

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Band:** 39/40 (1902)  
**Heft:** 26

**Artikel:** Ueber Bogenbrücken mit elastischen Pfeilern  
**Autor:** Mantel, G.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-23471>

### **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:** 19.11.2024

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

einem kleinen Gegenbogen am unteren Ende besteht, liegt in einem dicht bewaldeten Abhang. Durch Messung der Zwischentangenten  $6^a - T_7$  und der Winkel in  $6^a$  und  $T_7$  war die Lage des Tangentenschnittes  $T_8$ , sowie auch jene des Kehrbogens bestimmt. Auf der untern Seite wurde die Tangentenrichtung  $T_8 - T_9$  auf dem linken Albulaufer an einem Felsen markiert; beim Tunnelausgang, der etwa 75 m vom Bogenende entfernt liegt, wurde eine Tangente an den Bogenpunkt Km. 42,500 gelegt und diese Richtung auf der gegenüberliegenden Talseite an einem Felsblock mit Farbe bezeichnet. Mittels dieser beiden Richtungen wurde die Richtungsangabe im Tunnel vollzogen. Nachdem am 11. Februar 1901 der Richtstollen durchbrochen war, wurde bei der Durchschlagskontrolle eine Abweichung

in der Richtung von 0,05 m,

in der Länge von 0,05 m festgestellt.

Die Höhendifferenzen bei dem Anschlussniveaulement nach dem Durchschlag bewegten sich bei allen fünf Kehrtunnels in den Grenzen von 0 bis 3 cm.

### Ueber Bogenbrücken mit elastischen Pfeilern.

Nicht erst seit heute ist man bei Durchführung der Rechnung für steinerne Gewölbereihen auf hohen Pfeilerstellungen zur Erkenntnis gelangt, dass die gewöhnliche Annahme starrer Bogenenden nicht zutreffend sein kann und dass die elastische Nachgiebigkeit, Verschiebung und Verdrehung derselben wie der sie stützenden Pfeilerköpfe auf die Beanspruchung der Gewölbe und der Pfeiler von Einfluss sein muss, namentlich in den Fällen, in welchen die bewegliche Last gegenüber der Eigenlast der Gewölbe nicht zu vernachlässigen ist, und wo die erstere zudem nur ein einzelnes Gewölbe aus der ganzen Reihe belasten kann. Diese beiden Bedingungen sind bei Eisenbahnbrücken vorhanden. Wenn man sich trotzdem bis jetzt mit den alten Berechnungsweisen begnügt hat, so dürfte das seinen Grund hauptsächlich darin haben, dass die Berechnungsweisen für die Berücksichtigung der Kontinuität der Bogenstellungen noch nicht genügend ausgebildet waren. Zwar wird, auch nachdem dies nun in befriedigender Weise geschehen, der Einfachheit wegen noch oft nach der alten Weise gerechnet werden, aber es ist für jeden Fachmann in die Augen springend, wie erwünscht es sein muss, wenigstens an typischen Beispielen feststellen zu können, welche Abweichungen sich zwischen der genaueren und der angenäherten Rechnungsweise ergeben und welchen Grad der Annäherung die alten, auf die blossen Gesetze des Kräftegleichgewichts gegründeten Regeln gewähren.

Die genaue Theorie der kontinuierlichen Bogenstellungen stützt sich natürlich — wie diejenige des einfachen Bogens — auf die elastischen Formänderungen derselben wie der stützenden Träger und gilt mit aller Strenge in erster Linie für vollkommen elastische Bauwerke (z. B. solche in Eisen), angenähert für solche, die aus weniger elastischem Material, wie Beton und Stein, erstellt sind.

Eine in der „Zeitschrift für Bauwesen“ Jahrgang LI veröffentlichte Arbeit Fr. Engessers behandelt den Gegenstand in sehr einlässlicher Weise.<sup>1)</sup>

Engessers Studien stehen, wie es der Neigung dieses hervorragenden Gelehrten entspricht, ganz auf analytischem Boden und umfassen Bogen mit drei Gelenken, mit zwei Gelenken und solche ohne Gelenke. Es kann hier natürlich auf den Rechnungsgang nicht näher eingetreten und können auch die Schlussformeln nicht vorgeführt werden. Wir bemerken nur, dass sich seine Methode, wie alle rein analytischen, hauptsächlich dazu eignet, unter vereinfachten Annahmen bezüglich Querschnitte und Trägheitsmomente in übersichtlicher Weise regelmässige, symmetrisch angelegte Bauwerke zu beurteilen, also die Beanspruchungen in typischen Fällen zu ermitteln oder Annäherungswerte zu erhalten für Formen,

<sup>1)</sup> Ueber Bogenbrücken mit elastischen Pfeilern (Bogenreihen) von Fr. Engesser, Zeitschrift für Bauwesen, Jahrg. LI, Seite 311 u. ff.

die sich den wirklichen Ausführungen nähern. Die vom Verfasser weiter ausgeführten Entwicklungen und zahlreichen Zahlenbeispiele beziehen sich denn auch alle auf regelmässige Bauwerke, die wichtigsten für Bogen mit zwei und für solche ohne Gelenke auf symmetrische Bauwerke, bestehend aus drei gleichen Bogen auf zwei gleichen elastischen Zwischenpfeilern und starren oder elastischen Endwiderlagern. Durch Abändern der Elemente wird in den Zahlenbeispielen der Einfluss jedes einzelnen derselben in belehrender Weise anschaulich gemacht.

Besondere Beachtung verdienen die Ausführungen über die Zulässigkeit der Anwendung der abgeleiteten Formeln auf Mauerwerksgewölbe. Diese gründet sich auf die Gültigkeit der linearen Beziehung zwischen Spannung und Dehnung, welche für Mauerwerk aus Stein und Mörtel oder Beton nicht mehr genau zutrifft. Der Verfasser kommt zu dem Ergebnis, dass sowohl die Berechnung der äusseren Grössen, Schübe und Momente, als auch diejenige der innern Spannungen, so lange es sich um solche einerlei Sinnes in einem Querschnitt handelt, auf Grundlage jener Beziehung, sehr wohl zulässig sei. „Dies letztere ist der Fall bei den Pfeilern und bei richtig angeordneten Gewölben unter normalen Verhältnissen. Kommen gleichzeitig Zug- und Druckspannungen im Querschnitt vor, so sind die Abweichungen grösser, und zwar fallen die wirklichen Grösstwerte geringer aus, als sich bei linearer Spannungsverteilung ergeben würde.“

Wichtig ist ferner der Umstand, dass die Dehnungen des Mauerwerks nicht vollkommen elastische sind, sondern dass, nach dem Aufhören der Spannungen, Dehnungen zurückbleiben, die nach jeder Neubelastung sich mehr einer endgültigen Grenze nähern, während gleichzeitig der Elastizitätsmodul für die gesamte Dehnung, (elastische und bleibende zusammen), sich auf einen Grenzwert  $E_n$  vermindert. Angenähert kann diesem Verhalten des Materials dadurch Rechnung getragen werden, dass endgültig Formänderung und Spannungszustand so berechnet werden, als ob es sich nur um einmalige Belastung handelte, aber unter Zugrundelegung der Elastizitätsziffer  $E_n$ .

Die Erörterungen des Verfassers über die Abänderungen des Kräfteplanes durch das Auftreten von Rissen im Mauerwerk möge der Leser in der Abhandlung selbst verfolgen.

Auf rein zeichnerischem Boden steht die Behandlungsweise der gleichen Aufgabe in einer zweiten Abhandlung, verfasst von einem jungen italienischen Gelehrten, der sich auf dem Gebiet der Statik bereits rühmlich hervorgetan und einige Zeit bei Prof. Dr. W. Ritter gearbeitet hat.<sup>1)</sup> Dieser unterzog sich der Aufgabe, die von letzterm gefundenen Lösungen des Problems vom kontinuierlichen Bogen auf nachgebenden Pfeilern zu veröffentlichen und erwarb sich dadurch den Dank aller, welche sich für dasselbe und für die Fortschritte der graphischen Statik im allgemeinen interessieren. Dieses Problem wird eines der wichtigsten Kapitel in dem in Vorbereitung befindlichen IV. Teil der Anwendungen der graphischen Statik Ritters bilden. Herr Dr. Panetti hat dasselbe durch eine rein geometrische Lösung des Hauptteiles der Aufgabe bereichert, welche darin besteht, für einen beliebigen Zwischenschnitt eines an beiden Enden eingespannten Stabes aus den Elastizitätsellipsen der beiden Teile diejenige dieses Schnittes zu ermitteln, welche dessen Verschiebung und seine Verdrehung für die Wirkung einer den ganzen Stab beeinflussenden Kraft bestimmt. Denkt man sich diesen Stab aus dem ersten Bogen links und dem ersten folgenden Zwischenpfeiler bestehend und legt den untersuchten Querschnitt in den Kämpfer, so bildet die so für ihn gefundene Zwischenellipse zugleich auch die erste Elementarellipse für den nachfolgenden Stab, d. h. den zweiten Bogen und den zweiten Zwischenpfeiler, denn der

<sup>1)</sup> Contributo alla Trattazione Grafica Dell' Arco Continuo su Appoggi Elastici. Memoria dell' Ing. Dott. Modesto Panetti. Accademia Reale Delle Scienze di Torino (Anno 1901—1902). Verlag von Carlo Clausen, Turin.

linke Kämpferschnitt des zweiten Bogens muss die nämliche Beweglichkeit besitzen, wie der rechte des ersten Bogens. In dieser Weise von links nach rechts fortschreitend wird für jeden Kämpferschnitt eine Ellipse gefunden, welche dessen Beweglichkeit infolge der Elastizität des gesamten links liegenden Komplexes von Bogen und Pfeilern darstellt. Nachdem man die gleiche Aufgabe von rechts nach links schreitend gelöst hat, besitzt man für die beiden Kämpferschnitte jedes Bogens Elastizitätsellipsen, welche deren elastische Nachgiebigkeit darstellen.

Damit ist die Aufgabe auf diejenige des elastischen Bogens mit starren Enden zurückgeführt, mit dem Unterschied, dass für jedes Ende noch ein ideales elastisches Element zu der Reihe der übrigen hinzutritt, und dessen Elastizitätsellipse für feste Widerlager verschwand. Im übrigen bleibt die Behandlung des Bogens ganz die frühere, die hier allerdings noch eine Erweiterung für die Unsymmetrie erfahren musste. (Verg. Lexikon der gesamten Technik: Ritter, Bogen, Graphische Berechnung). In prinzipiell höchst einfacher Art ist so eine sehr schwierige Aufgabe gelöst, welche sowohl die Leistungsfähigkeit des Culmann-Ritterschen Werkzeuges der Elastizitätsellipse, daneben aber allerdings auch die Geschicklichkeit des Handhabers desselben in hellem Lichte zeigt. Die graphische Behandlung des kontinuierlichen Bogens reiht sich würdig derjenigen des kontinuierlichen Balkens auf elastischen Stützen an und dürfte sie an Bedeutung für die Praxis noch überreffen.

Im Gegensatz zu der analytischen Behandlungsweise eignet sich die zeichnerische vor allem für die genaue Erörterung des komplizierten Einzelfalles unter Berücksichtigung aller erschwerenden Nebenumstände: unsymmetrische Anordnung des Bauwerkes, beliebig veränderliche Querschnitte von Pfeilern und Bogen, Einfluss der scherenden und pressenden Kräfte auf die Formänderung u. dergl. Wirklich besteht denn auch das in allen Einzelheiten vorgeführte Beispiel aus einer Gewölbereihe von drei Bogen, die zwar gleiche Weiten von 20 m haben, die aber auf ungleich hohen Pfeilern und elastischen Widerlagern stehen. Für Scheitel und Kämpferquerschnitte des Mittelbogens sind die Einflusslinien der beanspruchenden Momente ermittelt und ihre Spannungen berechnet und verglichen mit denjenigen, welche sich für feste Bogenenden ergeben würden. Wenn auch die aus einem Beispiel allein abgeleiteten Regeln natürlich keine allgemeine Gültigkeit haben können, so geben sie doch bereits wertvolle Anhaltspunkte über den Einfluss der Kontinuität für Eigenlast, verteilte und konzentrierte Einzellast und über die Bedingungen für die Zulässigkeit von verteilten Ersatzlasten.

Die Darstellung des Problems durch Herrn Panetti ist vollständig und fasslich und verdient alles Lob; selbst derjenige, der das Italienische nicht vollkommen beherrscht, kann ihr folgen.

Wir hoffen, dass die beiden so verdienstvollen Arbeiten von Engesser und Ritter-Panetti namentlich dem Bau der steinernen Viaduktbrücken, die so oft die beste und schönste Lösung für die Ueberbrückung hoher Täler bilden, durch die ermöglichte sicherere Beurteilung ihrer Wirkungsweise fördern werden, wozu freilich noch ergänzend gehört, dass durch Messungen mit feinen Libellen (Klynometern) die allerdings zu erwartende genügende Uebereinstimmung zwischen Theorie und Wirklichkeit nachgewiesen werde, da man noch hier und da Zweifeln über die Anwendbarkeit der Grundlagen unserer gebräuchlichen Elastizitätslehre auf Bauten aus Stein und Mörtel begegnet. G. Mantel.

### Künstlicher Zug durch Winddruck (System Voet).

Der künstliche Zug zur Verstärkung der Luftzufuhr durch den Rost wird sowohl durch Erhöhung des Luftdruckes unter dem Rost wie auch durch Wegsaugen der Verbrennungsprodukte aus den Rauchkanälen, also durch Verringerung des Luftdruckes daselbst erzielt. Im ersteren Falle werden Dampfstrahlen oder Ventilatoren angewendet, im letztern Fall eben-

falls Dampfstrahlen (Blasrohr) oder Exhaustors. In beiden Fällen wird dabei ein Teil des in dem Kessel entwickelten Dampfes für den künstlichen Zug verbraucht und erhöht deshalb die vermehrte Dampferzeugung nur zum Teil den Nutzeffekt. Dass durch solche Einrichtungen dennoch eine Ersparnis an Brennstoff erzielt wird, ist der besseren und vollständigeren Verbrennung auf dem Rost zuzuschreiben.

Das System Voet erreicht diesen künstlichen Zug nun ohne Dampfverbrauch, sodass die ganze Vermehrung der Dampferzeugung zur Erhöhung des Nutzeffekts beiträgt. Die Einrichtung besteht, nach einer in «Glaser's Annalen» enthaltenen Beschreibung, darin, dass Luft mit erhöhtem Druck unter den Rost geführt wird, die dazu erforderliche Kraft jedoch nicht dem Dampfkessel oder der Maschine entnommen, vielmehr von aussen durch natürlichen Winddruck geliefert wird. Der von dem Heizraum hermetisch abgeschlossene Raum unter dem Rost steht in offener Verbindung mit einer oder mit mehreren Röhren, die aus dem Heizraum bis in die freie Luft aufsteigen und oben mit Kappen versehen sind, deren senkrechte, kreisförmig erweiterte Mündung in die Windrichtung gestellt wird. Bei Landkesseln ragen diese Röhren bis über das Dach des Kesselhauses und ihre leicht drehbaren Kappen stellen sich automatisch nach dem Winde; auf Dampfbooten werden sie von Hand eingestellt.

Die «Werft Conrad» in Haarlem hat das System Voet verschiedentlich zu Lande und besonders auch zu Wasser mit gutem Erfolge eingeführt; so u. a. auf dem Dampfboot «Noord Holland 7». Die daselbst angestellten Versuche erfolgten mit einem Dampfkessel von 80 m<sup>2</sup> Heizfläche und 4,75 m<sup>2</sup> Rostoberfläche, einem alten Kofferkessel mit drei Feuern und einem Dampfdruck von 20 Atm. Die Maschine war eine gewöhnliche vertikale Verbundmaschine mit Einspritz-Kondensator. Der eiserne Kasten unten vor den Aschentüren, der diese ganz von dem Heizraum abschliesst, endigt an beiden Seiten je in ein Rohr, das längs den Seiten der Rauchkammer und weiterhin an beiden Seiten des Schornsteins aufsteigt und auf 2,5 m über Deck, ähnlich wie die auf den Schiffen für Ventilatoren üblichen Aufsätze endigt. Die unteren Enden der Röhre sind rechteckig, die oberen zylindrisch von 0,425 m Durchmesser, während die vertikal gerichteten Oeffnungen der Aufsätze 0,80 m Durchmesser haben. In den beiden rechteckigen Enden der acht aufgehenden Röhre sind drehbare Klappen zur Regelung oder Abschliessung der Luftzufuhr angebracht. Die vordere Wand des Luftzufuhrkastens wird vor jeder der Aschentüren aus einer, um ihren horizontalen oberen Rand drehbaren Platte gebildet, die gegen den Kasten hermetisch schliesst und behufs Herausholen der Asche leicht geöffnet oder entfernt werden kann, wenn die Einrichtung bei Versuchen ausser Wirksamkeit gestellt werden muss.

Die Ergebnisse der mit genanntem Dampfer angestellten Versuchsfahrten sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Versuch	Mittlerer Dampfdruck in Atm.	Mittlere Anzahl Umdrehungen in der Minute	Steinkohlenverbrauch in kg
I (mit System Voet)	18,3	86,5	262,5
II (ohne » »)	17,5	85	344,5

Durch Anwendung des Systems Voet wurde somit eine Ersparnis erzielt von

$$82 \text{ kg oder } \frac{8200}{344,5} = 23,8\%.$$

Dieses Ergebnis stimmt mit einer früheren Versuchsfahrt überein, die am 9. Juli 1901 mit demselben Dampfboot unternommen wurde und bei der die Ersparnis 60 kg oder  $\frac{6000}{245} = 24,5\%$  betrug.

Bereits hat die erwähnte Werft mehrere Dampfboote und Bagger mit diesem System versehen. Auch die niederländische Marine hat dasselbe auf kleinen Dampfbooten mit Yarrow-Kesseln von 23,4 m<sup>2</sup> Heizfläche und 0,56 m<sup>2</sup> Rostfläche und 8 Atm. Dampfdruck angewendet. Die 20 Tage dauernden Versuchsfahrten mit solchen Dampfbooten haben eine Kohlenersparnis von mehr als 20% ergeben. Fernere Versuche auf dem Dampfer «Dolphin» mit einem Dampfkessel von 50 m<sup>2</sup> Heizfläche und 5 Atm. Dampfdruck haben 23% Ersparnis aufgewiesen.

Es ist selbstverständlich, dass, gleich wie bei bestehenden Kesseln mit geringem oder ungenügendem Zug durch das Anbringen des Systems Voet eine wesentliche Ersparnis an Brennstoff, vollständiger Verbrennung und vermehrte Dampferzeugung erzielt werden können, so auch bei neuen Kesseln gute Erfolge zu erwarten sind.