

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	69/70 (1917)
Heft:	7
Artikel:	Der mehrfache Rahmen mit horizontal verschiebbarem und mit unverschiebbarem Balken
Autor:	Gsell-Heldt, Robert
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-33930

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: 21.02.2026

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

von dem festen Zugangssteg unter allen Umständen und zu allen Jahreszeiten möglich blieb.

Am einfachsten wären diese Bedingungen zu erfüllen gewesen durch das Eintreiben einer Reihe um das Bootshaus herum angeordneter Pfähle, gegen deren Verwendung jedoch nicht allein die Beschaffenheit des Seegrundes, sondern auch ästhetische und namentlich praktische, mit dem Bootbetrieb zusammenhängende Bedenken sprachen; es blieb also nur die Möglichkeit einer freischwebenden Verankerung mittels Ketten, deren Anordnung in Abb. 14 dargestellt ist.

Die seitliche Angriffsfläche für die Westwinde beträgt rund 95 m^2 , jene für die Süd-, bzw. S-O-Winde etwa 45 m^2 . Gestützt auf Angaben der meteorologischen Zentralanstalt wurde den bezüglichen Berechnungen eine grösste Wind-Geschwindigkeit von 25 m/sec mit einem Winddruck von 75 kg/m^2 zu Grunde gelegt.¹⁾

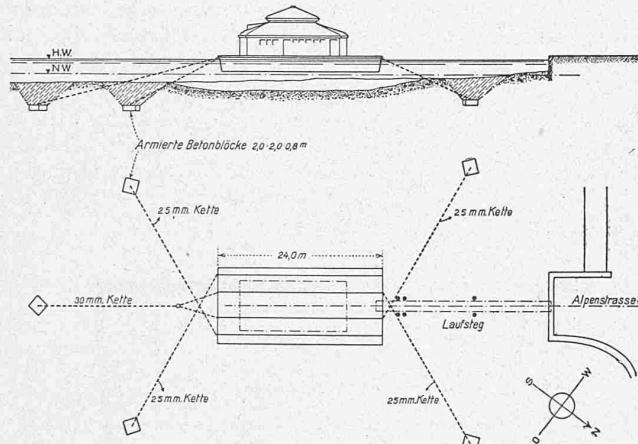


Abb. 14. Verankerung des Z.Y.C.-Boothauses. — Masstab 1:1000.

Für die Wahl der Ketten, ihrer Längen und Stärken waren zwar statische, auf den *Winddruck* allein sich stützende Berechnungen nicht ausschlaggebend; weit wichtiger als die blosse Aufnahme von Zugbeanspruchungen erschien bei dem Gewichte des ganzen Schwimmkörpers die Verhinderung von Beschleunigungen durch Wind und Seegang und damit die möglichste *Ausschaltung von Massenwirkungen*. Dies konnte nur durch die Anwendung langer, schwerer Ketten erreicht werden, die derart aufgehängt wurden, dass sie auch bei Niederwasser in möglichst grosser Länge freitragend bleiben. Die durch die Massenbewegung frei werdende Arbeit wird dann aufgenommen und vernichtet durch die zum Anstrecken der Ketten notwendige Arbeitsleistung und jede Bewegung muss zur Ruhe kommen, lange bevor Spannungen von beträchtlicher Grösse in den Ketten entstehen können.

Beobachtungen des Bootshauses bei Sturm und bei Niederwasser haben die Richtigkeit dieser Annahmen und Berechnungen mehrfach bewiesen, und eine rein statische Beanspruchung der Ketten konnte niemals beobachtet werden. Bei starkem Westwind und losen Ketten bei Niederwasser gerät der Ponton in eine elliptisch kreisende Pendelbewegung; sein Mittelpunkt beschreibt dann eine Ellipse, deren grosse Axe etwa 1 m und deren kleine Axe etwa 20 bis 30 cm beträgt. Zu einer vollständigen Pendelbewegung braucht er 25 bis 30 Sekunden, und es hat sich gezeigt, dass selbst stärkste Böen nicht imstande sind, die Regelmässigkeit der Bewegung zu stören. Bei Hochwasser und weit straffer angezogenen Ketten ist die Bewegung des Pontons nicht mehr so regelmässig, aber auch nicht mehr so gross; die statischen Beanspruchungen treten dann in den Vordergrund, bleiben aber zufolge der weit geringeren Windgeschwindigkeiten, die während der Hochwasserperiode herrschen, innerhalb der zulässigen Grenzen. Zufolge der dem Bootshaus vorgelagerten Anlege-Flossen und der

nach vorn gerichteten, schweren 30 mm „Föhnketten“, ist die Bewegung des Ganzen am vordern und hintern Ende nicht ganz gleich; es bewegt sich, namentlich bei Westwind, das hintere Ende bedeutend stärker.

Die schweren Ketten sind mittels Schäkel an die in ausgebaggerte Löcher versenkte Klötze aus armiertem Beton angeschlossen; ihre obren Enden sind ebenfalls mit Schäckeln an die mit den vier durchgehenden Längsträgern vernetzten Kopfstücke befestigt. Das genaue Versetzen der je rund 8000 kg schweren Betonklötze, das Anbringen der Ketten am Boothaus, dessen Zentrierung auf den Zugangssteg und die genaue Einstellung der Ketten auf den richtigen Durchhang brachte mancherlei Schwierigkeiten mit sich, die jedoch sämtliche überwunden wurden und es hat eine anderthalbjährige Probezeit die Zweckmässigkeit der getroffenen Anordnungen bestätigt.“

Die Bauleitung des ganzen Boothaus-Baues lag in den Händen der Architekten Pfleghard & Haefeli, Entwurf und Berechnung der Eisenbeton-Konstruktion stammen von den Ingenieuren Zehntner & Brenneisen (Zürich). Die Bauausführung besorgten Bosshard, Steiner & Cie. (Zürich), die auch die biologische Kläranlage entworfen und ausgeführt haben. Die Möblierung lieferten Knuchel & Kahl (Zürich); ihnen verdankt der Yacht-Club auch die Stiftung der zierlichen Damen-Garderobe-Einrichtung, die der knappen Raumverhältnisse wegen nicht photographiert werden konnte.

Der mehrfache Rahmen mit horizontal verschiebbarer und mit unverschiebbarer Balken.

Von Ing. Robert Gsell-Heldt, z. Z. in Zürich.

(Schluss von Seite 67.)

III. Berechnung der bei einer Umtemperierung des Balkens von $\pm 20^\circ \text{C}$ entstehenden Momente und Schübe am Rahmen mit einseitig festgelagertem Balken.

Wie bereits in der Einleitung bemerkt, wurde diese Untersuchung seinerzeit von Dr. Ing. Max Ritter durchgeführt. Die Verschiebungen der einzelnen Pfeilerköpfe wurden bei einem Ausdehnungskoeffizienten $\omega = 0,000012$ für 1°C zu

$s_I = 0,0024 \text{ m}$ $s_{II} = 0,0053 \text{ m}$ $s_{III} = 0,00816 \text{ m}$
gefunden (Abbildung 9 a).

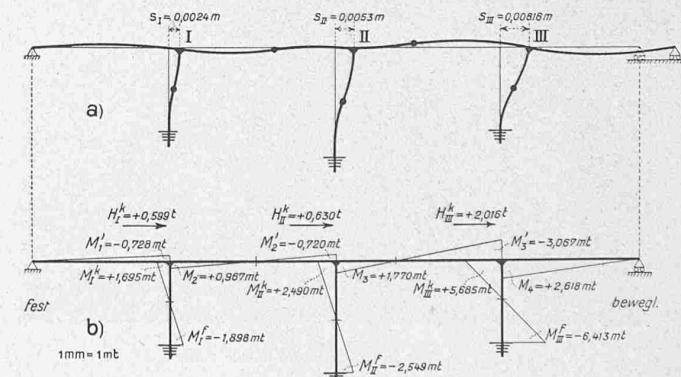


Abb. 9. Momente und Horizontalschübe am Rahmen mit festgehaltenem Balken infolge Temperatur-Erhöhung von $+20^\circ \text{C}$.

Mittels der gleichen Methode wie unter* Abschnitt II ergeben sich für diese Verschiebungen s_I , s_{II} und s_{III} die in Abbildung 9 b eingetragenen Resultate, mit denen die von Dr. Ing. Ritter auf analytisch-graphischem Wege gefundenen gut übereinstimmen.

Die natürlich bei einem Temperaturwechsel nicht ausbleibende Längenänderung der Pfeiler hat im allgemeinen bei relativ kurzen Pfeilern keinen grossen Einfluss auf die Biegungsmomente und wird deswegen auch meistens vernachlässigt; dieser Einfluss ist für beide Rahmensysteme

¹⁾ Vgl. «Ueber Windstärke» in Bd. LXVII, S. 140 (11. März 1916). Red.

gleich gross und kommt somit für unsere Untersuchung nicht in Betracht. Jedoch soll hier kurz, wenngleich ausserhalb des Rahmens unserer Betrachtungen liegend, noch der Einfluss einer senkrechten Verschiebung von 0,01 m des linken Pfeilers I untersucht werden.

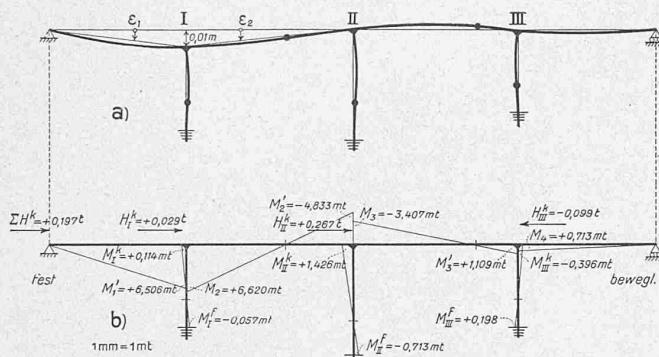


Abb. 10. Momente und Horizontalschübe am Rahmen mit festgehaltenem Balken infolge einer Senkung des linken Pfeilers um 0,01 m.

Die Grundgleichungen hierfür lauten nach Abbildung 10 a:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 + a_1' &= a_2 + \varepsilon_2 & \varepsilon_2 + a_2' &= a_3 & a_3' &= a_4 \\ \beta_1^k &= a_2 + \varepsilon_2 & \beta_{II}^k &= a_3 & \beta_{III}^k &= a_4 \end{aligned}$$

oder nach dem Satze von der Neigung der elastischen Linie:

$$\begin{aligned} \frac{0,01}{10} - \frac{I}{EJ} \cdot \frac{10}{3} M_1' &= - \frac{0,01}{12} + \frac{I}{EJ} [4 M_2 + 2 M_2'] \\ - \frac{I}{EJ_1} \cdot \frac{1}{4} \cdot 6 M_1^k &= - \frac{0,01}{12} + \frac{I}{EJ} [4 M_2 + 2 M_2']. \\ \frac{0,01}{12} - \frac{I}{EJ} [2 M_2 + 4 M_2'] &= \frac{I}{EJ} [4 M_3 + 2 M_3'] \\ - \frac{I}{EJ_1} \cdot \frac{1}{4} \cdot 8 M_{II}^k &= \frac{I}{EJ} [4 M_3 + 2 M_3']. \\ - \frac{I}{EJ} [2 M_3 + 4 M_3'] &= \frac{I}{EJ} \cdot \frac{10}{3} M_4; \\ - \frac{I}{EJ_1} \cdot \frac{1}{4} \cdot 6 M_{III}^k &= \frac{I}{EJ} \cdot \frac{10}{3} M_4. \end{aligned}$$

Nach erfolgter Elimination der Pfeilermomente M^k anhand der allgemeinen Knotenpunktgleichung $M' + M^k = M$ erhält man wieder ein System von sechs einfachen Gleichungen, deren Lösung die unbekannten Balkenmomente ergibt, aus denen dann wieder die Pfeilermomente und Horizontalschübe ermittelt werden. Die Resultate dieser Operation sind in Abbildung 10 b zur Darstellung gebracht und lassen erkennen, dass die Senkung eines Auflagers von wenigen Millimetern auf die Balkenmomente schon sehr empfindlich wirken kann, eine Erscheinung die ja dem kontinuierlichen gelenklosen Träger eigen ist. Im Falle, dass der Rahmen als solcher mit verschiebbarem Balken d. h. mit zwei frei beweglichen Endauflagern ausgebildet wäre, würden noch die von der Resultante der Horizontalschübe (Aktion) verursachten Zusätze zu ermitteln sein.

IV. Berechnung der bei einer Umtemperierung des Balkens von $\pm 20^\circ C$ entstehenden Momente und Schübe am Rahmen mit horizontal verschiebbarem (nicht festgehaltenem) Balken.

Bei symmetrischen Rahmen vollzieht sich die durch einen Temperaturwechsel entstehende Längenänderung des Balkens von der Rahmenmitte aus gleichmässig nach beiden Seiten. Eine Temperaturänderung von $\pm 20^\circ C$ verursacht an unserem Rahmen (Abbildung 11 a) eine Verschiebung der beiden Pfeilerköpfe I und III um $s = \pm 0,0029 m$ nach aussen bzw. nach innen, während der Pfeiler II vollständig in Ruhe bleibt. Die Tangente der Biegelinie im Punkte II verläuft somit horizontal, was zur Folge hat,

dass $M_2' = -\frac{I}{2} M_2$ sein muss. Zur Ermittlung der noch unbekannten Momente M_1' und M_2 dienen die Gleichungen:

$$\begin{aligned} a_1' &= a_2 \\ \varepsilon_1 + \beta_1^k &= a_2 \end{aligned}$$

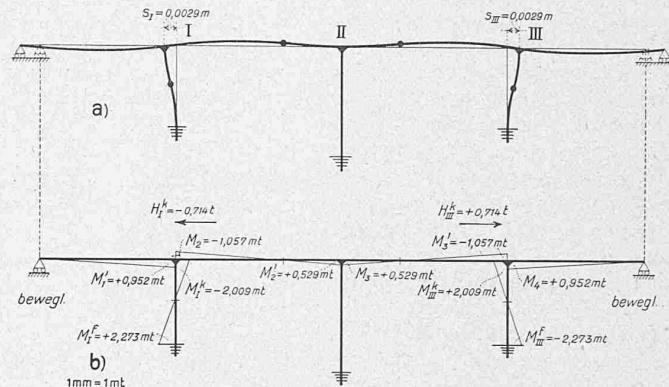


Abb. 11. Momente und Horizontalschübe am Rahmen mit verschiebbarem Balken infolge Temperatur-Erhöhung von $+20^\circ C$.

$$\begin{aligned} \text{oder } & - \frac{I}{EJ} \cdot \frac{10}{3} M_1' = \frac{I}{EJ} \cdot \frac{I}{4} \cdot 12 M_2 \\ & - \frac{3}{2} \cdot \frac{0,0029}{6} - \frac{I}{EJ_1} \cdot \frac{I}{4} \cdot 6 M_1^k = \frac{I}{EJ} \cdot 3 M_2 \end{aligned}$$

Die Bedingung $M_1' + M_1^k - M_2 = 0$ führt sodann zu den beiden Bestimmungsgleichungen:

$$\begin{aligned} 10 M_1' + 9 M_2 &= 0 \\ 2 M_1' - 3 M_2 &= 5,075; \end{aligned}$$

ihre Auflösung ergibt

$$\begin{aligned} M_1' &= +0,952 \text{ mt} \\ M_2 &= -1,057 \text{ mt} \end{aligned}$$

Das Pfeilerkopfmoment beträgt

$$M_1^k = -2,009 \text{ mt};$$

der Horizontalschub

$$H_1^k = H_{Im}^k + H_{Is}^k = \frac{3}{2h} \cdot M_1^k + (-0,0029) \cdot \frac{3 \cdot E \cdot J_1}{h^3} = -0,714 \text{ t}$$

und schliesslich das Pfeilerfußmoment

$$M_4^k = -h \cdot H_1^k + M_1^k = +2,273 \text{ mt},$$

welche Ergebnisse in Abbildung 11 b dargestellt sind.

* * *

Die sinngemässen Zusammenstellung der in den Abschnitten I bis IV berechneten Momente gestattet uns nun, die Maximalmomente-Diagramme für beide Rahmensysteme aufzuzeichnen, mittels welcher wir dann den unserer Aufgabe zugrunde gelegten Vergleich vornehmen können. In Bezug auf die Zusammenstellung der Pfeilermomente ist dabei hervorzuheben, dass beim Rahmen mit verschiebbarem Balken nicht immer dieselben Belastungsschemata, wie sie für den Rahmen mit festgehaltenem Balken in Frage kommen und leicht anhand der Biegelinien bestimmt werden können, die ungünstigsten sind, und hier die Zusätze infolge Pfeilerkopf-Verschiebung darüber Aufschluss geben, ob nicht noch ein weiteres Feld als belastet mit einzubeziehen oder umgekehrt eines der ersten zu entlasten ist.

Unter Verfolgung aller dieser Untersuchungen wurden die in den Diagrammen Abb. 12 und 13 (Seite 82) eingeschriebenen Höchstwerte ermittelt, wobei sich die mit Klammern versehenen Zahlen auf die Maximalmomente ohne Temperaturinflüsse beziehen. Ein Vergleich zeigt uns nun, dass die Höchstwerte (Temperatur inbegriiffen) für den Rahmen mit festgehaltenem Balken (einseitig festes Endauflager) fast durchwegs grösser sind — bei Pfeiler III

sogar bis $\sim 130\%$ — als beim Rahmen mit verschiebbarem Balken (beidseitig frei bewegliches Endauflager). Der Unterschied kommt etwa dem Einfluss einer in der Balkenaxe wirkenden äusseren horizontalen Verschiebungskraft von etwa 4 t gleich, vorausgesetzt, dass der Rahmen mit festgehaltenem Balken auch bezüglich seiner Armierung symmetrisch ausgebildet wird, was in solchen Fällen schon aus praktischen Gründen als angezeigt erscheint. Die Differenz der Maximalmomente zwischen beiden Rahmensystemen ohne Temperatureinflüsse ist relativ gering und kommt deshalb bei einer Bevorzugung des einen oder des anderen Systems kaum in Betracht; sie spricht bei dem Mittelpfeiler zu Gunsten des Rahmens mit festgehaltenem Balken, dagegen bei beiden Endpfeilern für jenen mit verschiebbarem, nicht festgehaltenem Balken.

Bei gelenkiger Lagerung der Pfeilerfüsse sind die Verhältnisse der beiden Rahmentypen annähernd dieselben wie bei den Rahmen mit eingespannten Pfeilern. Die Temperatureinflüsse sind hier natürlich bei weitem geringer, ebenso die Pfeilermomente infolge Feldbelastung, während die Balkenmomente wiederum etwas grösser ausfallen. Eine durchgeführte Berechnung hat gezeigt, dass die Maximalwerte (Temperatur inbegriffen) dennoch im allgemeinen hinter jenen des Rahmens mit eingespannten Pfeilern zurückbleiben, sodass der Rahmen mit Fussgelenken in diesem Falle als der günstigere erscheint.

Abbildung 14 zeigt nun noch die Momentenfläche des kontinuierlichen Trägers mit freier Auflagerung. Bei diesem Träger sind die maximalen positiven Feldmomente ja stets ungünstiger, als beim kontinuierlichen Träger mit starr mit ihm verbundenen elastischen Pfeilern; die maximalen negativen Stützenmomente dagegen können sowohl kleiner als auch grösser ausfallen, was in erster Linie von dem Spannweitenverhältnis der Öffnungen, sodann von dem Steifigkeitsgrad der einzelnen Pfeiler abhängt. In unserem Fall sind die Stützenmomente über Auflager I und III für die wechselnde Feldbelastung beim einfachen kontinuierlichen Träger um wenig grösser als beim Rahmenträger, da bei diesem der vermindernde Einfluss der Mittelpfeilersteifigkeit infolge der 1,2 fach grösseren Mittelöffnungen grösser ausfällt als der die Momenten erhöhende, bei einem gewissen Grössenverhältnis der Öffnungen sogar ganz verschwindende Einfluss der Steifigkeit der Endpfeiler; ferner ist das negative Stützenmoment über dem Mittelaufslager II naturgemäß ebenfalls etwas grösser als beim Rahmenträger, bei dem ja die Biegungswiderstände der beiden benachbarten Pfeiler I und III einen positiven somit vermindernden Einfluss auf das Mittelpfeilermoment ausüben.

Zürich, im Mai 1917.

Der mehrfache Rahmen mit horizontal verschiebbarem und mit unverschiebbarer Balken

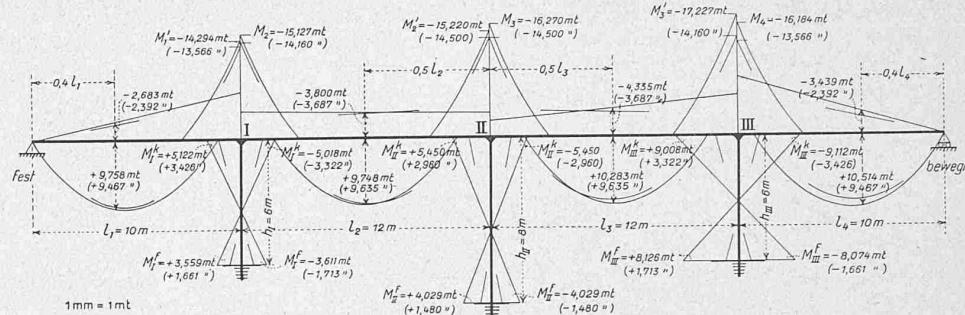


Abb. 12. Maximalmomente am Rahmen mit festgehaltenen Balken infolge einer gleichmässigen Feldbelastung von 1 t pro lfd. m und einer Temperaturänderung von $\pm 20^{\circ}\text{C}$.

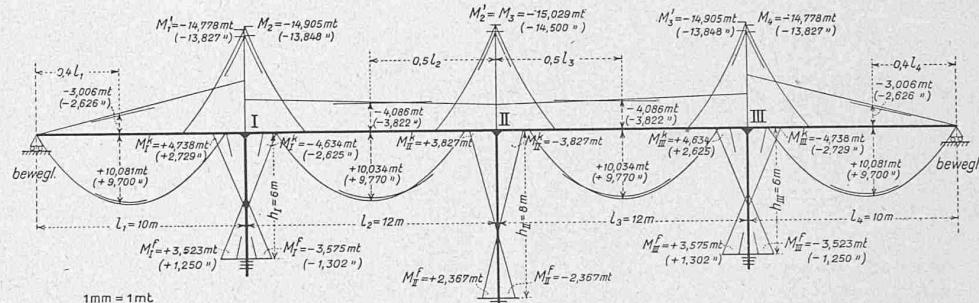


Abb. 13. Maximalmomente am Rahmen mit verschiebbarem (nicht festgehaltenem) Balken infolge einer gleichmässigen Feldbelastung von 1 t pro lfd. m und einer Temperaturänderung von $\pm 20^{\circ}\text{C}$.

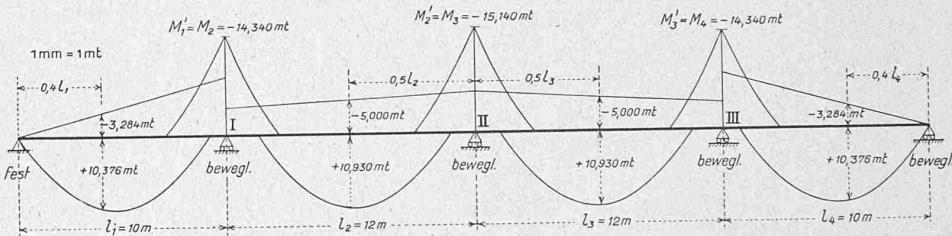


Abb. 14. Maximalmomente am kontinuierlichen Träger mit freier Auflagerung infolge einer gleichmässigen Feldbelastung von 1 t pro lfd. m.

Elektrifizierung der Gotthardbahn.

Veranlasst durch unsere Mitteilung in Nr. 4 vom 28. Juli (Seite 46 laufenden Bandes) erhielten wir bezüglich der erwähnten BBC-Probelokomotive folgendes Schreiben zur Veröffentlichung:

An die Redaktion der Schweiz. Bauzeitung,
Zürich.

In Ihrem Artikel „Elektrifizierung der Gotthardbahn“ werfen Sie die anscheinend sehr berechtigte Frage auf: wie es denn den S. B. B. möglich sei, für die Hauptbestellung des elektrischen Lokomotivparkes einen Enschluss zu fassen auf Grund der Versuche mit der von Brown, Boveri & Co. versprochenen Probelokomotive, wenn die Betrieberfahrungen am Lötschberg als dafür nicht genügend erachtet wurden.

In Wirklichkeit ist aber diese Fragestellung irreführend. Es handelt sich keineswegs darum, die Erfahrungen am Lötschberg zu vernachlässigen, sondern darum, eine Konstruktion einzuführen, welche diejenigen Organe, die am Lötschberg und bei andern Bahnen die wesentlichsten Schwierigkeiten verursacht haben, überhaupt zu eliminieren. Wie ein roter Faden zieht sich durch die Entwicklungsgeschichte der elektrischen Lokomotiven das Uebel der Verbindung von Motor und Triebachse oder der Motoren unter sich durch Schubstangen oder Dreieckrahmen. Diese Konstruktion, die dem Bau von Dampflokomotiven entnommen ist, passt nun einmal nicht recht für den elektrischen Betrieb, da die Massen der Läufer und ihre Wechselwirkungen sich unangenehm fühlbar machen.