Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 59/60 (1912)
Heft: 21

Artikel: Beitrag zur Berechnung kontinuierlicher Bogenträger
Autor: Federhofer, Karl
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-30087

Band 60. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und unter genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 21.

Beitrag zur Berechnung kontinuierlicher Bogenträger.

Von Dr.-Ing. *Karl Federhofer* in Graz.

Unter kontinuierlichen Bogenträgern versteht man bekanntlich die Aufeinanderfolge von Einzelbogen, deren Enden derart angeordnet sind, dass sich eine auf einen Bogen ausgeübte Wirkung den andern mitteilt; die Verbindung zweier aufeinanderfolgender Bogen — kurz Knoten genannt — und die Lagerung der einzelnen Knoten kann verschiedenartig sein; durch sie ist das Mass der Uebertragung einer Wirkung auf sämtliche Einzelbogen bestimmt.

In der vorliegenden Mitteilung werden jene kontinuierlichen Bogenträger betrachtet, deren einzelne Knoten mit auf wagrechter Bahn verschieblichen Gelenken versehen sind. Die äussersten Enden sind auf unverschieblichen Gelenken gelagert (Abbildung 1).

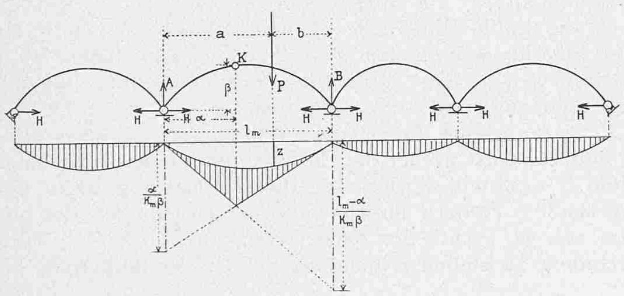

Abbildung 1.

Dieses System, nach welchem erst kürzlich die Tragkonstruktion eines bedeutenden Brückenbauwerkes ausgeführt wurde, [1]) und dessen analytische Untersuchung bereits mehrfach gezeigt worden ist, [2]) lässt sich in einfacher Art nach der von Prof. Ritter für den Bogen mit zwei Gelenken angegebenen Methode graphisch behandeln, was im Nachstehenden erörtert werden soll.

Das System ist äusserlich einfach statisch unbestimmt, der Horizontalschub H ist zunächst unbekannt und mittels der Gesetze der elastischen Formänderungen zu bestimmen. Der Vollständigkeit und Deutlichkeit wegen möge im folgenden Abschnitte bereits Bekanntes vorausgeschickt werden.

I.

Ist der Bogen vollwandig, so gilt unter der Voraussetzung geringer Formänderung und eines über die Bogenquerschnitte geradlinigen Verlaufes der Normalspannungen der Satz: [3])

Eine äussere Kraft R dreht den einen Endquerschnitt eines Elementes gegenüber dem andern um den Winkel: $\varDelta\delta = \frac{M \varDelta s}{E J}$, worin M ihr statisches Moment hinsichtlich des Querschnittsschwerpunktes, $\varDelta s$ die Länge des Bogenelements, J das Trägheitsmoment des Querschnittes F, und E den Elastizitätskoeffizienten des Bogenmaterials bedeuten. Der Drehpunkt, d. h. der Punkt, um den sich der eine Endquerschnitt des Elementes gegenüber dem andern dreht, ist der Antipol der Kraft R hinsichtlich der Elastizitätsellipse des Elements (Abbildung 2). Die Halbmesser dieser Ellipse sind bei Vernachlässigung des Einflusses der Schubkräfte gegeben durch:

$$i_1 = \frac{\varDelta s}{\sqrt{12}}; \qquad i = \sqrt{\frac{J}{F}}.$$

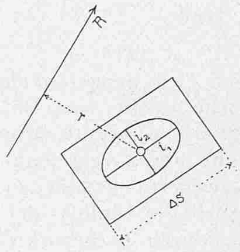

Abbildung 2.

Aus diesem Satze wird gefolgert: [1])

Die Verschiebung δ_x eines Bogenpunktes A in der Richtung einer beliebigen Axe X beträgt: $\frac{R \cdot \varDelta s}{E J} r \cdot u$, worin u die Entfernung des vorhin bezeichneten Antipols von der Verschiebungsrichtung bedeutet. Zufolge der Gegenseitigkeit der Verschiebungen gilt auch:

$$\delta_x = \frac{R \cdot \varDelta s}{E J} r' \cdot y,$$

wobei r' die Entfernung des Antipols der Verschiebungsrichtung hinsichtlich der Elastizitätsellipse des Elementes von der Wirkungslinie der äusseren Kraft, und y den Abstand des Elementen-Schwerpunkts von der Verschiebungsrichtung bedeutet. Da es sich im Folgenden um die Berücksichtigung nur wagrechter Verschiebungen handelt, so stellt y die lotrechte Schwerpunktsordinate des Bogenelementes dar, und es ergibt sich, wenn $\frac{y \varDelta s}{E J} = \varDelta w$ gesetzt wird ($\varDelta w$ = elastisches Gewicht zweiter Ordnung), für die wagrechte Verschiebung:

$$\delta_x = \varDelta w R r'.$$

In Worten: Die wagrechte Verschiebung ist gleich der wirksamen Kraft mal dem statischen Momente des im Antipol der Verschiebungsrichtung wirkenden elastischen Gewichtes zweiter Ordnung in bezug auf die Kraftrichtung.

II.

Es seien n Einzelbogen aneinandergeschlossen; die der Reihe nach mit 1 bis $n+1$ bezeichneten Knoten sollen in einer Wagrechten liegen. Im Felde m wirke eine Einzellast P in den Abständen a und b von den Knoten dieses Feldes (Abbildung 1). Dann wird durch die Kämpfergelenke ein Horizontalschub H auf die Widerlager übertragen, der aus der Forderung, dass die Entfernung der Kämpfer sich nicht ändert, zu bestimmen ist. Da an den Knotengelenken die Momente zu Null werden, so werden die Zwischenpfeiler nur lotrecht belastet, und es berechnen sich die Reaktionen an den das belastete Feld m begrenzenden Knoten bei lotrechter Einzellast zu:

$$A = P \frac{b}{l_m} \text{ und } B = P \frac{a}{l_m},$$

bei wagrechter Einzellast (Abbildung 3):

$$A = -B = -P \frac{a}{l_m}.$$

Zur Ermittlung der wagrechten Knotenverschiebungen teilt man die einzelnen Bogen in Elemente von der Länge $\varDelta s$ und berechnet für jedes das elastische Gewicht $\varDelta w = \frac{y \varDelta s}{E J}$; hierauf lässt man jedes Gewicht in dem Antipol der Bogensehne hinsichtlich der diesem Gewichte zugehörigen Elastizitätsellipse erst lotrecht, dann wagrecht wirken und verbindet diese Kräfte in jedem Felde durch zwei Seilpolygone; die Polweite des Seileckes für die lotrecht wirkenden Gewichte eines beliebigen Feldes wählt man zweckmässig gleich der Summe der Gewichte dieses Feldes, während man die Polweite des Seileckes der wagrecht

[1]) Oesterreichische Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst: Der Neubau der Draubrücke in Marburg a. d. Drau 1910, Heft 45.

[2]) Weyrauch: Elastische Bogenträger. 1911. S. 191 bis 196.
Francke: Allgemeine Bauzeitung. 1904. S. 112 ff.
Müller-Breslau: Wochenblatt für Architekten und Ingenieure. 1884.
«Handbuch der Ingenieurwissenschaften», II. Bd. Der Brückenbau. V. Abteilung. 1906. 3. Auflage.
Ostenfeld: Zeitschr. f. Arch. & Ing.-Wesen, 1909, S. 317 ff.

[3]) Ritter: Anwendungen der graphischen Statik. I. Teil. S. 153. (1888.)

[1]) Ritter: IV. Teil. S. 59. (1906.)

wirkenden Gewichte gleich einem Bruchteile der frühern $\left(\text{etwa } \frac{1}{3} \text{ bis } \frac{1}{4}\right)$ setzt. Diese Seilpolygone liefern in bekannter Weise die Schwerpunkte $M_1, M_2 \ldots M_n$ der elastischen Gewichte jedes Feldes, deren Abstände von der Bogensehne mit $m_1, m_2 \ldots m_n$ bezeichnet werden. Gleichzeitig stellen sie auch bereits die Einflusslinien für den Horizontalschub bei lotrecht und wagrecht wirkender Einzellast vor, wie sich aus Nachstehendem ergibt.

III.

a) Lotrechte Einzellast. In sämtlichen Zwischengelenken bringen wir zwei entgegengesetzt gleiche Kräfte vom Betrage H an, wodurch das Gleichgewicht der äussern Kräfte keine Aenderung erleidet und eine Reihe von Zweigelenkbogen mit wagrecht verschieblichen Kämpfern entsteht. In den unbelasteten Feldern kommt lediglich der Einfluss der wagrechten Kräfte H in Betracht; die durch H bewirkte Verlängerung der Sehne des Einzelbogens k ist unter der Voraussetzung, dass das eine Bogenende festgehalten ist, nach I gleich der wirksamen Kraft H mal der Summe der statischen Momente der in den Antipolen wirkenden elastischen Kräfte bezogen auf die Kraftrichtung oder im Hinblicke auf die Schwerpunktsdefinition auf gleich: $-H w_K m_K$, wenn w_K die Summe der elastischen Gewichte des Feldes k bezeichnet.

Die wagrechte Verschiebung des linken Bogenendes des *belasteten* Feldes m ist bei festgehaltenem rechten Bogenende nach Ritter [1]) ausgedrückt durch:

$$P w_m z - H w_m m_m,$$

worin z die unter der Last P gemessene Ordinate des Seilpolygons der lotrecht wirkenden elastischen Gewichte des Feldes m bezüglich der Schlusslinie des Polygons bedeutet (Abbildung 1).

Bezeichnen wir also mit δ_l^K und δ_r^K die wagrechten Verschiebungen des linken und rechten Knotens der Oeffnung k, so besteht nach dem eben Gesagten folgende Gleichungsgruppe:

$$\begin{aligned}
&\delta_r^n = 0\,; && \delta_l^n = \delta_r^n - H w_n m_n \\
&\delta_r^{n-1} = \delta_l^n\,; && \delta_l^{n-1} = \delta_r^{n-1} - H w_{n-1} m_{n-1} \\
&\ldots && \ldots \\
&\delta_r^m = \delta_l^{m+1}\,; && \delta_l^m = \delta_r^m + P w_m z - H w_m m_m \\
&\delta_r^{m-1} = \delta_l^m && \\
&\delta_l^1 = \delta_r^1 - H w_1 m_1 && \\
&0 = \delta_l^1\,. &&
\end{aligned}$$

Die Addition dieser Gleichungen ergibt:

$$0 = P w_m z - \mathrm{H} \sum_1^n w\, m,$$

woraus für den unbekannten Horizontalschub H folgt:

$$H = P \frac{w_m}{\sum_1^n w\, m} z = P \cdot K_m \cdot z \quad \ldots \quad (1)$$

Die Summe erstreckt sich auf sämtliche Felder. Aus (1) erhellt, dass die Seilpolygone der lotrecht wirkenden elastischen Gewichte die Einflusslinie für den Horizontalschub H bei wandernder lotrechter Einzellast darstellen; der Multiplikator K_m ist in den einzelnen Feldern verschieden und beträgt allgemein im Felde k: $w_K : \sum_1^n w\, m$.

Sind sämtliche Oeffnungen und die sie überspannenden Bogenträger vollkommen gleich, dann wird:

$$\begin{aligned}
w_1 &= w_r = \quad \ldots \quad = w_n = w \\
m_1 &= m_r = \quad \ldots \quad = m_n = m,
\end{aligned}$$

$$\text{daher } \sum_1^n w\, m = n \cdot w \cdot m,$$

und man erhält für den Horizontalschub bei Belastung nur *einer* Oeffnung mit P:

$$H = P \cdot \frac{z}{n \cdot m} \quad \ldots \ldots \quad (2)$$

Da sich der Horizontalschub eines mit einem Einzelbogen gleichen Zweigelenkbogens mit: $P \frac{z}{m}$ berechnet,[2]) so folgt aus (2), dass der Horizontalschub eines kontinuierlichen Bogenträgers mit n vollkommen gleichen Oeffnungen bei Belastung nur eines Feldes den Teil n des Horizontalschubes eines mit einem Einzelbogen gleichen Zweigelenkbogens beträgt. Gleichung (2) zeigt auch, dass bei gleicher Belastung sämtlicher Oeffnungen der auftretende Horizontalschub gleich dem einer Einzelöffnung mit festgehaltenen Enden wird. Die Einflusslinien der Biegungsmomente für die Kernpunkte sind nun leicht darzustellen.

Beispielsweise soll dies für einen Kernpunkt des Feldes m durchgeführt werden, der die Koordinaten a, β (Abbildung 2) besitze. Wirkt die Last $P = 1$ im Felde m, dann ist das Kernmoment:

$$M = A\, a - H \beta, \text{ bezw. } M = B\,(l_m - a) - H \beta,$$

je nach der Lastlage rechts und links des Kernquerschnittes.

Da nun nach (1): $H = K_m \cdot z$, so folgt:

$$M = A\, a - K z \beta = K \beta \left[\frac{A\, a}{K \beta} - z\right] \quad . \quad . \quad (3)$$

und

$$M = B\,(l_m - a) - K z \beta = K \beta \left[\frac{B\,(l_m - a)}{K \beta} - z\right] \quad (4)$$

Die Zusammensetzung der Einflusslinie Z mit jenen für $\frac{A\, a}{K \beta}$ und $\frac{B \cdot (l_m - a)}{K \beta}$ (welch' beide bekanntlich Gerade sind), führt mithin in einfacher Weise zu der in Abbildung 1 dargestellten Einflussfläche. Der Multiplikator beträgt $K \beta$.

Wirkt die Last ausserhalb des Feldes m, so ist das Kernmoment: $M = H \beta = K \beta \cdot z$,

d. h. die Einflusslinien des Horizontalschubes liefern mit dem im allgemeinen für jedes Feld verschiedenen Multiplikator $K \beta$ bereits die Momenten-Einflusslinien für alle Lastlagen ausserhalb des Feldes m.

b) Wagrechte Einzellast. (Winddrücke, Bremskräfte.) Es soll zunächst wieder die Einflusslinie für den Horizontalschub H ermittelt werden. Bei dieser Belastung ist in den unbelasteten Feldern links des belasteten lediglich der Einfluss von H, rechts des belasteteten jener von $P - H$ in Rechnung zu stellen (Abbildung 3). Die Verlängerung der

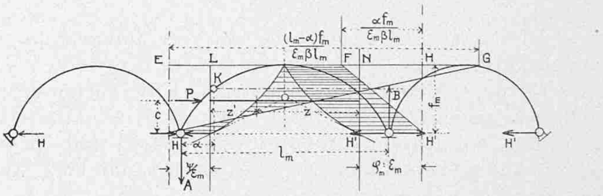

Abbildung 3.

Sehne eines Einzelbogens unter dem Einflusse von H, bezw. $P - H$ beträgt wie vorhin: $H w m$, und $-(P - H) w m$. Die wagrechte Verschiebung des linken Endes des belasteten Bogens m ist bei festgehaltenem rechten Bogenende nach Ritter [1]) ausgedrückt durch:

$$-P \frac{w_m}{\nu} \cdot z + H w_m m_m,$$

worin z die zur äussern Kraft gehörige, wagrecht gemessene Ordinate des mit der Polweite $\frac{w_m}{\nu}$ gezeichneten Seilpolygons der wagrecht wirkenden elastischen Gewichte im belasteten Felde bedeutet, und zwar bezüglich der durch den Polygonanfang gelegten Lotrechten (Abbildung 3).

Mit den vorhin gewählten Bezeichnungen für die Knotenverschiebungen lässt sich nun folgende Gleichungsgruppe ansetzen:

$$\begin{aligned}
&\delta_r^n = 0\,; && \delta_l^n = \delta_r^n - (P - H)\, w_n m_n \\
&\delta_r^{n-1} = \delta_l^n\,; && \delta_l^{n-1} = \delta_r^{n-1} - (P - H)\, w_{n-1} m_{n-1} \\
&\ldots && \ldots \\
&\delta_r^m = \delta_l^{m+1}\,; && \delta_l^m = \delta_r^m - P \frac{w_m}{\nu} z + H w_m m_m \\
&\delta_r^{m-1} = \delta_l^m\,; && \delta_l^{m-1} = \delta_r^{m-1} + H w_{m-1} m_{m-1} \\
&\ldots && \ldots \\
&\delta_l^1 = \delta_r^1 + H w_1 m_1 && \\
&0 = \delta_l^1\,. &&
\end{aligned}$$

[1]) Ritter: IV. Teil. S. 62. [2]) Ritter: IV. Teil, S. 88.

[1]) Ritter: IV. Teil. S. 98.

Die Addition dieser Gleichungen liefert:

$$0 = -P \frac{w_m}{\nu} \frac{z}{\Sigma m + 1} z - P \sum_{m+1}^{n} w\, m + H \sum_{1}^{n} w\, m,$$

woraus für den unbekannten Horizontalschub folgt:

$$H = \frac{P}{\sum_1^n w\, m} \left[\frac{w_m}{\nu} \cdot z + \sum_{m+1}^{n} w\, m \right] \quad . \quad . \quad (5)$$

Auf das eine Widerlager wird die Kraft H, auf das andere die Kraft $P - H = H'$ übertragen. Nach (5) ist:

$$H' = P - H = \frac{P}{\sum_1^n w\, m} \left[- \frac{w_m}{\nu} \cdot z + \sum_{1}^{m} w\, m \right]$$

Führen wir die Seilpolygonordinate z' (Abbildung 3) ein und beachten, dass:

$$z + z' = \nu \cdot m_m$$

sein muss, so lässt sich obiger Ausdruck umformen zu:

$$H' = \frac{P}{\sum_1^n w\, m} \left[\frac{w_m}{\nu} \cdot z' + \sum_{1}^{m-1} w\, m \right] \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Nach (5) und (6) kann gesetzt werden:

$$H = \varepsilon_m \cdot z + \varphi_m; \qquad H' = \varepsilon_m \cdot z' + \psi_m, \quad . \quad . \quad (7)$$

wenn zur Abkürzung die Bezeichnungen:

$$\frac{w_m}{\nu \sum_1^n w\, m} = \varepsilon_m\,; \quad \frac{\sum_{m+1}^{n} w\, m}{\sum_1^n w\, m} = \varphi_m\,; \quad \frac{\sum_{1}^{m-1} w\, m}{\sum_1^n w\, m} = \psi_m \text{ [1]}$$

eingeführt werden.

Aus (7) erhellt, dass die Seilpolygone der wagrecht wirkenden elastischen Gewichte bereits die Einflusslinien für H und H' darstellen, falls die Einflussordinaten in bezug auf jene Lotrechten gemessen werden, die von den durch den Polygonanfang und das Polygonende gelegten Lotrechten die Entfernungen $\frac{\varphi_m}{\varepsilon_m}$ und $\frac{\psi_m}{\varepsilon_m}$ besitzen (siehe Abbildung 3). Der Multiplikator ist in den einzelnen Feldern im allgemeinen verschieden und beträgt im Felde m: ε_m. Es soll nun die Einflusslinie der Biegungsmomente für einen Kernpunkt des Feldes m dargestellt werden, der die Koordinaten α, β besitzt.

Wirkt die Last $P = 1$ im Felde m, dann ist das Kernmoment:

$$M = -A\, \alpha + H\, \beta, \text{ bezw. } M = + B\,(l_m - \alpha) - H'\, \beta$$

entsprechend den Lastlagen rechts, bezw. links des Kernquerschnittes. Mit Rücksicht auf die vorhin für H und H' angegebenen Werte entsteht:

$$M = \varepsilon_m\, \beta \left(z + \frac{\varphi_m}{\varepsilon_m} - \frac{\alpha}{\varepsilon_m\, \beta\, l_m}\, c \right),$$

$$\text{bezw. } M = -\varepsilon_m\, \beta \left(z' + \frac{\psi_m}{\varepsilon_m} - \frac{l_m - \alpha}{\varepsilon_m\, \beta\, l_m}\, c \right), \quad . \quad (8)$$

woraus sich ohne weiteres die in Abbildung 3 ausgeführte Konstruktion der Momenten-Einflusslinie ergibt; bemerkt sei, dass sich die neuen Bezugslinien FH' und GH auf der durch den Kernpunkt gelegten Wagrechten schneiden müssen. Der Multiplikator beträgt $\varepsilon_m \cdot \beta$.

Wirkt die Last $P = 1$ links, bezw. rechts des Feldes m, dann ist das Kernmoment ausgedrückt durch:

$$M = H'\, \beta, \text{ bezw. } M = H\, \beta, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

sodass die Einflusslinien des Horizontalschubes H, bezw. H' übereinstimmen mit den Einflusslinien der Biegungsmomente für alle Lastlagen ausserhalb des Feldes m. Der Multiplikator ist im allgemeinen verschieden und beträgt z. B. im Felde k $\varepsilon_K \cdot \beta$.

IV.

Einfluss einer Wärmeschwankung und Nachgiebigkeit der Widerlager.

Gesetzt, das Bogenmaterial erfahre eine gleichmässige Temperaturänderung um $\pm t^0$ gegenüber dem ursprünglichen, spannungslosen Zustande, so entsteht zufolge der festgehaltenen Bogenenden ein Horizontalschub H_t; die Verlängerung der ganzen Spannweite L beträgt, wenn ein Bogenende frei gelassen wird, $w\, t\, L$, unter w den Ausdehnungskoeffizienten des Bogenmaterials verstanden; diese Verlängerung ist nach früherem auch ausgedrückt durch $H_t \sum_1^n w\, m$, womit folgt:

$$w\, t\, L = H_t \sum_1^n w\, m$$

und daraus:

$$H_t = \frac{w\, t\, L}{\sum_1^n w\, m} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Setzen wir in dieser Formel anstelle der durch die Temperaturänderung bewirkten Verschiebung des Bogenendes die durch seitliches Nachgeben der Widerlager verursachte Veränderung ΔL der Gesamtspannweite, so entsteht für den sich einstellenden Horizontalschub:

$$H_{\Delta l} = \frac{\Delta L}{\sum_1^n w\, m}.$$

Hierin ist ΔL positiv, bezw. negativ für Verschiebungen nach innen, bezw. nach aussen.

Zum Schlusse sei erwähnt, dass die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung auch für den nach diesem Systeme ausgebildeten Fachwerkbogen Gültigkeit behalten, sofern jene geringfügigen Abänderungen berücksichtigt werden, die bei Behandlung des fachwerkartigen Zweigelenkbogens gegenüber dem vollwandigen zu beachten sind. [1]

In Abbildung 4 (S. 280) wurde nach dem eben beschriebenen Verfahren die Einflusslinie des Horizontalschubes für lotrechte Lastwirkung unter Zugrundelegung der Ausmasse des Tragwerkes der Marburger Draubrücke [2]) gezeichnet. Das bezeichnete Tragwerk besitzt drei Oeffnungen, und zwar ist:

$$l_1 = l_3 = 40{,}32\ m;\ l_2 = 42{,}0\ m.$$

Die theoretische Bogenform ist parabolisch und die Pfeilhöhe der Schweraxe für die Seitenöffnungen beträgt: $f_1 = f_3 = 10{,}056\ m$, für die Mittelöffnung: $f_2 = 10{,}280\ m$. Jeder Halbbogen wurde in sechs Elemente zerlegt und hierauf die charakteristischen Werte in umstehenden Tabellen (Seite 280) ermittelt.

Die elastischen Gewichte wurden nun in den Antipolen der Elastizitätsellipsen (die in der Abbildung 4 nicht eingetragen sind) erst lotrecht, dann wagrecht wirkend gedacht und durch Seilpolygone in jeder Oeffnung vereinigt; bei lotrechtem Lastangriff ist die Polweite $E\, w_1 = O\, A$ im ersten und dritten Felde, $E\, w_2 = O_1\, A_1$ im zweiten Felde, bei wagrechter Lastwirkung beträgt die Polweite $^1/_4$ der vorigen. (Demnach ist $\nu = 4$)

Aus der Abbildung 4 (S. 280) entnimmt man die Schwerpunktsordinaten:

$$m_1 = m_3 = 6{,}9_m;\ m_2 = 6{,}8 \cdot m.$$

Daher ist der Horizontalschub für die erste und dritte Oeffnung nach Gleichung (1):

$$H = P \cdot \frac{w_1}{\sum_1^3 w\, m}\, z = \frac{8\,007}{167\,256}\, z = 0{,}048\, z \text{ (also } K_1 = 0{,}048)$$

und für die Mittelöffnung:

$$H = P \cdot \frac{w_2}{\sum_1^3 w\, m}\, z = \frac{8\,200}{167\,256}\, z = 0{,}049\, z \text{ (also } K_2 = 0{,}049).$$

Die analytische Untersuchung lieferte für die grösste Einflussordinate

der ersten Oeffnung: $H = 0{,}2453$,
der Mittelöffnung: $H = 0{,}2547$.

Aus der Zeichnung entnimmt man dort für $z = 5{,}1$ und $z = 5{,}2$, somit:

für die erste Oeffnung: $H = 0{,}2448$;
und für die Mittelöffnung: $H = 0{,}2548$.

---

[1]) Die drei Werte ε_m, φ_m, ψ_m genügen der Bedingung: $\varphi_m + \psi_m + \nu\, m_m\, \varepsilon_m = 1$.

[1]) Hierzu vergl. Ritter: IV. Teil. S. 55 bis 59.

[2]) Vergl. Fussnote 1, S. 277 links.

Beitrag zur Berechnung kontinuierlicher Bogenträger.

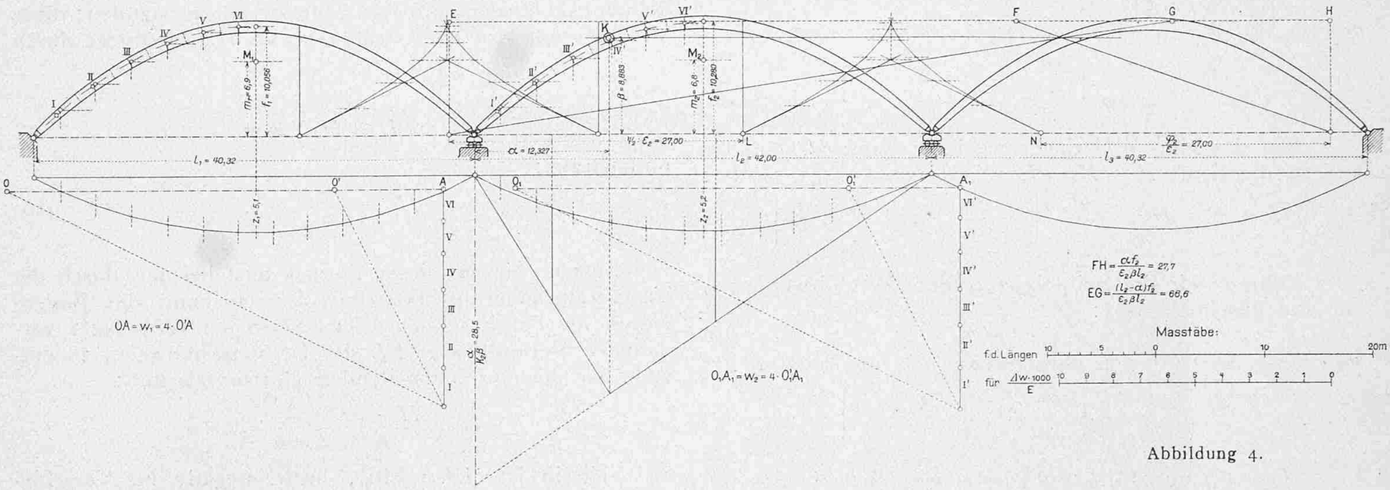

Abbildung 4.

Charakteristische Werte der Seitenöffnung.

	Schwerpunkt des Elementes		Δs	$J \cdot 1000$ m^4	$F \cdot 1000$ m^2	$\Delta w \cdot E = \frac{\Delta s y}{J}$	$i_1{}^m$	$i_2{}^m$
	x^m	y^m						
I	2,12	2,004	4,5	6,36	68	1418	1,3	0,31
II	5,40	4,665	4,1	12,19	86	1569	1,2	0,38
III	8,68	6,795	3,8	19,50	103	1324	1,1	0,44
IV	11,96	8,392	3,6	23,26	105	1300	1,04	0,48
V	15,24	9,457	3,4	26,00	106	1236	0,98	0,50
VI	18,52	9,989	3,2	27,43	107	1160	0,93	0,51

$E w_1 = 8007 = E w_3$

Charakteristische Werte der Mittelöffnung.

	Schwerpunkt des Elementes		Δs	$J \cdot 1000$ m^4	$F \cdot 1000$ m^2	$\Delta w \cdot E = \frac{\Delta s y}{J}$	$i_1{}^m$	$i_2{}^m$
	x^m	y^m						
I'	2,19	2,032	4,6	6,02	68	1550	1,33	0,30
II'	5,61	4,759	4,2	12,74	93	1570	1,22	0,37
III'	9,03	6,940	3,9	20,42	110	1330	1,13	0,43
IV'	12,45	8,576	3,8	24,34	112	1340	1,10	0,47
V'	15,87	9,667	3,6	27,20	114	1290	1,04	0,49
VI'	19,29	10,212	3,5	31,99	121	1120	1,01	0,51

$E w_2 = 8200$

Die Uebereinstimmung ist demnach befriedigend und kann bei Durchführung der Konstruktion in grösserem Masstabe noch erhöht werden. Der Horizontalschub infolge Temperaturänderung beträgt nach (10):

$$H_t = \frac{\alpha\, t\, (2\, l_1 + l_2)}{\sum\limits_1^3 w\, m} = \frac{\alpha\, t\, (2\, l_1 + l_2)\, E}{2 \cdot 167\,256}.$$

Wenn $E = 21\,500\,000\; t/m^2$ und $\alpha = 0{,}000012$ gesetzt wird, so entsteht:

$H_t = 0{,}0946\; t$ und beispielsweise für $t = 35^0$ C

$H_t = 3{,}311\; t.$

Die analytische Untersuchung lieferte hierfür: $H_t = 3{,}465\; t$. In Abbildung 4 ist ausserdem die Einflusslinie für das Biegungsmoment um einen obern Kernpunkt der Mittelöffnung dargestellt, der die Koordinaten $\alpha = 12{,}327\; m$; $\beta = 8{,}883\; m$ besitzt.

Nach (3) wird wegen $K_2 = 0{,}049$:

im Mittelfelde $M = 0{,}435\; (28{,}5\; A - z_2)$

und in den Seitenfeldern wegen $K_1 = 0{,}048$:

$$M = -\,0{,}426\; z_1.$$

Bei wagrecht wirkender Einzellast berechnet man:

$$\varepsilon_1 = \frac{w_1}{v \sum\limits_1^3 w\, m} = 0{,}0119; \quad \varepsilon_2 = \frac{w_2}{v \sum\limits_1^3 w\, m} = 0{,}0123;$$

$$\varphi_1 = \frac{\sum\limits_2^3 w\, m}{\sum\limits_1^3 w\, m} = 0{,}663; \quad \varphi_2 = \frac{\sum\limits_1^2 w\, m}{\sum\limits_1^3 w\, m} = 0{,}3303;$$

$$\psi_1 = 0; \quad \psi_2 = \frac{\sum\limits_3 w\, m}{\sum\limits_1^3 w\, m} = 0{,}3303.$$

$$\frac{\varphi_1}{\varepsilon_1} = 55{,}7; \quad \frac{\psi_1}{\varepsilon_1} = 0; \quad \frac{\varphi_2}{\varepsilon_2} = \frac{\psi_2}{\varepsilon_2} = 27{,}0.$$

Damit bestimmt sich die Einflusslinie des Biegungsmomentes um den vorhin gewählten obern Kernpunkt bei wagrechter Belastung aus:

$$M = 0{,}109 \left(z_2 + 27 - 113\, \frac{c}{l} \right)$$

(Last im Mittelfelde rechts des betrachteten Querschnittes)

$$M = -\,0{,}109 \left(z'_2 + 27 - 272\, \frac{c}{l} \right)$$

(Last im Mittelfelde links des betrachteten Querschnittes)

und: $M = 0{,}106\; z$, Last im dritten Felde,

endlich: $M = 0{,}106\; z'$, Last im ersten Felde.

Die Darstellung der bezüglichen Einflusslinien bedarf hiernach keiner weitern Erklärung.

Wohnhaus Musikdirektor V. Andreae, Zürich.

Erbaut von Architekt *Eugen Probst* in Zürich.

(Mit Tafel 63 bis 66.)

Beim Entwurf des Wohnhauses für Herrn Musikdirektor Volkmar Andreae war ausser den normalen Wohnbedürfnissen auch Anforderungen besonderer Art zu genügen. Der Bauherr brauchte einen geräumigen Musiksaal, der nicht nur häufigen geselligen Anlässen, sondern auch den zahlreichen Solisten-Proben zu dienen hat, die er bei sich zu Hause abhält. Von diesem Saal war jegliches vom Hausbetriebe herrührendes Geräusch sorgfältig fern zu halten, weshalb einerseits alle Wirtschaftsräume mit separatem Zugang ins Untergeschoss, anderseits die Wohnräume der Familie ins Obergeschoss verlegt worden sind, sodass das ganze Erdgeschoss für die Geselligkeitsräume verfügbar geblieben ist (vgl. die Grundrisse S. 281). Aehnlich wie beim Umbau der Kuranstalt Brestenberg (vgl. S 258) wurde die erforderliche Höhe des Musiksaals durch Tieferlegung seines Fussbodens gewonnen (Tafel 64). Eine kleine, trauliche Bibliothek in direkter Verbindung mit dem Musiksaal, dient sowohl Besprechungen in engerm Kreise als auch namentlich in ihrer dunkeln Kaminecke dem Hausherrn zu gelegentlicher Ruhe (Tafel 65). Es ist zu beachten, dass die Türe, die aus dieser Kaminecke in den Flur hinausführt, sozusagen ausschliesslich nur vom Hausherrn benutzt wird. In die seitlichen Nischen des Musiksaals sind vorhandene Möbelstücke eingebaut; die in hellen Tönen bemalten Wände