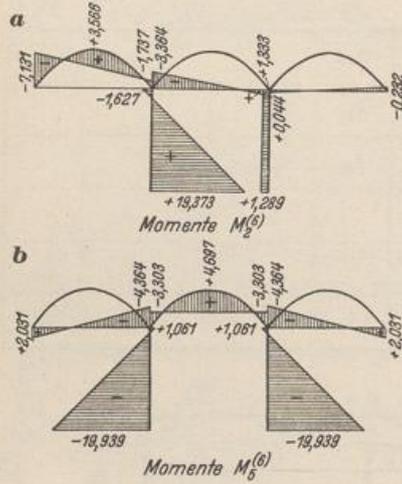


Abb. 556 a zeigt die Momente $M_2^{(6)}$ infolge von $-X_2 = 1$, das Spiegelbild die Momente $M_8^{(6)}$ infolge von $-X_8 = 1$, Abb. 556 b die Momente $M_5^{(6)}$ aus $-X_5 = 1$. Darnach können bei den einfachen elastischen Beziehungen ($J_x/J \cos \alpha$) des Riegels die Biegelinien $\delta_{m2}^{(6)}$, $\delta_{m5}^{(6)}$, $\delta_{m8}^{(6)}$ unmittelbar nach Tab. 12 angeschrieben werden. Dasselbe würde auch bei einer vorgeschriebenen Belastung \mathfrak{B} mit $\delta_{20}^{(6)}$, $\delta_{50}^{(6)}$, $\delta_{80}^{(6)}$ der Fall sein.

Die zweite Stufe des Ansatzes dient zur Berechnung der Längskräfte X_2, X_5, X_8 . Sie besteht aus drei geometrischen Bedingungen für die Formänderung eines sechsfach statisch unbestimmten Hauptsystems. Die Vorzeichen des Ansatzes werden nach S. 161 berechnet. Darnach ist:

$$\begin{aligned}
 \delta_{22}^{(6)} &= \int M_2^{(6)} M_2^{(6)} \frac{J_c}{J} ds \\
 &= 24,0 \left[\frac{8}{15} \cdot 8,0 \cdot 8,0 - \frac{1}{3} 8,0 (7,131 + 1,737) \right] \\
 &\quad - 26,8 \cdot 1,627 + 317 = + 525,036 = \delta_{88}^{(6)},
 \end{aligned}$$

$$\delta_{25}^{(6)} = 24,0 \cdot \frac{1}{3} \cdot 8,0 (2,031 - 4,364) + 26,8 \cdot 1,061 - 317 = - 467,877 = \delta_{85}^{(6)},$$

$$\delta_{28}^{(6)} = 24,0 \cdot \frac{1}{3} \cdot 8,0 (0,044 - 0,232) + 26,8 \cdot 1,289 = + 22,513,$$

$$\delta_{55}^{(6)} = 24,0 \cdot \frac{8}{15} \cdot 8,0 \cdot 8,0 - 24,0 \cdot \frac{2}{3} \cdot 8,0 \cdot 3,303 - 2 \cdot 26,8 \cdot 1,061 + 2 \cdot 317 = + 973,546.$$

Bedingungsgleichungen der zweiten Stufe:

	X_2	X_5	X_8
2	+ 525,036	- 467,877	+ 22,513
5	- 467,877	+ 973,546	- 467,877
8	+ 22,513	- 467,877	+ 525,036

Konjugierte Matrix:

	$\delta_{20}^{(6)}$	$\delta_{50}^{(6)}$	$\delta_{80}^{(6)}$
2	+ 0,006 106	+ 0,004 912	+ 0,004 116
5	+ 0,004 912	+ 0,005 749	+ 0,004 912
8	+ 0,004 116	+ 0,004 912	+ 0,006 106

Die Fehlerempfindlichkeit des Ansatzes wird nach S. 167 geprüft.

$$\varphi = \pm p \frac{\sum |\delta_{ik} D_{ik}|}{D'} \approx \pm p \frac{1024 \cdot 10^6}{48 \cdot 10^6} = \pm 21,4 p.$$

Sie ist nach S. 168 für das Ergebnis ungünstig. Berechnung der überzähligen Schnittkräfte:

$$X_2 = \beta_{22} \delta_{20}^{(6)} + \beta_{25} \delta_{50}^{(6)} + \beta_{28} \delta_{80}^{(6)}.$$

Einflußlinien (X_8 Spiegelbild zu X_2) (Abb. 557).

	Abschnitt l_2	Abschnitt l_5
X_2	$9,3788 \omega_p'' - 3,1397 \omega_D' - 3,0587 \omega_D$	$7,5448 \omega_p'' - 3,0027 \omega_D' - 2,1054 \omega_D$
X_5	$7,5448 \omega_p'' - 2,3511 \omega_D' - 3,2068 \omega_D$	$8,8305 \omega_p'' - 2,7807 (\omega_D' + \omega_D)$

	Abschnitt l_8
X_2	$6,3222 \omega_p'' - 2,7184 \omega_D' - 1,9960 \omega_D$
X_5	$7,5448 \omega_p'' - 2,3511 \omega_D' - 3,2068 \omega_D$

Die Lösung ist bei Ausnutzung der Symmetrie kürzer, jedoch hier mit Rücksicht auf andere Aufgaben allgemein durchgeführt worden.

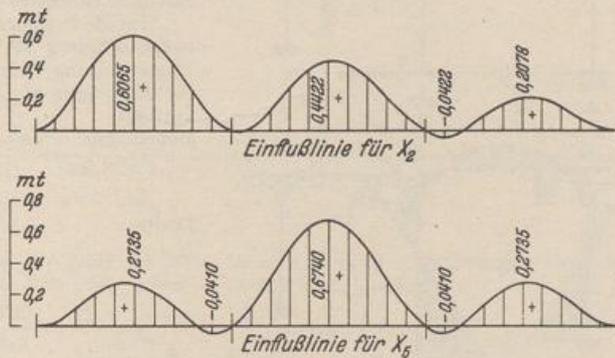


Abb. 557.

Eine angenäherte Untersuchung, bei welcher die Verdrehung φ_H der Stützköpfe H als klein gegen deren waagerechte Verschiebung u_H vernachlässigt wird, ist wesentlich einfacher. Nach S. 563 ist:

$$u_H = (X_k - X_h) \varepsilon_{11}^{(h)} + (X_{h+1} - X_{k-1}) \varepsilon_{12}^{(h)},$$

$$\varphi_H = (X_k - X_h) \varepsilon_{21}^{(h)} + (X_{h+1} - X_{k-1}) \varepsilon_{22}^{(h)},$$

mit

$$\bar{\varphi}_H = 0, \quad \bar{u}_H = (X_k - X_h) \left(\varepsilon_{11}^{(h)} - \frac{\varepsilon_{12}^{(h)} \varepsilon_{22}^{(h)}}{\varepsilon_{21}^{(h)}} \right).$$

Werden die einzelnen Bogenträger l_h, l_k wie bisher als symmetrisch angenommen, so lassen sich aus den statisch unbestimmten Schnittkräften X_{k-1}, X_k, X_{k+1} eines Abschnitts l_k (Abb. 558) nach S. 523 folgende voneinander unabhängige Gruppenlasten bilden:

$$Z_{k-1} = \frac{X_{k-1} - X_{k+1}}{2}, \quad Z_{k+1} = \frac{X_{k-1} + X_{k+1}}{2}.$$

$$Z_k: X_k \text{ in Verbindung mit } Z_{(k+1)k} = -X_k \gamma_0^{(k)}.$$

Da außerdem die Verdrehung der Stützköpfe nach Vorschrift ausgeschlossen wird, sind alle Gruppenlasten $\dots Z_{h-1}, Z_{k-1} \dots Z_{h+1}, Z_{k+1} \dots$ voneinander unab-

Gleichung der Einflußlinien für die Bogenkräfte.

	Bogen l_2	Bogen l_5	Bogen l_8
	$\beta_{22} \delta_{m2}$	$\beta_{25} \delta_{m5}$	$\beta_{28} \delta_{m8}$
X_2	$\beta_{22} \frac{f l_2^2}{3} (\omega'_P - \omega_R)$ 7,7081 $(\omega'_P - \omega_R)$	$\beta_{25} \frac{f l_5^2}{3} (\omega'_P - \omega_R)$ 2,5221 $(\omega'_P - \omega_R)$	$\beta_{28} \frac{f l_8^2}{3} (\omega'_P - \omega_R)$ 1,0241 $(\omega'_P - \omega_R)$
X_5	2,5221 $(\omega'_P - \omega_R)$	6,2116 $(\omega'_P - \omega_R)$	2,5221 $(\omega'_P - \omega_R)$
X_8	1,0241 $(\omega'_P - \omega_R)$	2,5221 $(\omega'_P - \omega_R)$	7,7081 $(\omega'_P - \omega_R)$

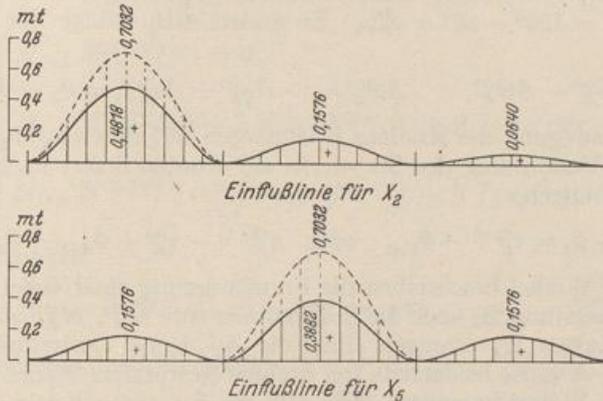


Abb. 559.

Zum Vergleich ist die Einflußlinie des beiderseits starr eingespannten Bogenträgers nach S. 531 berechnet und in Abb. 559 punktiert eingetragen worden.

$$X = \frac{15}{4} \frac{l}{f} \frac{1}{1+\nu} \zeta^2 \zeta'^2 = \frac{15}{4} \frac{l}{f} \frac{1}{1+\nu} \omega_R^2.$$

Das genaue Ergebnis steht auf S. 565 und kann nach S. 349 ebenfalls aus den Knoten- und Stabdrehwinkeln des Verschiebungszustandes abgeleitet werden. Auch hier bedeutet die Näherungsrechnung mit $\varphi_H = 0$ eine wesentliche Vereinfachung, die leicht im Ansatz der Lösung verfolgt werden kann.

Ritter, M.: Beiträge zur Theorie und Berechnung der vollwandigen Bogenträger ohne Scheitelgelenk. Berlin 1909. — Marcus, H.: Studien über mehrfach gestützte Rahmen und Bogenträger. Berlin 1911. — Müller-Breslau, H.: Zur Auflösung der mehrgliedrigen Elastizitätsgleichungen. Anwendung auf mehrfach gestützte Rahmen. Eisenbau 1917 S. 193. — Straßner, A.: Der durchlaufende Bogen. Berlin 1919. — Hertwig, A.: Die Berechnung der Rahmengebilde. Eisenbau 1921 S. 122. — Schächterle, K.: Die Talbrücken der Verbindungsbahn Tuttlingen—Hattingen. Beton u. Eisen 1933 S. 7.

60. Der Rahmen.

Geschlossene und offene Stabzüge mit geraden oder gekrümmten, steif miteinander verbundenen Elementen, werden als Rahmen bezeichnet, wenn die ihnen nach S. 312 zuzuordnende Stabkette beweglich ist. Die geschlossenen Rahmen sind statisch bestimmt oder statisch unbestimmt gestützt, die Enden der offenen Stabzüge in der Regel frei drehbar angeschlossen oder eingespannt. Die Verbindung mehrerer biegungssteifer Stabzüge liefert mehrteilige Rahmen.

Die Schnittkräfte werden entweder nach (288) als Funktion statisch überzähliger Größen X_k oder nach (500) als Funktion der geometrischen Randwerte φ_j, ϑ_h der