Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 79/80 (1922)
Heft: 2

Artikel: Eisenbetonmaste mit Rechteckquerschnitt
Autor: Herzka, Leopold
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-38112

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

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

INHALT: Eisenbetonmaste mit Rechteckquerschnitt. — Einphasen-Schnellzug-Lokomotiven 2-C-1 mit Einzelachsantrieb Bauart Brown Boveri. — Theater- und Saalbau für Winterthur. — Schweizerischer Elektrotechnischsr Verein. — Miscellanea: Schweizerisches Starkstrom-Inspektorat. Neues Bundesgerichtsgebäude in Lausanne. Silumin. Die Verlängerung der Bahn Sursee-Triengen bis Schöftland. Erweiterung der Technischen Hochschule München. Der Tag für Denkmalpflege und Heimatschutz. — Nekrologie: Edouard Davinet. — Konkurrenzen: Zentralfriedhof am Hörnli bei Basel. Neues Kantonschulgebäude in Winterthur. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. — Doppeltafel 5: Einphasen-Schnellzug-Lokomotiven 2-C-1 mit Einzelachsantrieb Bauart Brown Boveri.

Band 80. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 2.**

Eisenbetonmaste mit Rechteckquerschnitt.

Von Ingenieur *Leopold Herzka*, Oberbaurat, Wien.

Die Eisenbewehrung der Eisenbetonmaste wird aus statischen Gründen symmetrisch zur Querschnitt-Schweraxe angeordnet; demnach erfolgt die Anschmiegung an den Momentenverlauf derart, dass zwei zur Mittellinie symmetrisch gelegene Eisen nach Bedarf in gleicher Höhe abgebogen werden. Die Aufsuchung der Abbiegestellen bietet einige Umständlichkeiten, weil der Mastquerschnitt seine Breiten- und Tiefenmasse stetig ändert.

Die Einhaltung einer symmetrischen Bewehrung gestattet nun die Ableitung des nachstehend entwickelten, auf frühere Veröffentlichungen des Verfassers[1]) aufgebauten Verfahrens, das die Festlegung der Eisenabbiegeorte unmittelbar ermöglicht.

Bei einem Spitzenzug Z kg und Winddruck w kg/m entsteht bei x (Abbildung 1) das Moment

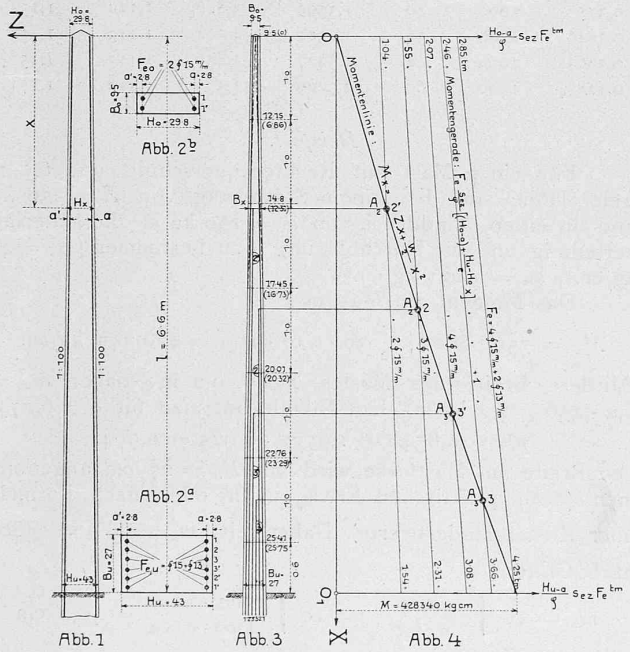
$$M_x = Z\,x + \frac{1}{2}\,w\,x^2 \qquad (1)$$

Setzt man

$$\beta = \frac{n\,s_{bd}}{s_{ez} + n\,s_{bd}} \qquad (2)$$

wobei s_{bd}, bezw. s_{ez} die gestatteten Inanspruchnahmen von Beton auf Druck und Eisen auf Zug darstellen, $n = \frac{E_e}{E_b} = 15$, so ergibt sich für den *„ideellen"* Bewehrungsgehalt (siehe die erstgenannte Publikation):

$$p^i_{ez} = \frac{10\,\beta^2}{3\,(1-\beta)} \qquad (3)$$



Damit gewinnt man den Bewehrungsgehalt für Querschnitte *gleich grosser Zug- und Druckarmierung:*

$$p_{zd} = p^i_{ez}\,\frac{1-\beta}{1-2\,\beta+\alpha'} = \frac{10\,\beta^2}{3\,(1-2\,\beta+\alpha')} = \frac{100\,F_e}{B_x\,H'_x} \qquad (4)$$

F_e ist die bezügliche Eisenzug- bezw. Druckfläche, B_x die Mastbreite und $H'_x = H_x - a$ die statische Höhe an der Stelle x; $\alpha' = \alpha = \frac{a}{H'_x}$ ist ein Verhältnis, dessen Grösse zwischen den Grenzen 0,06 und 0,15 sich bewegt (Abbildung 2); bei konstantem β ist p_{zd} ziemlich stark von α' abhängig. Ist aber p_{zd} für ein bestimmtes α' bekannt, so lässt sich die Aenderung Δp_{zd} für eine gegebene Abweichung $\Delta\alpha'$ sofort finden.

$$\frac{d\,p_{zd}}{d\,\alpha'} = -\frac{10}{3}\,\frac{\beta^2}{(1-2\,\beta+\alpha')^2} = -\frac{p_{zd}}{(1-2\,\beta+\alpha')} = \pi$$

daher bei endlichem $\pm\,\Delta\alpha'$:

$$\Delta\,p_{zd} = \pm\,\pi\,\Delta\alpha' \qquad (5)$$

In der Tabelle auf Seite 12 sind für eine Anzahl gangbarster β ($n = 15$) die p_{zd} und π, — entsprechend einem mittlern $\alpha' = 0{,}1$ —, zusammengestellt. Für die statische Höhe H'_x liefert die Rechnung (siehe z. B. den in der Anmerkung an zweiter Stelle genannten Aufsatz):

$$H'_x = 10\,\sqrt{\frac{m_x}{s_{ez}\,p^i_{ez}\,C}} \qquad (6)$$

$m_x = \frac{M_x}{B_x}$ ist die auf die Breiteneinheit reduzierte Momentengrösse und

$$C = \left(1 - \frac{\beta}{3}\right) + \frac{(1-\alpha')\,(\beta-\alpha')}{1-2\,\beta+\alpha'}$$

Berücksichtigt man Gl. (4), so folgt mit der Abkürzung:

$$\varphi = \frac{1-\beta}{\left(1-\frac{\beta}{3}\right)(1-2\,\beta+\alpha') + (1-\alpha')\,(\beta-\alpha')} \qquad (7)$$

$$H'_x = 10\,\sqrt{\frac{m_x\,\varphi}{s_{ez}\,p_{zd}}} \qquad (6')$$

Die φ-Werte sind gleichfalls in der Tabelle enthalten und zwar für $\alpha' = 0{,}075$ und $0{,}15$; man ersieht, dass φ für Aenderungen von α' wenig empfindlich ist und darf daher mit einem, dem vorliegenden β zugeordneten Mittelwerte φ_m rechnen, wenn man es nicht vorzieht, geradlinig zu interpolieren. Aus der Verknüpfung der Gl. (4) und (6') folgt:

$$F_e = \frac{M_x\,\varphi}{s_{ez}\,H'_x} \qquad (8)$$

sodann berechnet sich die Mastbreite aus:

$$B_x = \frac{100\,F_e}{H'_x\,p_{zd}} \qquad (9)$$

Die Gleichung (8) dient unmittelbar zur Aufsuchung der Eisenabbiegestellen; setzt man nämlich voraus, dass H_x' sich geradlinig ändert, also:

$$H_x' = (H_o - a) + \frac{H_u - H_o}{l}\,x \qquad (10)$$

so folgt die Konstruktionsgleichung:

$$F_e\,\frac{s_{ez}}{\varphi}\left[(H_o - a) + \frac{H_u - H_o}{l}\,x\right] = M_x \qquad (8')$$

Ihre linke Seite stellt sinnfällig Momente dar, die bei einem bestimmten F_e durch eine Gerade begrenzt sind; im Schnittpunkte dieser Geraden mit M_x liegt der gesuchte Abbiegepunkt A (siehe Abbildung 4).

Sämtliche Geraden schneiden sich in:

$$x_o = -\frac{H_o - a}{H_u - H_o}\,l \qquad (11)$$

Da aber x_o sehr weit von O liegt, empfiehlt sich, die einzelnen Strahlen mit Hilfe zweier Momentemasstäbe, die in O und O_1 senkrecht auf die x-Axe aufzutragen sind, zu zeichnen; ersichtlich ergeben sie sich für die Flächeneinheit $F_e = 1$ cm² zu: $\frac{s_{ez}\,H_o'}{\varphi}$, bezw. $\frac{s_{ez}\,H_u'}{\varphi}$; bei c gleichen Eiseneinlagen kann als Masstabeinheit $\frac{s_{ez}\,H_o'\,F_e}{c\,\varphi}$, bezw. $\frac{s_{ez}\,H_u'\,F_e}{c\,\varphi}$ gewählt werden.

[1]) Siehe 1. «Einheitliches Verfahren zur Bemessung einfach und doppelt bewehrter Platten und Rippen aus Eisenbeton». Oesterr. Wochenschrift für den öffentl. Baudienst. 1912.

2. «Wichtige Einblicke in Querschnitte aus Eisenbeton». Beton und Eisen. 1920.

Bei Masten wird eine maximale Durchbiegung δ für einen bestimmten Spitzenzug vorgeschrieben; diese Grösse wird bei Eisenbetonmasten mit richtiger Durchbildung kaum erreicht. Immerhin ist es gut, wenn δ auch rechnerisch vorliegt. Nachstehend werden für δ zwei Formeln abgeleitet.

a) Für die Durchbiegung gilt:

$$\delta = \int_0^l \frac{M_x \, M_x' \, dx}{E_b \, J_x} \qquad (12)$$

Darin bedeuten M_x das örtliche, $M_x' = x$ das dem Zustand $Z = 1$ entsprechende Balkenmoment; ferner werde nach Ritter[1]) gesetzt:

$$y = \frac{J_c}{J_x} = 1 - (1 - \Delta)\left(\frac{x}{l}\right)^{2r}$$

J_a ist das Trägheitsmoment am Mastfusse, J_c am Kopfe und J_x jenes an der Stelle x; $\Delta = \frac{J_c}{J_a}$ ist ein Verhältniswert; $2r$ muss durch Versuch ermittelt werden und dürfte für die übliche Durchbildung der Rechteckmaste zwischen $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{4}$ liegen. Nunmehr kann man schreiben:

$$\delta = \frac{1}{E_b \, J_c} \int_0^l M_x \, x \, y \, dx =$$

$$= \frac{1}{E_b \, J_c} \int_0^l \left[Z x + \frac{1}{2} \omega x^2\right] \left[1 - (1 - \Delta)\left(\frac{x}{l}\right)^{2r}\right] dx$$

woraus man nach Auswertung findet:

$$\delta = \frac{l^3}{24 \, E_b \, J_c} \left[8 \, Z \frac{2r + 3\Delta}{2r + 3} + 3 \, \omega \, l \frac{2r + 4\Delta}{2r + 4}\right] \qquad (13)$$

Für $\Delta = 1$, also $J_c = J_a = J$ folgt unmittelbar der Ausdruck für konstantes Trägheitsmoment.

b) Die zweite Ableitung für δ stützt sich auf die eingangs gefundenen Beziehungen für Maste mit durchwegs gleicher Bewehrung.

Man darf schreiben:

$$J_x = \frac{1}{12} B_x \, H_x^3 + 2n' \, F_e \left(\frac{H_x}{2} - a\right)^2$$

n' ist im allgemeinen von n verschieden; die deutschen Bestimmungen (1915) schreiben $n' = 10$ ($E_b = 210\,000$ kg/cm²), die österreichischen Vorschriften (1911) hingegen $n = n' = 15$ vor ($E_b = 140\,000$ kg/cm²). Nun ist weiter:

$$J_x = \frac{1}{12} B_x (H_x' + a)^3 + \frac{n' \, F_e}{2} (H_x' - a)^2 = \frac{1}{12} B_x \, H_x'^3 (1 + \alpha')^3 +$$

$$+ \frac{1}{2} n' \, F_e H_x'^2 (1 - \alpha')^2$$

und mit Berücksichtigung der Gl. (4):

$$J_x = F_e \, H_x'^2 \left[\frac{25}{3} \frac{(1 + \alpha')^3}{p_{zd}} + \frac{1}{2} n' (1 - \alpha')^3\right] = F_e \, H_x'^2 \, \psi \qquad (14)$$

Wird eine durchaus gleiche Bewehrungsziffer p_{zd} vorausgesetzt (eine Annahme, die wohl nie ganz zutrifft) und der Rechnung ein mittleres (konstantes) Verhältnis α' zugrundegelegt, dann stellt:

$$\psi = \frac{25}{3} \frac{(1 + \alpha')^3}{p_{zd}} + \frac{1}{2} n' (1 - \alpha')^2 \qquad (15)$$

eine Konstante dar; wegen Gl. (8) erhält man auch:

$$J_x = M_x \, H_x' \frac{\varphi \, \psi}{s_{ez}}.$$

Gleichung (12) nimmt daher die Form an:

$$\delta = \frac{s_{ez}}{\varphi \, \psi \, E_b} \int_0^l \frac{x \, dx}{H_x'} \qquad (16)$$

und mit dem Wert der Gl. (10):

$$\delta = \frac{s_{ez}}{\varphi \, \psi \, E_b} \int_0^l \frac{x \, dx}{(H_o - a) + \frac{H_u - H_o}{l} x} \qquad (16')$$

[1]) *Max Ritter:* «Ueber die Berechnung elastisch eingespannter und kontinuierlicher Balken mit veränderlichem Trägheitsmoment». Schweiz. Bauzeitung, Bd. LIII, S. 231 (1. Mai 1909); ferner die bezüglichen Veröffentlichungen des Verfassers, so z. B. «Berechnung von Rahmentragwerken aus Elementen stetig veränderlicher Höhe». Bd. LXXVII, S. 207 (7. Mai 1921).

Die Auswertung liefert endlich für die Durchbiegung den Ausdruck:

$$\delta = \frac{s_{ez} \, l^2}{E_b \, \varphi \, \psi \, (H_u - H_o)} \left(1 - \frac{H'}{H_u - H_o} \, l \, n \, \frac{H_u'}{H_o'}\right) \qquad (17)$$

Für $H_x' = (H_u - a) =$ konstant entsteht aus Gl. (16):

$$\delta = \frac{s_{ez} \, l^2}{2 \, E_b \, \varphi \, \psi \, H_u'} \qquad (17')$$

Zu diesem Ausdruck führt auch Gl. (17); setzt man $H_o = y$, so kann geschrieben werden:

$$\delta = \frac{l^2 \, s_{ez}}{E_b \, \varphi \, \psi} \left(\frac{(H_u - y) - (y - a)\,[l \, n \, (H_u - a) - l \, n \, (y - a)]}{(H_u - y)^2}\right) \qquad (17'')$$

für $y = H_u$ wird der Klammerausdruck unbestimmt und zwar $\frac{0}{0}$; die Beseitigung der Unbestimmtheit durch zweimalige Differentiation von Zähler und Nummer führt zu:

$$\left.\frac{1}{2\,(y - a)}\right|_{y = H_u} = \frac{1}{2\,(H_u - a)} = \frac{1}{2 \, H_u'},$$

welcher Betrag statt des Klammerausdruckes in Gl. (17″) eingeführt wieder (Gl. (17′) ergibt.

β	Zugeordnete s_{ez} kg/cm²	Zugeordnete s_{bd} kg/cm²	p_{zd} ($\alpha' = 0{,}1$)	$+\pi$	φ für $\alpha' = 0{,}075$	φ für $\alpha' = 0{,}15$
$0{,}285_{7_1}$	1200	32	0,5148	— 0,974	1,090	1,110
$0{,}316_{2_4}$	„	37	0,7130	— 1,525	1,103	1,130
0,3243	1000	32	0,7766	— $1{,}720_4$	1,106	1,134
0,3333	1200	40	0,8546	— $1{,}972_2$	1,107	1,139
	1000	33,3				
$0{,}344_{2_6}$	1200	42	0,9424	— 2,248	1,107	1,143
	1000	35				
0,3569	1000	37	1,0994	— $2{,}846_6$	$1{,}110_6$	1,148
0,36	1200	45	1,1368	— $2{,}991_5$	$1{,}111_7$	1,149
	800	30				
0,375	1000	40	1,3393	— $3{,}826_6$	1,112	1,154
0,3846	1200	50	1,4900	— 4,504	1,113	1,158
0,3865	1000	42	1,5227	— $4{,}656_4$	1,113	$1{,}158_6$
$0{,}428_{5_7}$	1200	60	2,5209	— 11,533	1,112	1,171

Beispiel.

Für einen Mast mit Rechteckquerschnitt und 6,6 m freier Höhe sind bei einem Spitzenzug von $Z = 550$ kg und für einen Winddruck von $\omega = 150$ kg/m² die Materialverteilung und die Durchbiegung δ zu bestimmen ($s_{bd} = 40$ kg/cm², $s_{ez} = 1200$ kg/cm²).

Das Moment am Mastfusse ist:

$$M_u = 550 \cdot 660 + \frac{1}{2} 30 \cdot 6{,}6^2 \cdot 100 = 428{,}340 \text{ kg/cm}$$

(Mittlere Breite des Mastes $B_m = 0{,}2$ m; daher $\omega_m = 0{,}2 \cdot 150 = 30$ kg/m), laut Tabelle hat man für $\alpha' = 0{,}075$:

$$p_{zd} = 0{,}8546 + 1{,}9722 \cdot 0{,}025 = 0{,}904$$

Die Breite am Mastfusse wird mit $B_u = 27$ cm angenommen (nach praktischen Erwägungen oder nach Formeln über Kostenmindestwerte). Daher mit: $m_u = \frac{M_u}{B_u} = 15865$ nach Gl. (6′):

$$H_u' = 10 \sqrt{\frac{m_u \, \varphi}{s_{ez} \, p_{zd}}} = 10 \sqrt{\frac{15865 \cdot 1{,}107}{1200 \cdot 0{,}904}} = 40{,}2 \text{ cm}$$

und nach Gl. (8):

$$F_e = \frac{M_u \, \varphi}{s_{ez} \, H_u'} = \frac{428{,}340 \cdot 1{,}107}{1200 \cdot 40{,}2} = 9{,}83 \text{ cm}^2$$

Gewählt werden: 4 ⌀ 15 mm und 2 ⌀ 13 mm = 9,74 cm². Der Spannungsnachweis mit den tatsächlichen Massen und $\alpha' = \frac{2{,}8}{40{,}2} = 0{,}07$ ergibt: $\sigma_{bd} = 40$ km/cm², $\sigma_{ez} = 1200$ kg/cm². Der Anlauf des Mastes wurde mit $^1/_{100}$ angenommen; damit ergibt sich $H_o = H_u - 0{,}02 \; l = 29{,}8$ cm. Nunmehr lässt sich zu jeder beliebigen statischen Höhe H_x' die zugehörende Breite B_x, — bei Festhaltung von $p_{zd} = 0{,}904$ —, berechnen. Gl. (8) und (9) liefern durch Verknüpfung:

$$B_x = \frac{100\,\varphi\,M_x}{p_{zd}\,s_{ez}\,H_x'^2} = 0{,}102\,\frac{M_x}{H_x^2}$$

Die Auswertung ergibt für die von der Mastspitze aus um $x = 1{,}0$, $2{,}0$, $3{,}0$, $4{,}0$, $5{,}0$, $6{,}0$ und $6{,}6$ m entfernten Querschnitte der Reihe nach die Breiten: 6,86, 12,31, 16,73, 20,32, 23,29, 25,75 und $B_u = 27{,}0$ cm. Bei Einhaltung dieser Masse würde ein krummlinig begrenzter Träger konstanter Bewehrung und Festigkeit resultieren; da indessen $p_{zd} = 0{,}904$ wegen stufenweiser Abbiegung der Eisen nur an den Abbiegestellen sich streng einhalten lässt, dieser Wert in den Zwischenquerschnitten sich aber verringert, ferner die Begrenzung des Mastes nach einer Kurve schwierig herzustellen und daher kostspielig ist, wird man den Mast nach der Breite ebenfalls durch Gerade, die tunlichst den theoretischen Massen sich anschmiegen, begrenzen; in unserem Falle wurde durch Versuch die Kopfbreite $B_o = 9{,}5$ cm angenommen. Man überzeugt sich, dass dann s_{ez} und s_{bd} an keiner Stelle überschritten werden; in der Abbildung 3 sind sowohl die theoretischen Breiten (in Klammer) als auch die der Ausführung unterlegten eingetragen.

Für die Materialverteilung benützen wir, da $x_o = -13{,}5$ m (Gl. 11) ungünstig liegt, die Momentenmassstäbe und zwar entspricht $F_e = 1$ cm² ein Moment von:

$$\frac{H_o - a}{\varphi}\,s_{ez} = \frac{0{,}27 \cdot 1{,}2}{1{,}107} = 0{,}2927 \text{ tm im Punkte o und}$$

$$\frac{H_u - a}{\varphi}\,s_{ez} = \frac{0{,}402 \cdot 1{,}2}{1{,}107} = 0{,}4358 \text{ tm} \quad „ \quad „ \quad o_1.$$

Demnach werden folgende Momente aufgenommen:

		Punkt O_1	Punkt O
Von	4 Φ 15 + 2 Φ 13 mm = 9,74 cm²	4,25 tm	2,85 tm
„	4 Φ 15 + 1 Φ 13 mm = 8,41 cm²	3,66 tm	2,46 tm
„	4 Φ 15 mm = 7,08 cm²	3,08 tm	2,07 tm
„	3 „ = 5,31 cm²	2,31 tm	1,55 tm
„	2 „ = 3,54 cm²	1,54 tm	1,04 tm

Wo die bezüglichen Geraden die Momentenlinie schneiden, liegen die gesuchten Abbiegestellen (die Haftlängen wurden in die Abbildungen nicht eingetragen).

Durchbiegung. Durch Versuch wurde gefunden, dass für die vorliegende Form des Mastes die Hochzahl „$2r$" zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{3}$ liegt; demnach entsteht für:

$$2r = \frac{1}{3} \ldots \delta_1 = \frac{l^3}{24\,E_b\,J_c}\left(8\,Z\,\frac{1 + 9\,\Delta}{10} + 3\,\omega\,l\,\frac{1 + 12\,\Delta}{13}\right) \quad (13')$$

$$2r = \frac{1}{4} \ldots \delta_2 = \frac{l^3}{24\,E_b\,J_c}\left(8\,Z\,\frac{1 + 12\,\Delta}{13} + 3\,\omega\,l\,\frac{1 + 16\,\Delta}{17}\right) \quad (13'')$$

Mit den Werten $l = 660$ cm, $Z = 550$ kg, $\omega\,l = 30 \cdot 6{,}6 = 198$ kg, $E_b = 140{,}000$ (210,000) kg/cm², $n' = 15$ (10) ergibt sich wegen:

$$J_c = \frac{1}{12}\,B_o\,H_o^3 + 2\,n'\,F_{e,o}\left(\frac{H_o}{2} - a\right)^2 = 31{,}130\,(25950) \text{ cm}^4,$$

$$J_a = \frac{1}{12}\,B_u\,H_u^3 + 2\,n'\,F_{e,u}\left(\frac{H_u}{2} - a\right)^2 = 281{,}100\,(247000) \text{ „},$$

$$\Delta = \frac{J_c}{J_a} = 0{,}111 \;(0{,}105):$$

$\delta_1 = 2{,}7$ (2,2) cm bezw. $\delta_2 = 2{,}4$ (1,9) cm.

Die Berechnung der Durchbiegung nach Formel (17) wurde für $a' = 0{,}075$, dem die Tabellenwerte $p_{zd} = 0{,}904$ und $\varphi = 1{,}107$ und für $a' = 0{,}1$, dem ein $p_{zd} = 0{,}855$ und ein $\varphi = 1{,}139$ entsprechen und für $n' = 15$ (10) durchgeführt. Im ersten Falle ergibt sich:

$$\psi_1 = \frac{25}{3}\,\frac{1{,}075^3}{0{,}904} + n' \cdot 0{,}925^2 = 17{,}869\,(15{,}73)$$

im Falle $a' = 0{,}1$ hingegen:

$$\psi_2 = \frac{25}{3}\,\frac{1{,}1^3}{0{,}855} + n' \cdot 0{,}9^2 = 19{,}049\,(17{,}024)$$

damit findet man nach Einsetzung:

$\delta'_1 = 2{,}67$ (2,03) cm, bezw. $\delta'_2 = 2{,}44$ (1,82) cm.

Wie man sieht, ist die Uebereinstimmung der Resultate eine sehr weitreichende.

Wien, im September 1921.

Einphasen-Schnellzuglokomotiven 2-C-1 mit Einzelachsantrieb Bauart Brown Boveri.

(Mit Doppeltafel 5.)

Die Mehrzahl der auf den Linien der Schweizerischen Bundesbahnen in Betrieb befindlichen elektrischen Lokomotiven[1]) weisen den bekannten Kuppelstangenantrieb auf. Demgegenüber stellt der Typ 2-C-1, der im folgenden beschrieben werden soll, eine in ihrer Gesamtanlage nach vollständig neuen Grundsätzen aufgebaute Lokomotive dar. Grundlegend für deren Ausführung waren die Versuchsergebnisse einer mit Einzelachsantrieben ausgerüsteten 1-C-1 Lokomotive[2]) die seit mehr als drei Jahren mit Erfolg in Betrieb steht. Die Bauart ist dem Wunsche entsprungen, die Nachteile des Stangenantriebs zu umgehen, die in der Hauptsache in den bekannten Schüttelerscheinungen, ferner, wenn auch in geringem Masse, in relativen Bewegungen zwischen Motor und Radsatz im Drehsinn bestehen. Ueber die konstruktiven Neuerungen, die dabei verwirklicht sind, entnehmen wir dem Mai-Heft 1922 der B B C-Mitteilungen die folgenden Einzelheiten:

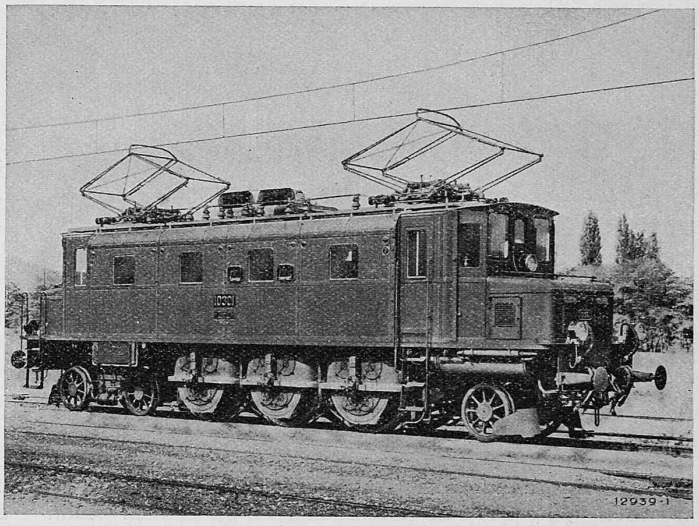


Abb. 1. Einphasen-Schnellzuglokomotive 2-C-1 mit Einzelachsantrieb für die Schweizerischen Bundesbahnen (Linke Seite in Fahrtrichtung).

Anordnung der Trieb- und Laufachsen. Aus den Abbildungen 1 und 2 geht deutlich die ungewohnte Unsymmetrie des Aufbaues hervor: auf der einen, der linken Seite in Fahrtrichtung, sind die Träger für den Zahnradantrieb, auf der rechten Seite die Triebräder sichtbar. In der Fahrtrichtung vorn ist den Triebrädern ein zweiachsiges Drehgestell vorgebaut, während hinten der Lokomotivrahmen auf einer Bisselachse ruht. Der Gang der Lokomotiven mit vorlaufendem Drehgestell ist vorteilhafter, als in umgekehrter Richtung mit vorlaufender Bissel-Achse. Für die vorgeschriebene Maximalgeschwindigkeit von 90 km/h genügt jedoch in fahrtechnischer Beziehung auch nur eine vorlaufende Führungsachse, dies umso eher, als sämtliche Trieb- und Führungsachsen im gleichen Lokomotivrahmen untergebracht sind, sich somit in der Führung des Fahrzeuges gegenseitig unterstützen.

Mit zwei Drehgestellen böte allerdings die Maschine ein gefälligeres Aussehen; allein für die Aufnahme des Lokomotivgewichtes von 91,5 t genügen, bei den von den S. B. B. zugelassenen Achsbelastungen (Triebachsen 20 t, Laufachsen 15 t) drei Trieb- und drei Laufachsen. Der Einbau eines zweiten Drehgestelles statt der Bissel-Achse

[1]) Vergl. «Die Einphasen-Lokomotiven der S. B. B.», Band LXXI, S. 213 (18. Mai 1918), ferner insbesondere die Beschreibung der in grösserer Anzahl beschafften 1 B + B 1 Schnellzug-Lokomotiven von Brown, Boveri & Cie in Band LXXIV, Seite 184 (11. Oktober 1919) und der 1 C + C 1 Güterzug-Lokomotiven der Maschinenfabrik Oerlikon in Band LXXV, S. 229 (22. Mai 1920).

[2]) Vergl. darüber Band LXX, S. 83 (18. August 1917).