

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 31/32 (1898)  
**Heft:** 20

**Artikel:** Beitrag zur Berechnung einiger besonderer Sprengwerksformen  
**Autor:** Mantel, G.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-20817>

### **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:** 22.02.2026

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

INHALT: Beitrag zur Berechnung einiger besonderer Sprengwerksformen. I. — Albulabahn. — Neubau des Geschäfts- und Warenhauses der Aktiengesellschaft vorm. F. Jelmoli in Zürich I. — Zur Zürcher Bahnhoffrage. — Nekrologie: † J. C. Kunkler. — Miscellanea: Elektrische Centrale in Hauterive. Die neue evangelische Kirche im Industriequartier

Aussersihl-Zürich. — Konkurrenzen: Neubau einer Kantonsschule in Schaffhausen. Entwurfsskizzen für den Bau eines zweiten Stadttheaters in Köln. Neubau der Oberen Realschule in Basel. — Vereinsnachrichten: Gesellschaft ehemaliger Studierender: I. Sitzung des Gesamtausschusses. Stellenvermittlung.

## Beitrag zur Berechnung einiger besonderer Sprengwerksformen.

Von Ingenieur G. Mantel, in Zürich.

### I.

Gewisse Konstruktionen des Eisenbaues werden, trotz häufiger Verwendung wohl kaum je genau nachgerechnet. Es hängt dies zusammen einerseits mit der Kleinheit derselben, andererseits mit der Umständlichkeit einer richtigen Berechnung. Beide Umstände zusammen veranlassen, dass man sich mit Annäherungen begnügt. Für die Praxis mag das auch in den meisten Fällen gerechtfertigt sein; trotzdem dürfte es von Interesse erscheinen und das Urteil in jenen Fällen angenäherten Rechnens erleichtern, wenn der Konstrukteur das eine oder andere Mal ein Beispiel genau durchrechnet.

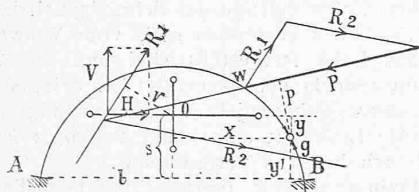
Zu den Konstruktionen, die wir im Auge haben, gehören z. B. die Ueberdeckungen der Bahnsteige, wobei die Abdeckung durch Rahmen getragen wird, welche aus zwei am Perronrand angeordneten Säulen bestehen, auf deren Köpfen und mit ihnen steif verbunden satteldachförmige, vollwandige oder fachwerkartige Sparren ruhen, meist beidseitig noch überkragend, um dem Reisenden einen geschützten Eintritt in die Wagen zu gestatten. Gewöhnlich sind die Säulenfüsse in im Boden eingelassenen Betonklötzen verankert und in diesem Falle bildet der Rahmen einen Bogenträger ohne Gelenke. Muss die Verankerung als ungenügend betrachtet werden, um kleine Verdrehungen der Füsse zu hindern, so nähert sich das Bauwerk einem Bogen mit Gelenkaufslagern; nach Wunsch kann auch ein Gelenk im Scheitel angebracht werden.

Da neben den lotrechten Kräften noch geneigte Windbelastungen auftreten, so müssten nach den üblichen Verfahren erst die lotrechten Lasten für sich behandelt werden, denen die entsprechenden Teilkräfte der Windlasten beizufügen wären, und sodann die wagrechten Teilkräfte dieser letzteren. Namentlich der Umstand, dass man es nicht mit lotrechten Lasten allein zu thun hat, macht die Berechnung umständlich. Es wäre daher wünschenswert, für die nach verschiedenen Neigungen schief gerichteten Gesamtlasten des Daches die Stützendrücke in einfacher Weise berechnen zu können. Das ist nun möglich und praktisch leicht durchführbar, sobald bogenähnliche Gebilde, sog. Sprengwerksträger, entweder nur in wenigen Punkten belastet, oder aber aus wenigen geraden Stäben zusammengesetzt sind. Wir erinnern kurz an einige Lehren der Culmann'schen Elasticitätslehre über die Ermittlung der Formänderungen krummer Stäbe.

### II.

Die Bewegung eines mit dem Ende A fest verbundenen Punktes O eines gekrümmten Stabes AB, Fig. 1, welcher letzterer in B festgehalten und in w durch die beliebige gerichtete

Fig. 1.



Kraft P belastet ist, nach einer beliebigen Richtung hin, ist gleich  $P$  mal dem Centrifugalmoment der elastischen Gewichte  $g = \frac{\Delta s}{EJ}$  der Stabelemente zwischen B und w in Bezug auf die Krafrichtung und die Bewegungsrichtung des Punktes;

die Drehung des Punktes O ist gleich  $P$  mal dem statischen Moment der nämlichen Gewichte in Bezug auf die Richtung von P. Es ist daher die

$$\text{Horizontalbewegung des Punktes O} \quad h = P \sum_{w}^l g p y$$

$$\text{die Vertikalbewegung des Punktes O} \quad v = P \sum_{w}^l g p x \text{ und}$$

$$\text{die Drehung des Punktes O} \quad \delta = P \sum_{w}^l g p$$

$\sum$  steht für die Produktsummen vom festgehaltenen Punkte B aus bis zum Lastangriffspunkte w. Müsste neben dem Einfluss der Momente auch noch derjenige der in der Achse der Elemente wirkenden Längskräfte und derjenige der Querkkräfte mitberücksichtigt werden, so wären die von W. Ritter in die Elasticitätslehre eingeführten Elasticitäts-Ellipsen der einzelnen Bogenelemente zu berücksichtigen, doch ist das für unsere Untersuchung nicht nötig.

Die aufgeschriebenen Bewegungen  $h, v, \delta$  des Punktes O müssen nun für den Bogen mit festen Auflagern durch die den ganzen Bogen beeinflussenden Kräfte H und V, Teilkräfte des linksseitigen Stützdruckes R, und das Moment  $M = Rr$  rückgängig gemacht werden. Bezeichnet man die Summe aller elastischen Gewichte  $\sum_{o}^l g$  mit G, die Trägheitsmomente der Gewichte in Bezug auf die wagrechte Achse mit  $T_v = G \cdot i_v^2$ , in Bezug auf die lotrechte Achse mit  $T_h = G \cdot i_h^2$ , wobei man nach dem Vorgange W. Ritters\*) den Punkt O mit dem Schwerpunkt der g zusammenfallen lässt, so erzeugt H nur eine wagrechte Verschiebung von P im Betrag von  $h = H \cdot J_v$ ; V nur eine lotrechte Verschiebung im Betrag von  $v = V \cdot J_h$ ; M eine Drehung  $\delta = M \cdot G$ . Aus der Gleichsetzung der Bewegungen folgen

$$H = P \cdot \frac{\sum_{w}^l g \cdot p \cdot y}{T_v}; \quad V = P \cdot \frac{\sum_{w}^l g \cdot p \cdot x}{T_h}; \quad M = P \cdot \frac{\sum_{w}^l g \cdot p}{G}$$

ferner  $R = \sqrt{H^2 + V^2}$  und  $r = \frac{M}{R}$ , womit Grösse, Lage und Richtung des linken Stützdruckes gegeben.

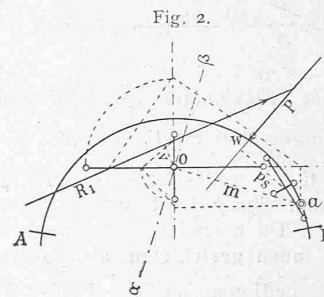
Ein anderer Weg zur Bestimmung des Stützdruckes, den zuerst ebenfalls W. Ritter\*\*) gezeigt, besteht darin, dass man den Antipol a der Krafrichtung P bezügl. der Elasticitätsellipse des Stückes Bw sucht und zu diesem die Antipolare R<sub>1</sub> bezügl. der Gesamtellipse (Fig. 2). Sie giebt Richtung und Lage des linken Stützdruckes; dessen Grösse findet man wieder aus der Bedingung der Gleichheit der Grösse der Bewegungen des Punktes O unter dem Einfluss der Kräfte P und R<sub>1</sub>, welche lautet, da die Bewegungsrichtung von O in der Senkrechten  $\alpha\beta$  zu aO liegt:

$$P \sum_{w}^l g \cdot p \cdot y = R_1 \cdot G \cdot m \cdot r, \text{ woraus folgt } R_1 = \frac{P \sum_{w}^l g \cdot p \cdot y^{**})}{G \cdot m \cdot r}$$

Hier bedeutet y den Abstand der Schwerpunkte der mit g belasteten Bogenelemente von der Geraden  $\alpha\beta$ ; statt  $\sum_{w}^l g \cdot p \cdot y$  kann man schreiben  $p_s \cdot m \sum_{w}^l g$ , sodass also

\*) W. Ritter, der elastische Bogen. Zürich 1886.

\*\*) In dieser Figur und in Fig. 2, 3, 6, 7 und 11 ist das r aus Versehen ähnlich einem v geschrieben.



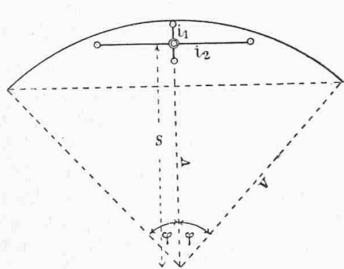
$$R_1 = \frac{P \cdot p_s \cdot m \cdot \sum \frac{l}{w} g}{G \cdot m \cdot r} = \frac{p_s \cdot \sum \frac{l}{w} g}{G \cdot r} \cdot P$$

wird. Noch einfacher führt die Bedingung, dass die durch  $P$  verursachte Drehung  $\delta$  des Punktes  $O$  durch  $R_1$  wieder rückgängig gemacht werden muss, zum Ausdruck von  $R_1$ .

Die Bedingung lautet nämlich  $P \sum \frac{l}{w} g p = P p_s \sum \frac{l}{w} g = R_1 G r$ ,

woraus sich für  $R_1$  wieder der obige Wert ergibt. Für den kreisförmigen Bogen mit konstantem Trägheitsmoment möchte diese Methode der Berechnung, wenigstens für schiefe Kräfte, weitaus die einfachste sein, weil sich die Achsen der Elasticitätseellipse jedes Bogenabschnittes leicht

Fig. 3.



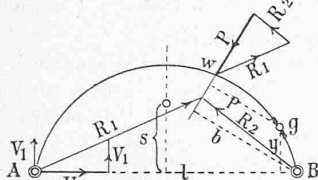
berechnen und ein für alle mal in einer kleinen Tabelle zusammenstellen lassen. Ist  $\varphi$  der halbe Centriwinkel, so ist

$$G = \frac{2 r \varphi}{E f}; \quad s = r \frac{\sin \varphi}{\varphi}; \quad i_1^2 = r^2 \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{4} \frac{\sin 2 \varphi}{\varphi} \right)$$

$$i_2^2 = r^2 \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \frac{\sin 2 \varphi}{\varphi} - \frac{\sin^2 \varphi}{\varphi^2} \right). \quad (\text{Fig. 3})$$

Der Richtungssinn von  $R_1$  findet sich aus der Bedingung, dass sowohl  $R_1$  wie  $P_1$ , aber im entgegengesetzten Drehungssinn, um den Punkt  $a$  drehen, dessen Lage sich immer leicht abschätzen lässt, auch wenn man ihn nicht zur Ermittlung von  $R_1$  benützt, sondern nach der erst erwähnten Methode mehr rechnerisch vorgeht.

Fig. 4.



Beim Bogen mit Punkt-auflagern (Fig. 4) besteht die einzige Bedingung darin, dass die durch  $P$  verursachte Horizontalbewegung  $b = P \sum \frac{l}{w} g \cdot p \cdot y$

des frei gedachten Auflagers  $A$  durch die beiden Teilkräfte  $V_1$  und  $H_1$  des linken Stützdruckes  $R_1$

wieder rückgängig gemacht werde. Die Horizontalbewegungen sind für  $V_1$  oder  $P \cdot \frac{b}{l} = P \frac{b}{l} G \cdot s \cdot \frac{l}{2} = \frac{1}{2} P \cdot G \cdot s \cdot b$  und für  $H = H \cdot \sum g \cdot y^2 = H \cdot T_v$ , wo  $T_v$  das Trägheitsmoment der  $g$  in Bezug auf die Fusspunktsehne  $AB$  bedeutet. Da nach links gerichtete Bewegungen von  $A$  einen nach innen gerichteten, als positiv zu bezeichnenden Bogen Schub bedingen, so ist  $\frac{1}{2} P \cdot G \cdot s \cdot b$  positiv, so lange  $V_1$  aufwärts gerichtet ist;  $P$  dreht für lotrechte und einwärts gerichtete Lasten links um seinen Antipol bezügl. des Stückes  $Bw$ , erzeugt also eine entgegengesetzte Horizontalbewegung von  $A$ . In diesem Fall hat also  $H$  die Differenz beider Bewegungen rückgängig zu machen, schreibt sich demnach

$$H = \frac{\frac{1}{2} G \cdot s \cdot b - \sum \frac{l}{w} g \cdot p \cdot y}{T_v} \cdot P$$

Ist  $V_1$  nach abwärts gerichtet, oder dreht  $P$  nach rechts um seinen Antipol herum, so ändert sich das Vorzeichen des ersten, resp. des zweiten Gliedes im Zähler.

Besitzt der Bogen ein Scheiteltgelenk, während die Füsse fest eingespannt sind, so überträgt sich der Stützdruck der die äussere Last  $P$  nicht enthaltenden Bogenhälfte in demselben und belastet jede der beiden Hälften in gleicher und entgegengesetzter Richtung.

Diese Belastungen haben die Aufgabe, die Enden der beiden Hälften wieder zur Berührung zu bringen, nachdem  $P$  — bei gelöst gedachtem Gelenk — das eine am andern vorbei geschoben hat. Betrachten wir zuerst die horizontalen Bewegungen der zwei von einander unabhängig gedachten Scheitelpunkte, Fig. 5.

$P$  erzeugt eine Bewegung des zur rechten Bogenhälfte gehörenden Scheitelpunktes von

$$h_1 = P \sum \frac{l}{w} g \cdot p \cdot y; \quad \text{jede der beiden gleich und entgegengesetzten}$$

Teilkraften  $H$  von  $R$  eine solche von  $H \sum \frac{l}{l/2} g \cdot y^2$ , beide trennen

die Scheitel also in wagrechter Richtung um den Betrag  $b_2 = H \sum \frac{l}{l/2} g \cdot y^2 = H T_v$  von einander. Die beiden gleichen

und entgegengesetzt gerichteten Teilkraften  $V$  von  $R$  endlich erzeugen an beiden Scheitelpunkten Horizontalbewegungen von gleicher Grösse und gleichem Sinn, bleiben also ohne Einfluss, die oben angeschriebenen beiden wagrechten Bewegungen müssen sich ohne weiteres aufheben, woraus für  $H$  folgt

$$H = P \sum \frac{l}{w} g \cdot p \cdot y : T_v$$

Die analoge Betrachtung führt zur Bestimmung der Teilkraft  $V$ .  $P$  erzeugt eine lotrechte Bewegung des Scheitels der rechten Bogenhälfte von  $v_1 = P \sum \frac{l}{w} g \cdot p \cdot x$ ; die Teilkraft  $V$  bewirken eine Trennung der beiden Scheitelpunkte in lotrechter Richtung um  $v_2 = V \sum \frac{l}{l/2} g \cdot x^2 = V T_h$ , die Teilkraft  $H$  sind auf die lotrechte Entfernung beider Scheitel ohne Einfluss, es folgt daher aus der Gleichsetzung von  $v_1$  und  $v_2$

$$V = P \sum \frac{l}{w} g \cdot p \cdot x : T_h$$

$T_v$  und  $T_h$  bedeuten die Trägheitsmomente der  $g$  in Bezug auf die wagrechte und lotrechte Achse durch das Scheiteltgelenk. Mit  $V$  und  $H$  ist  $R = \sqrt{V^2 + H^2}$  selbst nach Grösse, Richtung und Lage gegeben;  $R$  bildet den Stützdruck für die nicht belastete Bogenhälfte, denjenigen für das andere Auflager findet man durch Zusammensetzung von  $R$  mit der Last  $P$ .

Zum Schluss muss beigefügt werden, dass sich alle obigen Entwicklungen auf symmetrisch gebaute Bogen beziehen, die ja fast ausschliesslich vorkommen; die Erweiterung auf unsymmetrische Bogen ist nicht schwierig.

(Fortsetzung folgt.)

## Albulabahn.

Nachdem die Grundzüge der Schmalspurbahn, welche Thusis mit St. Moriz verbinden soll, vom Verwaltungsrat der Rhätischen Bahn festgestellt sind und die Ausschreibung des Haupttunnels bereits erfolgt ist, bringen wir über dieses interessante Bahnprojekt einige vorläufige Angaben.

Die ganze Linie hat eine Länge von 63,2 km und ist zu 19,6 Millionen Franken veranschlagt.

Die Maximalsteigung beträgt zwischen Thusis und Filisur (km 24,5) 25<sup>0</sup>/100; zwischen Filisur und Bevers (km 55,5) 35<sup>0</sup>/100.

Der Minimalradius ist 120 m.

Am Ausgang des Albulatunnels erreicht die Bahn die Höhe von 1818 m ü. M.