

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 77/78 (1921)
Heft: 19

Artikel: Berechnung von Rahmentragwerken aus Elementen stetig veränderlicher Höhe
Autor: Herska, Leopold
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-37256>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

INHALT: Berechnung von Rahmentragwerken aus Elementen stetig veränderlicher Höhe. — Das Projekt einer Uetliberg-Seilbahn. — Wettbewerb für ein Kirchgemeindehaus in Zürich-Enge. — Transformatorenhäuschen in Wädenswil. — Miscellanea: Ausfuhr elektrischer Energie. Bedeutsame Ausgrabungen in Palästina. Der Besuch der deutschen technischen Hochschulen im Wintersemester 1920/21. Reorganisa-

sation der Schweiz. Bundesbahnen. Eisenbetonpfähle von 60 m Länge. Die Eisenerzförderung in den Vereinigten Staaten im Jahre 1920. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. Stellenvermittlung.

Band 77.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 19.

Berechnung von Rahmentragwerken aus Elementen stetig veränderlicher Höhe.

Von Ingenieur Leopold Herzka, Oberbundesbahnrat, Wien.

Träger mit stetig veränderlicher Höhe werden wohl am vorteilhaftesten nach dem von Dr.-Ing. Max Ritter¹⁾ empfohlenen Gesetze berechnet; es lautet in etwas vereinfachter Schreibweise:

$$y = 1 - (1 - n) \varphi_1^{2r} \dots \dots \dots (1)$$

und eignet sich ganz besonders auch für die äussere Trägergestaltung. In Gleichung (1) bedeuten mit Bezug auf Abb. 1 und 2:

$$y = \frac{J_m}{J} \text{ und } n = \frac{J_m}{J_a}$$

wobei J das Trägheitsmoment an der Stelle x_1 , J_m jenes in Trägermitte (bezw. bei Trägerformen nach Abbildung 2 am Ende ohne Anlauf [Voute]) und J_a endlich das am verstärkten Balkenende darstellen; φ_1 ist ein Verhältnis, das bei Balken nach Abb. 1 durch $\varphi_1 = \frac{2x_1}{l}$, bei solchen nach Abbildung 2 durch $\varphi_1 = \frac{x_1}{l}$ bestimmt ist. Die

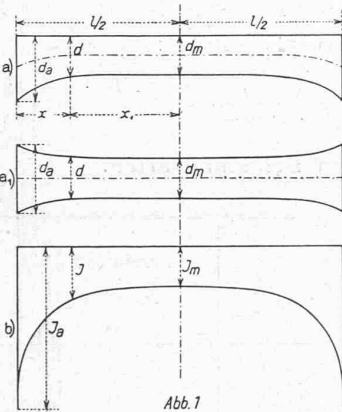


Abb. 1

Festlegung der Querschnitte erfolgt im ersten Falle auf die Balkenmitte, sonst auf das unverstärkte Balkenende. Ersichtlich bewegt sich φ_1 zwischen ± 1 oder (Abb. 2) zwischen 0 und 1; der Exponent wird, abweichend von Ritter, mit $2r$ angenommen, um schon durch die Gleichung selbst eine zur Balkenmitte symmetrische Voutenanordnung anzudeuten, was stets dann zutrifft, wenn r eine ganze Zahl ist; die gewonnenen Ergebnisse lassen sich aber ohne weiteres auch für unganzer r -Werte anwenden.

Zur Berechnung statisch unbestimmter Tragwerke mit Hilfe der Formänderung reicht die Kenntnis der Endverdrehungswinkel τ der irgendwie belasteten Rahmenelemente vollkommen aus; ihre Bestimmung nach Gleichung (1) ergibt, solange Endmomente als Belastungen vorliegen, mühelos durchsichtige Schlussformeln; für Einzellast-Angriffe im Balkenfeld wird die Herausschälung solcher Gebrauchswerte schon umständlicher; hier bietet die Spaltung einer Last in einen symmetrischen und einen polarsymmetrischen Kraftangriff²⁾ ganz besondere Vorteile. Von Bedeutung ist, dass die gewonnenen Ergebnisse sich von

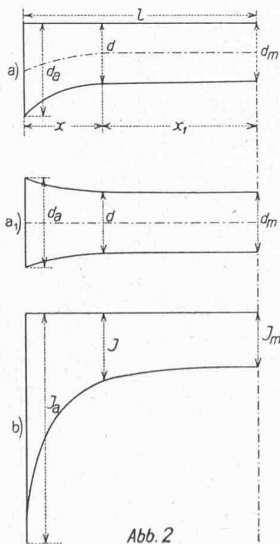


Abb. 2

jenen für feststehendes J nur durch eine Konstante K_s unterscheiden, die für $n = 1$ zur Einheit wird und die je nach der Belastungsart eine andere Zusammensetzung aufweist. Durch Einführung eines ideellen Trägheitsmomentes $J_s = J_m : K_s$ erhalten die τ -Werte vollends die Gestalt jener für konstantes J .

In der umstehenden Tabelle sind die Winkel- und K -Werte für eine Anzahl häufig vorkommender Belastungsarten zusammengestellt.

Ueber den wesentlichen Einfluss eines Trägers mit Anlauf auf die statisch unbestimmten Grössen und auf die hierdurch bedingte Entlastung bzw. Belastung einzelner Trägerquerschnitte kann in den in Anmerkung angezogenen Aufsätzen nachgelesen werden, in welchen auch die Herleitung der einzelnen τ -Werte zu finden ist; hier möge nur die Berechnung der unter Nr. 1 und 7 für die Trägerform Abbildung 2 eingetragenen Winkelwerte nachgeholt werden.

Für den in Abb. 3 dargestellten, durch die Einzellast im Abstände $b = l\xi$ von B ergriffenen Träger ist der Stellungswinkel τ_β (am unverstärkten Ende des Trägers) zu berechnen.

Nach bekannter Beziehung ist:

$$\tau_\beta = \frac{1}{E J_m} \int M_x M_x' y dx_1,$$

wobei M_x , bezw. M_x' die Momente am Orte $x_1 = l\varphi_1$ darstellen, wie sie sich durch die Belastung $P = 1t$, bezw. durch den Zustand $M' = 1$ ergeben; mit den Eintragungen der Abb. 3 gilt für:

$$x_1 < b \dots \dots M_x = 1 l (1 - \xi) \varphi_1$$

$$\text{und für } x_1 > b \dots \dots M_x = 1 l \xi (1 - \varphi_1)$$

Daher endlich wegen: $dx_1 = l d\varphi_1$ und $M_x' = (1 - \varphi_1)$:

$$\tau_\beta = \frac{l^2}{E J_m} \left\{ \int_0^\xi [1 - (1 - n) \varphi_1^{2r}] (1 - \xi) (1 - \varphi_1) \varphi_1 d\varphi_1 + \int_\xi^1 [1 - (1 - n) \varphi_1^{2r}] (1 - \varphi_1)^2 d\varphi_1 \right\}$$

Die Integration liefert:

$$\tau_\beta = \frac{l^2}{6 E J_m} \xi (1 - \xi) (2 - \xi) \left\{ 1 - \frac{6(1 - n)}{(r + 1)(2r + 1)(2r + 3)} \times \frac{1}{(1 - \xi)(2 - \xi)} [1 - 0,5 ([2r + 3] - \xi [2r + 1]) \xi^{2r+1}] \right\} (2)$$

und wenn der Ausdruck in der geschweiften Klammer mit K_{11}' bezeichnet wird:

$$\tau_\beta = \frac{l^2}{6 E J_m} K_{11}' \xi (1 - \xi) (2 - \xi) \dots (2')$$

Für Gleichlast p über die Balkenlänge ergibt die Integration der Gleichung (2) zwischen den Grenzen 0 und 1, wobei $1t = p db = p l d\xi$ zu setzen ist:

$$\begin{aligned} \tau_\beta &= \frac{p l^3}{24 E J_m} \left\{ 1 - \frac{6(1 - n)}{(r + 1)(2r + 3)(r + 2)} \right\} = \\ &= \frac{p l^3}{24 E J_m} K_{11} = \frac{p l^3}{24 E J_{11}} \dots \dots (3) \end{aligned}$$

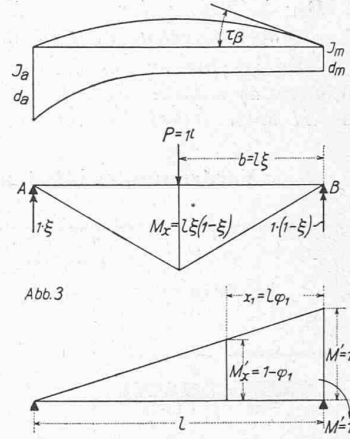


Abb. 3

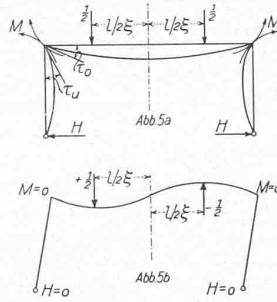
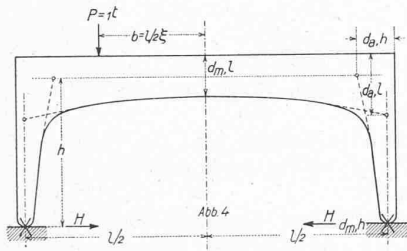
1) Max Ritter: «Ueber die Berechnung elastisch eingespannter und kontinuierlicher Balken mit veränderlichem Trägheitsmoment.» Schweiz. Bauzeitung, Bd. LIII, S. 231 (1. Mai 1909).

2) Siehe die bezüglichen Veröffentlichungen des Verfassers: 1. «Die Berechnung des zweistieligen, symmetrischen Stockwerkrahmens für beliebigen Kraftangriff.» Zeitschrift für Betonbau, 1916, H. 7 bis 10; 2. «Balken mit stetig veränderlicher Höhe.» Der Bauingenieur, 1920, H. 12.

Die Konstante K_{11} darf, wie man sich leicht überzeugen kann, mit hinreichender Genauigkeit an Stelle von K_{11}' gesetzt werden; dann hat man endlich:

$$\tau_\beta = \frac{l^2}{6 E J_m} K_{11} \xi (1 - \xi) (2 - \xi) \dots (4)$$

welcher Ausdruck mit dem Werte $n = 1$ in den für konstantes J übergeht.



symmetrische Belastung der Abb. 4; bei einer *spiegelsymmetrischen* Kraftgruppe $1/2 t, -1/2 t$ (Abb. 5 b) ist $H = 0$ und daher der Rahmen *statisch bestimmt*.

Das Eckmoment M gewinnt man unmittelbar aus der leicht ersichtlichen Beziehung:

$$\tau_o + \tau_u = 0.$$

Nun ist aus der Tabelle:

$$\tau_u = \alpha_h K_{4h} M$$

(Nr. 2, Spalte 4) und

$$\tau_o = \gamma_l K_{3l} M + \gamma_l \frac{l}{8} K_{2l} (1 - \xi^2)$$

(Nr. 4 b, Spalte 1, bzw. Nr. 5, Spalte 1) und sohin die Gleichung der Einflusslinie für das Eckmoment:

$$M = -\frac{l}{8} \frac{\gamma_l K_{2l}}{\alpha_h K_{4h} + \gamma_l K_{3l}} (1 - \xi^2)$$

Die neuen Indices bei den Winkel- und K -Werten weisen auf die jeweils bezogenen Rahmenglieder hin; durch Sonderwertung gewinnt man,

wenn $J_{4h} = \frac{J_{m,h}}{K_{4,h}}, J_{3l} = \frac{J_{m,l}}{K_{3l}}$ gesetzt wird, den übersichtlichen Ausdruck:

$$M = -\frac{l}{8} \frac{A}{1 + \frac{2}{3} \left(\frac{h}{l} \right) \left(\frac{J_{m,l}}{J_{m,h}} \right) B} (1 - \xi^2) \dots (5)$$

Beispiele:

1) Der in Abb. 4 dargestellte Zweigelenrahmen ist für die dort eingetragene Belastung zu untersuchen.

Er ist für *symmetrischen* Lastangriff $1/2 t, 1/2 t$ (Abbildung 5 a) *einfach* statisch unbestimmt und man erhält das H auch schon in der richtigen Grösse für die un-

Verdrehungswinkel und Konstanten für die am häufigsten vorkommenden Belastungsarten.

Nr.	Belastungsart	Trägerform						Konstanten und Bemerkungen
		$\tau_\alpha =$	$\tau_\beta =$	$\tau_\gamma =$	$\tau_\alpha =$	$\tau_\beta =$	$\tau_\gamma =$	
1		$\frac{\rho l^2}{8} \alpha K_2$	$\frac{\rho l^2}{8} \alpha K_2$	$\frac{\rho l^2}{8} \alpha K_2$	$\frac{\rho l^2}{8} \alpha K_6$	$\frac{\rho l^2}{8} \alpha K_{11}$	$\frac{\rho l^2}{4} \alpha K_8$	$\alpha = \frac{l}{3E J_m}; \beta = \frac{l}{6E J_m}; \gamma = \frac{l}{2E J_m}$
2		αK_1	βK_2	γK_3	αK_4	βK_6	γK_{10}	$K_1 = \frac{3(1-n)(r+1)}{(2r+1)(2r+3)} = \frac{3K_2 + K_4}{4}$
3		βK_2	αK_1	γK_3	βK_6	αK_7	γK_9	$K_2 = 1 - \frac{3(1-n)}{(2r+1)(2r+3)} = \frac{3K_3 - K_4}{2} = K_5$
4a		$\beta(2M_A K_1 \pm M_B K_2)$	$\beta(M_A K_2 \pm 2M_B K_1)$	$\gamma K_3 (M_A \pm M_B)$	$\beta(2M_A K_4 \pm M_B K_6)$	$\beta(M_A K_6 \pm 2M_B K_7)$	$\gamma(M_A K_{10} \pm M_B K_9)$	$K_4 = 1 - \frac{3(1-n)}{2r+3} = 2K_1 - K_2$
4b		γK_3	γK_3	$2\gamma K_3$	γK_{10}	γK_9	$2\gamma K_3$	$K_6 = 1 - \frac{6(1-n)}{(r+2)(2r+3)}$
4c		βK_4	$-\beta K_4$	0	βK_{12}	$-\beta K_{13}$	—	$K_7 = 1 - \frac{3(1-n)}{(r+1)(2r+1)(2r+3)}$
5		$\gamma \frac{l}{8} (1 - \xi^2) K_5^{1)}$	$\gamma \frac{l}{8} (1 - \xi^2) K_5^{1)}$	$\gamma \frac{l}{4} (1 - \xi^2) K_5^{1)}$	—	—	—	$K_3 = 1 - \frac{(1-n)}{(r+1)(2r+3)} = \frac{2K_5 + K_8}{3}$
6		$\beta \frac{l}{8} \xi (1 - \xi^2) K_6^{2)}$	$-\beta \frac{l}{8} \xi (1 - \xi^2) K_6^{2)}$	0	—	—	—	$K_{10} = 1 - \frac{(1-n)}{(r+1)(2r+3)} = \frac{2K_5 + K_8}{3}$
7		—	—	—	$\beta l \xi (1 - \xi^2) K_6^{3)}$	$\beta l \xi (1 - \xi^2) K_{11}^{3)}$	—	$K_{11} = 1 - \frac{6(1-n)}{(r+1)(r+2)(2r+3)}$
								$K_{12} = 1 - \frac{3(1-n)(2r+1)}{(r+1)(2r+3)}$
								$K_{13} = 1 + \frac{3(1-n)(2r-1)}{(r+1)(2r+1)(2r+3)}$

Die genaueren, mit der Laststellung veränderlichen Koeffizienten lauten (siehe auch die erwähnte Abhandlung):

$$1) K_5 = 1 - \frac{(1-n)}{(r+1)(2r+3)} - \frac{1-\xi}{1-\xi^2} \frac{2r+1}{r+1}; 2) K_6 = 1 - \frac{3(1-n)}{(r+1)(2r+3)} - \frac{1-\xi}{1-\xi^2} \frac{2r+1}{r+1}; 3) K_{11} = 1 - \frac{6(1-n)}{(r+1)(2r+1)(2r+3)} - \frac{1-\xi}{1-\xi^2} \frac{2r+1}{r+1} \left(1 - 0.5(2r+3) - (2r+1)\xi \right) \xi^{2r+1}$$

In dieser Gleichung bedeuten:

$$A = \left(\frac{K_{3l}}{K_{3l}} \right) = 1 + \frac{2r_l(1-n_l)}{(2r_l+3)(2r_l+n_l)}$$

$$B = \left(\frac{K_{4h}}{K_{3l}} \right) = \frac{(2r_h+3n_h)(2r_l+1)}{(2r_h+3)(2r_l+n_l)}$$

welche Beträge für $n = 1$ gleichfalls in die Einheit übergehen, wodurch dann Gleichung (5) die Gestalt für konstantes Trägheitsmoment (innerhalb eines Rahmengliedes) annimmt. Nun ist $A > 1$ und mit wenigen Ausnahmen $B < 1$, sodass beide Konstanten auf eine Vergrößerung des Eckmomentes hinarbeiten; für einzelne r und n wurden A und B in nachstehender Tabelle zusammengefasst.

r_e	n_e	A	B					
			$r_h = 1$			0,5		
			$n_h = 0,5$	0,3	0,0	0,5	0,3	0,0
1	0,4	1,100	0,875	0,725	0,500	0,781	0,594	0,313
	0,2	1,145	0,955	0,791	0,546	0,852	0,648	0,341
	0,0	1,200	1,050	0,870	0,600	0,938	0,713	0,375
2	0,4	1,078	0,795	0,659	0,454	0,710	0,540	0,284
	0,2	1,109	0,833	0,690	0,476	0,744	0,565	0,298
	0,0	1,143	0,875	0,725	0,500	0,781	0,594	0,313

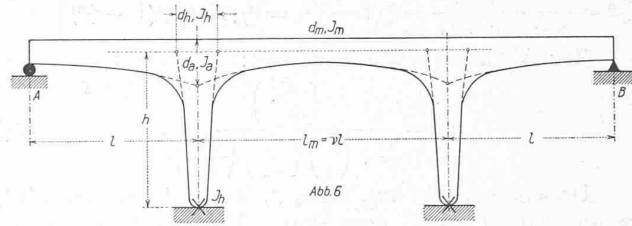
Nimmt man z. B. an: $h = 6,0 m$, $l = 9,0 m$, $J_{ml} = 0,03 m^4$, $J_{mh} = 0,015 m^4$, $r_l = 1$, $n_l = 0,2$, $r_h = 0,5$, $n_h = 0,3$, so ergibt die Tabelle: $A = 1,145$ und $B = 0,648$.

Daher entsteht:

$$A \cdot \left\{ 1 + \frac{2}{3} \left(\frac{h}{l} \right) \left(\frac{J_{ml}}{J_{mh}} \right) B \right\} = 0,724,$$

bezw. für $n = 1 \dots 1$: $\left\{ 1 + \frac{2}{3} \left(\frac{h}{l} \right) \left(\frac{J_{ml}}{J_{mh}} \right) \right\} = 0,529.$

dungen sind die Lastauflösungen für einen Kraftangriff im End- bzw. Mittelfelde dargestellt, ferner die hierdurch bewirkten Formänderungen, die Verdrehungswinkel, die Richtung der Knotenmomente und endlich die Horizontalkräfte; ebenso finden sich darin die sonstigen in Rechnungsgang benutzten Bezeichnungen. Durch Uebereinanderlegung der geteilten Lastgruppen resultiert Lastensymmetrie.



Der nachstehende Rechnungsgang stützt sich auf folgende Grundsätze:

- a) die Summe sämtlicher an einem freigemachten Knoten wirkenden Momente ist Null; deren Verknüpfung erfolge durch Uebertragungswerte; setzt man daher allgemein:

$$M^l = \lambda M^0, \quad M^r = \rho M^0,$$

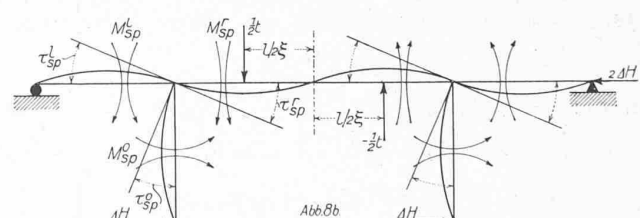
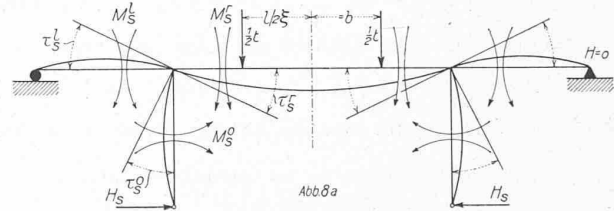
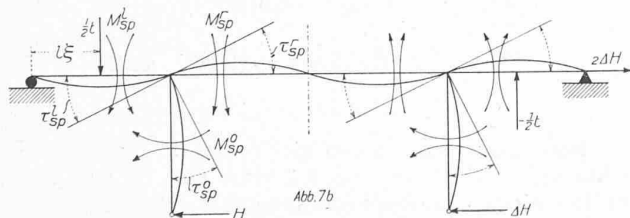
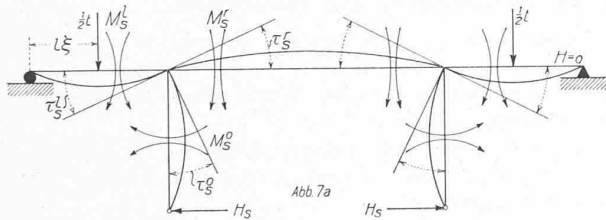
wobei M^0 das obere Säulenmoment, M^l, M^r die Stützenmomente unmittelbar links, bezw. rechts vom betrachteten Knoten darstellen, so besteht, absolut genommen, je nach dem Lastangriff:

$$\rho - \lambda \pm 1 = 0 \dots \dots \dots (6)$$

- b) die Knotendrehwinkel sind unter einander gleich:

$$\tau^l = \tau^r = \tau^0 \dots \dots \dots (7)$$

Diese beiden Bedingungen genügen, um die statischen Größen in raschester Weise zu berechnen.



Das Eckmoment erfährt durch Anordnung von Vouten eine Erhöhung um rund 37%. Es darf aber nicht übersehen werden, dass, wenn man die Rechnung mit konstanten J -Werten durchführt, durch geschickte Wahl mittlerer Trägheitsmomente der Betrag von 0,529 eine ziemliche Annäherung an 0,724 erfahren kann. Die richtigen oder besser gesagt zutreffendsten Mittelwerte zu finden ist allerdings Sache von viel Uebung, Erfahrung und statischem Gefühl. Endlich sei noch bemerkt, dass die günstige Wirkung der Uebergangsvoute (beim Zusammenreffen zweier Stabelemente) in der Rechnung nicht berücksichtigt wurde; wie dies geschehen kann, bleibe einer spätern Arbeit vorbehalten.

2) Berechnung eines zweiastigen, symmetrischen Dreifeld-Trägers mit Fussgelenken und fester Lagerung bei B (Abb. 6).

Er ist vierfach statisch unbestimmt; durch Spaltung der Last in einen symmetrischen und einen polarsymmetrischen Kraftangriff (Abb. 7 und 8) sinkt die Unbestimmtheit je auf die Hälfte herab; in den bezüglichen Abbil-

- 2a) Der Rahmenträger ist im Endfelde belastet; die Lastspaltung ist in den Abb. 7a und 7b dargestellt.

Mit Hilfe der Tabellenwerte, deren Aufsuchung an Hand der Abbildungen sehr einfach ist, ergibt sich, wenn durch den Fussindex auf eine symmetrische (s), bezw. spiegelsymmetrische (sp) Belastung hingewiesen werden soll:

$$\tau_s^0 = \alpha_h K_{4h} M_s^0; \quad \tau_{sp}^0 = \alpha_h K_{4h} M_{sp}^0 \dots \dots (8)$$

$$\tau_s^r = \gamma_m K_{3m} Q_s M_s^0; \quad \tau_{sp}^r = \beta_m K_{4m} Q_{sp} M_{sp}^0 \dots (9)$$

$$\tau_s^l = \frac{1}{2} \beta_l l K_{6l} \xi (1 - \xi^2) - \alpha_l K_{4l} \lambda_s M_s^0 \dots (10)$$

Ersetzt man die Indices „s“ durch „sp“, so erhält man aus vorstehender Gleichung den Betrag für den Wert τ_{sp}^l .

Nunmehr hat man aus den Gleichungen (8) und (9) die bezüglichen Uebertragungswerte:

$$Q_s = \frac{\alpha_h K_{4h}}{\gamma_m K_{3m}} = \frac{2}{3} \left(\frac{h}{vl} \right) \cdot \left(\frac{J_{3m}}{J_{4h}} \right) = \frac{2}{3} \left(\frac{h}{vl} \right) \cdot \left(\frac{J_m}{J_h} \right) \cdot \left(\frac{K_{4h}}{K_{3m}} \right);$$

$$\lambda_s = Q_s + 1.$$

$$Q_{sp} = \frac{\alpha_h K_{4h}}{\beta_m K_{4m}} = 2 \left(\frac{h}{vl} \right) \cdot \left(\frac{J_{4m}}{J_{4h}} \right) = 2 \left(\frac{h}{vl} \right) \cdot \left(\frac{J_m}{J_h} \right) \cdot \left(\frac{K_{4h}}{K_{4m}} \right);$$

$$\lambda_{sp} = Q_{sp} + 1. \quad (11)$$

Im übrigen besteht:

$$Q_{sp} = 3 \left(\frac{K_{3m}}{K_{4m}} \right) Q_s \dots \dots \dots (12)$$

endlich gewinnt man aus Gleichung (8) und (10) wegen Beziehung (7):

$$\left. \begin{aligned} M_s^0 &= \frac{1/2 \beta_l l K_{6l}}{\alpha_h K_{4h} + \alpha_l K_{4l} \lambda_s} \xi (1 - \xi^2) = 1/4 l m_s \xi (1 - \xi^2) \\ M_{sp}^0 &= \frac{1/2 \beta_l l K_{6l}}{\alpha_h K_{4h} + \alpha_l K_{4l} \lambda_{sp}} \xi (1 - \xi^2) = 1/4 l m_{sp} \xi (1 - \xi^2) \end{aligned} \right\} (13)$$

Zur Abkürzung wurde gesetzt:

$$m_s = \frac{\left(\frac{K_{6l}}{K_{4l}} \right)}{\lambda_s + \left(\frac{h}{l} \right) \left(\frac{J_l}{J_h} \right) \left(\frac{K_{4h}}{K_{4l}} \right)} \dots \dots \dots (14)$$

Daraus entsteht m_{sp} wenn λ_s durch λ_{sp} ersetzt wird; die übrigen M erhält man durch Multiplikation mit den bezüglichen Uebertragungswerten. Durch Uebereinanderlegung folgt für die Einheitslast im linken Endfelde:

$$\left. \begin{aligned} M^0 &= \frac{l}{4} (m_s \pm m_{sp}) \xi (1 - \xi^2) \\ M^l &= \frac{l}{4} (\lambda_s m_s \pm \lambda_{sp} m_{sp}) \xi (1 - \xi^2) \\ M^r &= \frac{l}{4} (Q_s m_s \pm Q_{sp} m_{sp}) \xi (1 - \xi^2) \end{aligned} \right\} \dots \dots (15)$$

Die positiven Zeichen gelten für die Momente nächst dem belasteten Felde. Will man eine Gleichlast $1/2 p$ berücksichtigen, so ersetzt man $1/2$ durch $\frac{p}{2} db = \frac{p}{2} l d\xi$; damit berechnet sich statt $\xi(1 - \xi^2)$ der Faktor:

$$\int_0^1 \xi (1 - \xi^2) d\xi = \frac{p l}{4}$$

z. B. entsteht, wenn beide Endfelder mit p belastet sind:

$${}_p M_s^0 = 2 \frac{l}{4} m_s \frac{p l}{4} = 1/8 p l^2 m_s \dots \dots (16)$$

und wenn nur das linke Endfeld die Last ${}_p p$ trägt:

$${}_p M^0 = \frac{l}{4} (m_s \pm m_{sp}) \frac{p l}{4} = \frac{p l^2}{16} (m_s \pm m_{sp}) \dots (17)$$

In ähnlicher Weise erhält man die übrigen Momentenwerte.

2 b) Der Rahmenträger ist im Mittelfelde belastet. (Abb. 8 a und 8 b.)

Mit dem unter 2 a) angenommenen Richtungssinn hat man, wenn zur Unterscheidung ein oberer Index eingeführt wird:

$$Q' - \lambda' - 1 = 0 \dots \dots \dots (6')$$

Ferner: $\tau_s^{0'} = \alpha_h K_{4h} M_s^{0'}$; $\tau_{sp}^{0'} = \alpha_h K_{4h} M_{sp}^{0'}$ \dots (18)

$$\tau_{sl}' = \alpha_l K_{4l} \lambda_s' M_s^{0'}; \tau_{sp}' = \alpha_l K_{4l} \lambda_{sp}' M_{sp}^{0'} \dots (19)$$

$$\left. \begin{aligned} \tau_s^{r'} &= \gamma_m \frac{l_v}{8} (1 - \xi^2) K_{2m} - \gamma_m K_{3m} Q_s' M_s^{0'} \\ \tau_{sp}^{r'} &= \beta_m \frac{l_v}{8} \xi (1 - \xi^2) K_{6m} - \beta_m K_{4m} Q_{sp}' M_{sp}^{0'} \end{aligned} \right\} (20)$$

Aus den ersten zwei Gleichungen erhält man:

$$\begin{aligned} \lambda_s' &= \lambda_{sp}' = Q_s' - 1 = Q_{sp}' - 1 = \frac{\alpha_h K_{4h}}{\alpha_l K_{4l}} = \\ &= \left(\frac{h}{l} \right) \cdot \left(\frac{J_l}{J_h} \right) \cdot \left(\frac{K_{4h}}{K_{4l}} \right) \dots \dots \dots (21) \end{aligned}$$

ferner aus $\tau_s^{r'} = \tau_s^{0'}$, bezw. $\tau_{sp}^{r'} = \tau_{sp}^{0'}$:

$$\left. \begin{aligned} M_s^{0'} &= \frac{\gamma_m \frac{l_v}{8} K_{2m}}{\alpha_h K_{4h} + \gamma_m K_{3m} Q_s'} (1 - \xi^2) = \frac{l_v}{8} m_s' (1 - \xi^2) \\ M_{sp}^{0'} &= \frac{\beta_m \frac{l_v}{8} K_{6m}}{\alpha_h K_{4h} + \beta_m K_{4m} Q_{sp}'} \xi (1 - \xi^2) = \frac{l_v}{8} m_{sp}' \xi (1 - \xi^2) \end{aligned} \right\} (22)$$

Die Abkürzungen haben die Zusammensetzung:

$$\left. \begin{aligned} m_s' &= \frac{\left(\frac{K_{2m}}{K_{3m}} \right)}{Q_s' + 2/3 \left(\frac{h}{l_v} \right) \cdot \left(\frac{J_m}{J_h} \right) \cdot \left(\frac{K_{4h}}{K_{3m}} \right)} \\ m_{sp}' &= \frac{\left(\frac{K_{6m}}{K_{4m}} \right)}{Q_{sp}' + 2 \left(\frac{h}{l_v} \right) \cdot \left(\frac{J_m}{J_h} \right) \cdot \left(\frac{K_{4h}}{K_{4m}} \right)} \end{aligned} \right\} \dots \dots (23)$$

Schliesslich ergeben sich, wenn die Einheitslast nächst der linken Stütze im Mittelfelde steht, wobei das positive Zeichen sich gleichfalls auf diese Stütze bezieht:

$$\left. \begin{aligned} M^{0'} &= \left\{ m_s' \pm \xi m_{sp}' \right\} \frac{l_v}{8} (1 - \xi^2) \\ M^{l'} &= \left\{ m_s' \lambda_s' \pm \xi m_{sp}' \lambda_{sp}' \right\} \frac{l_v}{8} (1 - \xi^2) \\ M^{r'} &= \left\{ m_s' Q_s' \pm \xi m_{sp}' Q_{sp}' \right\} \frac{l_v}{8} (1 - \xi^2) \end{aligned} \right\} (24)$$

Für Gleichlast über das ganze Mittelfeld kann man unmittelbar die erste Zeile der Gleichung (22) benutzen; dabei ist zu setzen: $1/2 = 1/2 p db = 1/2 p \frac{l_v}{2} d\xi$ und der erhaltene Wert zu verdoppeln:

$${}_p M_s^{0'} = 2 \frac{l_v}{8} m_s' p \frac{l_v}{2} \int_0^1 (1 - \xi^2) d\xi = \frac{p l_v^2}{12} m_s' (25)$$

Ist der ganze Träger gleichmässig belastet, so resultiert aus den Gleichungen (16) und (25):

$${}_g M_s^0 = \frac{p l^2}{8} \left\{ m_s - 2/3 v^2 m_s' \right\} \dots \dots (26)$$

Das negative Glied erklärt sich daraus, dass die Momente der benützten Gleichungen entgegengesetzten Richtungssinn haben, für die beiden Stützenmomente findet man:

$$\left. \begin{aligned} {}_g M_s^l &= \frac{p l^2}{8} \left\{ m_s \lambda_s + 2/3 v^2 m_s' \lambda_s' \right\} \\ {}_g M_s^r &= \frac{p l^2}{8} \left\{ m_s Q_s + 2/3 v^2 m_s' Q_s' \right\} \end{aligned} \right\} \dots \dots (27)$$

Ueber den Einfluss der Vouten auf die Momente gelten dieselben Ueberlegungen wie im früheren Beispiel; sie können in jedem besonderen Falle leicht angestellt werden. Wir wollen unter folgenden Annahmen die Klammerwerte für die Gleichungen (26) und (27) bestimmen und zwar für veränderliches und für konstantes J ($n = 1$):

$l = 6,0 m$; $l_m = 9,0 m$ ($v = 1,5$); $h = 6,0 m$; $r_l = r_m = 1,0$; $n_e = n_m = 0,1$; $r_h = 0,5$; $n_h = 0,3$; $J_l = J_m = 0,03 m^4$; $J_h = 0,015 m^4$; die Werte in Klammer gelten für $n = 1$; man findet:

$Q_s = 0,603$ (0,889); $\lambda_s = 1,603$ (1,889); $Q_s' = 3,065$ (3,0); $\lambda_s' = 2,065$ (2,0); $m_s = 0,3794$ (0,2571); $m_s' = 0,3194$ (0,257) und daher:

$$\begin{aligned} {}_g M_s^0 &= -0,0997 (-0,12855) \frac{p l^2}{8} \\ {}_g M_s^l &= +1,59752 (+1,25696) \frac{p l^2}{8} \\ {}_g M_s^r &= +1,69722 (+1,38551) \frac{p l^2}{8} \end{aligned}$$

Man sieht, dass durch die Voute in unserem Falle die Stützenmomente um 22,3 %, bezw. 27,1 % sich gegenüber den Werten für feldweise konstante Trägheitsmomente vergrössert haben; das Kopfmoment hat eine Ermässigung um 22,5 % erfahren.

Wien, August 1920.

Das Projekt einer Uetliberg-Seilbahn.

Am 12. Mai 1875 ist die „Uetlibergbahn“ bei Zürich dem Betrieb übergeben worden. Mit 9130 m Länge überwindet sie bis zu ihrer Endstation, 60 m unterhalb des Gipfels, einen Höhenunterschied von 399 m. Als normalspurige Adhäsionsbahn mit künstlicher Entwicklung (vergl. Abbildung 1) und 70 %/00 Maximalneigung erregte sie damals besonderes technisches Interesse.¹⁾ Leider blieben ihr, infolge der hohen Betriebskosten, der langen und teuren Fahrt und der ungünstigen Lage von Ausgang- und Endpunkt, die nötige Frequenz und damit der finanzielle Erfolg versagt; nur neun Jahresabschlüsse ermöglichten die

¹⁾ Näheres darüber berichten Prof. A. Fliegner in der «Eisenbahn», Bd. II (26. März 1875) und Ing. J. Tobler in «Eisenbahn», Bd. IV (April 1876), ferner Obering. Rob. Moser in der E. T. H.-Festschrift von 1905, Zweiter Teil, Seite 235.