

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 103/104 (1934)  
**Heft:** 9

**Artikel:** Die Dreirosenbrücke in Basel, statische und dynamische Messungen am Stahlüberbau  
**Autor:** Karner, L.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-83268>

### **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:** 06.02.2025

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

INHALT: Die Dreirosenbrücke in Basel, statische und dynamische Messungen am Stahlüberbau. — Die spannungsoptische Untersuchung der Berührung zweier Kreiszyylinder. — Zur automatischen Verkehrsregelung. — Zum Problem der rotierenden Scheibe. — Mitteilungen: Die Hüttner-Dampfturbine. Die Elektrifizierung der schwedischen Eisenbahnen. Zweckmässige Strassenbeleuchtung. Selbsterregung

von Synchronmaschinen über Gleichrichter. Praktischer Kurs für die Verarbeitung von Leichtmetall im Flugzeug- und Karosseriebau. — Nekrologe: V. Kaplan. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine.

Beilage: WEITERBAUEN Nr. 1: Zur Einführung. Die funktionelle Stadt. Zeitschriften-Rundschau. Das Dachgeschoss und seine Ausnützung. Ein Vermächtnis.

Band 104

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Verbandsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 9

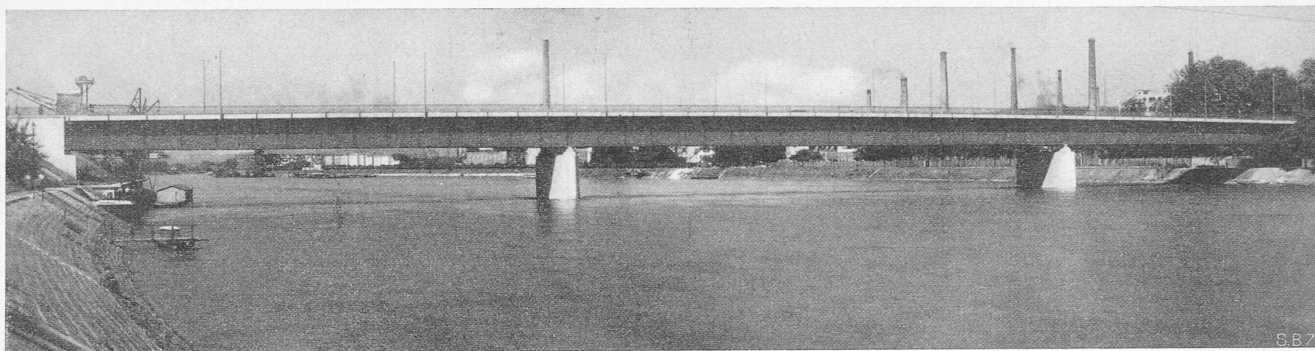


Abb. 1. Gesamtbild aus Süden, rheinabwärts gesehen; Öffnungen: 75 + 105 + 75 m. — Ausführung: Baugesellschaft MAN Gustavsburg und Buss A.-G., Basel.

## Die Dreirosenbrücke in Basel, statische und dynamische Messungen am Stahlüberbau.

Von Prof. Dr. L. KARNER, E. T. H., Zürich.

Heute, am 1. September wird in Basel die Dreirosenbrücke über den Rhein, als neueste und modernste Strassenbrücke zwischen Grossbasel und Kleinbasel, dem Verkehr übergeben und damit ein für die Entwicklung der Stadt Basel bedeutsames Bauwerk zum wohl gelungenen Abschluss gebracht.

Die starke Entwicklung der unterhalb der Johanniterbrücke gelegenen Quartiere in Gross- und Kleinbasel machte die Erstellung einer neuen Strassenbrücke zwischen dem Volaplatz und der Klybeckstrasse zu einem dringenden Bedürfnis. Ausserdem soll durch die neue Brücke der ständig wachsende Verkehr in Basel über die bestehenden Rheinbrücken, namentlich aber über die Johanniterbrücke selbst entlastet werden. Im Auftrag des Regierungsrates des Kantons Baselstadt hatte deshalb das Baudepartement zum 15. Oktober 1930 einen internationalen Wettbewerb ausgeschrieben, zu welchem Termin 76 Entwürfe bzw. Angebote eingingen. Das mit der Prüfung beauftragte Preisgericht empfahl den mit dem ersten Preis ausgezeichneten Entwurf mit einer Reihe von Abänderungen zur Ausführung.<sup>1)</sup> Unsere Abbildung 1 zeigt uns die Gesamtansicht des Brückenbaues über den Strom: für den Ueberbau einen kontinuierlichen vollwandigen Balken über drei Öffnungen von 75 + 105 + 75 = 255 m Gesamtlänge. Mit den Tiefbauarbeiten konnte nach Bereinigung des Projektes im Oktober 1931 auf der Kleinbasler Seite begonnen werden, und mit der Montage des Stahlüberbaues der rechten Brückenhälfte wurde Ende August 1932 angefangen. (Ueber die Montage orientiert ein Aufsatz: „Vom Bau der Dreirosenbrücke in Basel“ von Ing. E. Graf, Basel, in „SBZ“ vom 4. Febr. 1933, Band 101.)

Wir beabsichtigen im folgenden in der Hauptsache über die statischen und dynamischen Messungen und Untersuchungen zu berichten, die im Laufe des Brückenbaues am Stahlbau im Auftrag des Baudepartementes Basel durchgeführt wurden, halten es jedoch für zweckmässig, über die Anordnung der Brücke selbst, über die Berechnungs- und Bemessungsgrundlagen, sowie über bemerkenswerte Einzelheiten der Stahlkonstruktion vorerst einige zusammenfassende Angaben vorzuschicken.

Die Abbildungen 1 bis 4 zeigen die grundsätzliche Anordnung der Brücke, Abb. 1 besonders das günstige Ver-

<sup>1)</sup> Siehe Berichterstattung über den „Internationalen Wettbewerb für die Dreirosenbrücke über den Rhein in Basel“, Schweiz. Bauzeitung Band 97, Jahrgang 1931, Seite 129 u. f.; desgl. von Prof. Dr. L. Karner, „Bautechnik“, Jahrgang 1931, Heft 16 bis 23.

hältnis der Mittelöffnung zu den Seitenöffnungen. Ausser der ästhetischen Qualifikation des seinerzeitigen Wettbewerbentwurfes war es besonders die Verlegung der Widerlager des Ueberbaues hinter die Uferstrasse auf der Seite Kleinbasel (rechts) bzw. hinter die Eisenbahnunterführung auf der Seite Grossbasel (links), die diesen Entwurf und die Ausführung gegenüber allen anderen Vorschlägen ausgezeichnet hatte. Durch diese Anordnung wurde das Verhältnis der beiden Seitenöffnungen zur Mittelöffnung nicht nur in Bezug auf die Formgebung und auf den

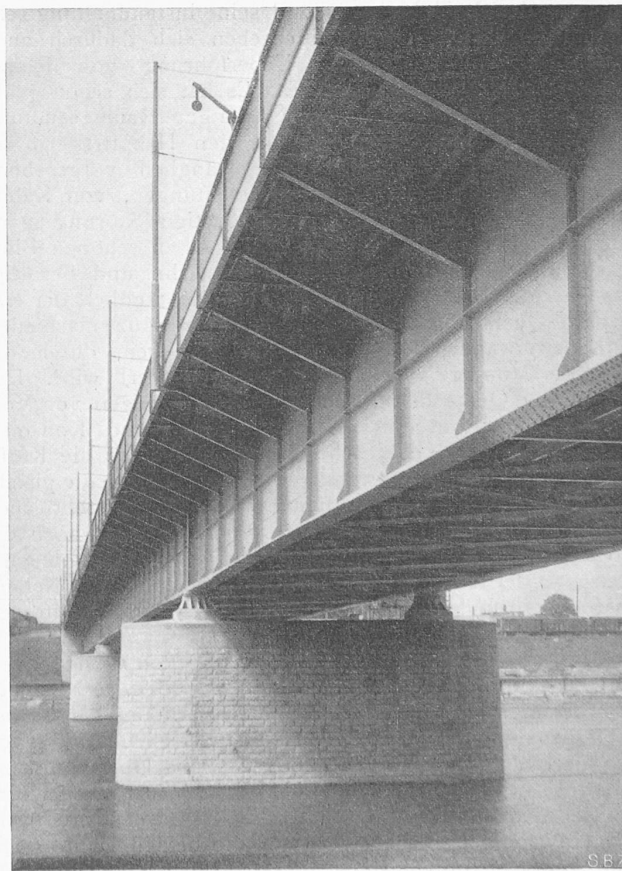


Abb. 2. Streifbild von der Oberwasserseite, gegen das linke Ufer.

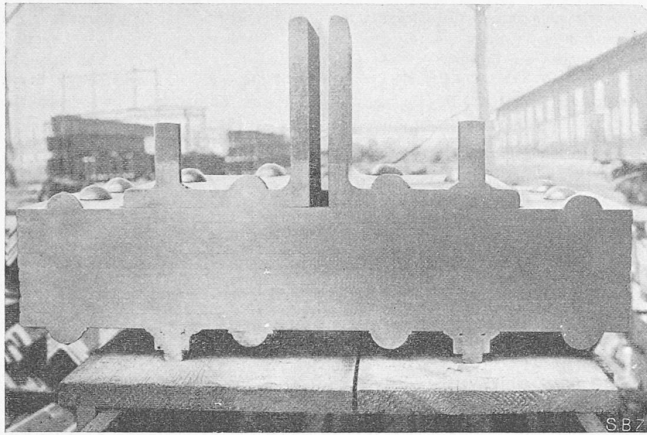


Abb. 5. Gurtungs-Versuchstück mit Niet- und Bolzenverbindungen.

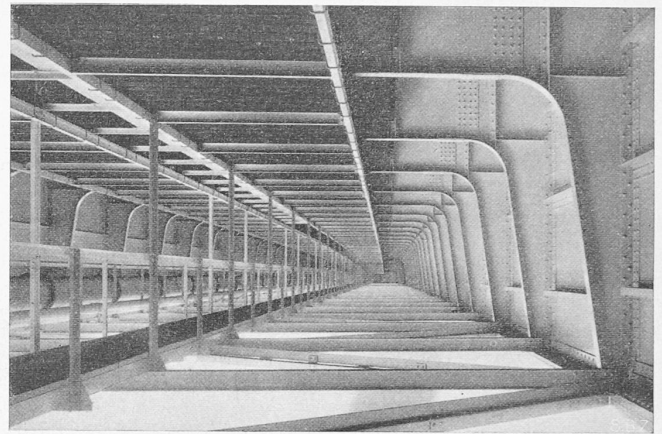


Abb. 4. Blick in das Brückeninnere, unter der Fahrbahn.

Gesamteindruck der Brücke besser, es hat sich auch statisch und konstruktiv günstig ausgewirkt, da dadurch die für die Dimensionierung massgebenden maximalen Momente wesentlich günstiger wurden als bei kürzeren Seitenöffnungen und gleichbleibender Mittelöffnung (die infolge der vorgeschriebenen Durchfahrtsbreite für die Schifffahrt nahezu fest gegeben war).

Ein weiterer Vorteil der Ausführung geht aus Abb. 3 hervor; wir sehen, dass mit zwei Hauptträgern, und zwar diese einwandig, das Auslangen gerade noch gefunden wird. Der Wettbewerb hat deutlich gezeigt, dass bei fast allen übrigen Vergleichsentwürfen entweder mehr als zwei einwandige Hauptträger unter der Fahrbahn angeordnet wurden, oder dass bei Anordnung von zwei Hauptträgern, zwecks Unterbringung der auftretenden Momente und Querkräfte, zu zweiwandigen (natürlich ebenfalls vollwandigen) Hauptträgern gegriffen werden musste. Die einfache Anordnung ergibt eine gute Zugänglichkeit zu allen Konstruktionsteilen unter der Fahrbahn, sodass die Ueberwachung des Stahlüberbaues und seine Instandhaltung sehr vereinfacht ist; insbesondere ergeben sich dadurch auch einfache Möglichkeiten der Ueberführung von Rohr-, Kabel- und sonstigen Leitungen. Es hat sich schon während der Ausführung der Brücke diese gute Raumgestaltung unter der Brücke, bzw. zwischen den Hauptträgern als Vorteil erwiesen, indem die ursprünglich vorgesehene Ueberleitung von Gas- und Wasserleitungen, von Kabelführungen usw. nunmehr ohne sonstige Störung ganz anders ausgeführt wurde. Abb. 4 gibt einen schönen Blick in das Brückeninnere unter der Fahrbahn und bestätigt das Gesagte. Darüber hinaus ist selbstverständlich der einwandige Querschnitt eines Stahlblechträgers ganz entschieden einer zweiwandigen Ausführung vorzuziehen, durch die auch die Montage ausserordentlich erschwert wird. Der einwandige Querschnitt ist zudem noch deswegen von Vorteil, weil der Anschluss der Querträger und Konsolen einfach wird, und die Sicherheit besteht, dass die Kraftübertragung in den einwandigen Hauptträgern eine gleichmässige ist. Beim zweiwandigen Querschnitt besteht, auch bei bester Anordnung von Querschotten, immer noch die Möglichkeit, dass die beiden Trägerhälften nicht ganz gleich an der Kraftaufnahme beteiligt sind, wodurch Nebenspannungen auftreten, die zu Torsionswirkungen in den Hauptträgerquerschnitten führen.

Es bleibe nicht unerwähnt, dass für den vorliegenden Fall bereits grosse Schwierigkeiten bestanden, um mit der Dimensionierung den auftretenden Kräften und Momenten zu folgen, ohne unüberwindliche Schwierigkeiten bezüglich der Materialstärken für diesen genieteten Querschnitt zu schaffen. Es ist daher sicherlich von Interesse, darauf hinzuweisen, dass die Dreirosenbrücke in ihrer Ausführung mit einwandigen Blechträgern für die beiden Hauptträger eine gewisse Gipfelleistung dieser Konstruktionsform für so weit gespannte Strassenbrücken darstellt. Erst die letzten

Jahre haben in der Entwicklung des Stahlbrückenbaues die starke Anwendung des niedrigen und vielgespannten vollwandigen Trägers gebracht und damit eine typische einfache Brückenform geschaffen.<sup>2)</sup> Diese einfache Form, die gewiss über zeitlich veränderliche Geschmacksrichtungen, sowie Ansichten über Formgebung von Brückenbauwerken erhaben ist, bringt uns schliesslich, trotz der beträchtlichen Stützweiten der einzelnen Oeffnungen, die ideale, durch keinerlei Konstruktion gestörte, freie Verkehrsbahn der Brücke mit dem ungehinderten Blick über den Strom und über das schöne Stadtbild.

Die Dreirosenbrücke besitzt eine 12 m breite Fahrbahn und beidseitig 3 m breite Fusswege; die gesamte nutzbare Strassenbreite beträgt somit 18 m. Die Fahrbahn dient auch zur Ueberführung einer zweigeleisigen Strassenbahn in Fahrbahnmitte. Ueber die Querschnittsanordnung und zwar sowohl bezüglich des Stahlüberbaues als auch über die Fahrbahndecke für die Strasse und für die Fusswege, orientiert unsere Abbildung 3, sodass sich eine weitere Beschreibung erübrigt.

Die Belastungsannahmen für die Dreirosenbrücke sehen für die Untersuchung der Fahrbahnkonstruktion dreierlei Möglichkeiten vor, die alle mit Stosszuschlag berechnet werden müssen.

a) Zwei Strassenbahnwagen von je 22 t mit beidseitiger gleichmässig verteilter Belastung von 0,5 t/m<sup>2</sup> (Laststreifenbreite 2,5 m, Belastungsgleichwert für den Wagen 1,01 t/m<sup>2</sup>).

b) Zwei Strassenbahnwagen von je 16 t mit beidseitiger gleichmässig verteilter Belastung von 0,5 t/m<sup>2</sup> (Laststreifenbreite 2,5 m, Belastungsgleichwert für den Wagen 0,854 t/m<sup>2</sup>).

c) Ein schwerer Lastwagen von 30 t Gesamtgewicht (2×15 t) ohne weitere gleichzeitige Belastung. Laststreifenbreite 2,8 m, Belastungsgleichwert für den Wagen 1,785 t/m<sup>2</sup>.

Für die Hauptträger der Brücke sind ebenfalls sämtliche Lasten, also auch die der Fusswege, mit Stosszuschlag zu berechnen. Für die Maximalbelastung sind zwei Strassenbahnzüge von höchstens je zwölf Wagen und 2,5 m Laststreifenbreite vorgesehen. Die Wagen haben 20 t Gewicht und ergeben einen Belastungsgleichwert von 0,843 t/m<sup>2</sup>. Für alle nicht von der Strassenbahn benutzten Teile der Fahrbahn und der Fusswege ist eine gleichmässig verteilte Belastung von  $p = \left[ 500 - \frac{10}{15} (L^m - 50) \right] \text{ kg/m}^2$  vorgesehen;  $L$  bedeutet hierin die Stützweite der betreffenden Brückenöffnungen in Metern. (Für die Mittelöffnung von 105 m ergibt sich aus obiger Formel eine Belastung von 463 kg/m<sup>2</sup>).

Die dynamischen Wirkungen der Verkehrslast (Strassenbahn, Lastwagen und Menschengedränge) sind bei der Be-

<sup>2)</sup> Vgl.: „La poutre à âme pleine dans la construction des ponts métalliques de grande portée“, von Prof. Dr. L. Karner, „Internat. Vereinigung für Brückenbau und Hochbau“, Band I der „Abhandlungen“.

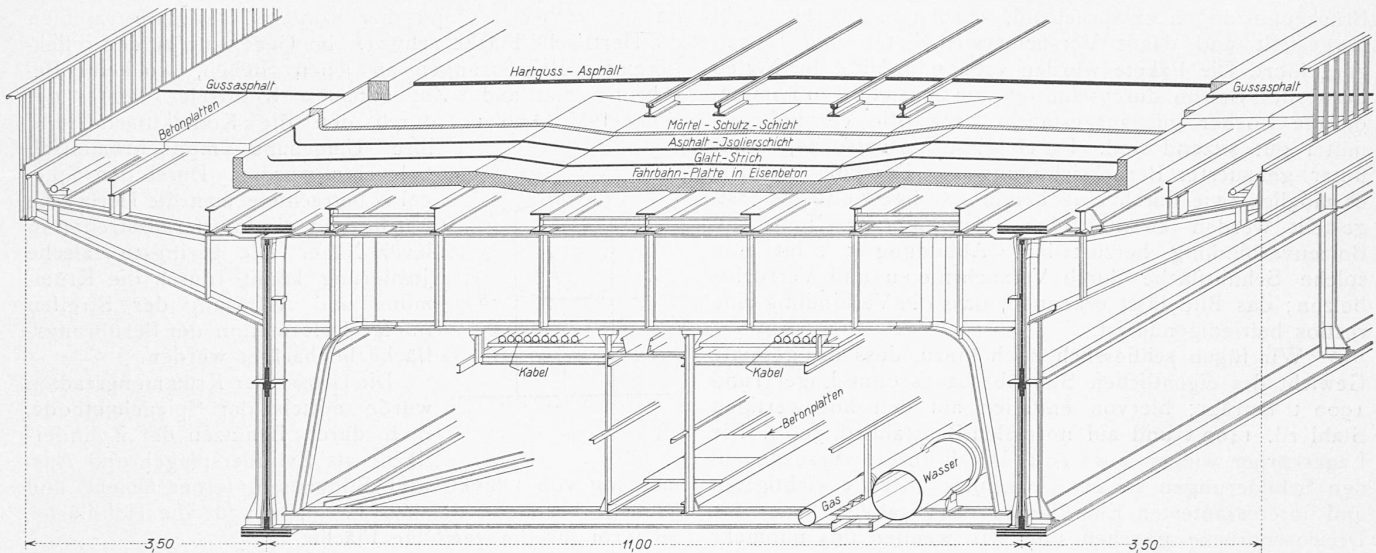


Abb. 3. Isometrischer Querschnitt der Dreirosenbrücke über den Rhein in Basel. — Masstab 1 : 100.

rechnung der Fusswege, der Fahrbahn und der Hauptträger durch einen Stosszuschlag berücksichtigt, der in Prozenten zur statischen Last und für die Stützweite  $L$  in m mit der Formel

$$\varphi = \left( 5 + \frac{500}{10 + L} \right) \%$$

berechnet wird. Für die Berechnung der Verbände und der Zusatzspannungen der Hauptträger ist der Winddruck für die belastete Brücke mit  $100 \text{ kg/m}^2$  und für die unbelastete mit  $150 \text{ kg/m}^2$  eingesetzt.

Ohne hier auf Vergleiche einzugehen, sei festgestellt, dass die angegebenen Belastungen für die Strassenbrücke (die Belastungen durch Strassenbahn entsprechen den tatsächlichen Verhältnissen in Basel) durchwegs über den Annahmen liegen, die in der neuen eidgenössischen Verordnung festgelegt sind. In den Belastungsannahmen für die Dreirosenbrücke liegt somit eine gute Reserve für allfällige weitere Steigerung der Verkehrslasten.

Die Baustoffe, die für den Stahlüberbau verwendet wurden, sind die folgenden:

a) Baustahl „St. 52“ entsprechend den „Vorläufigen Vorschriften für die Lieferung von Stahlbauwerken aus Baustahl „St. 52“ der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft vom Juni 1929. Die Bruchspannung beträgt 52 bis  $62 \text{ kg/mm}^2$ ; die mittlere Bruchspannung  $\beta_z = 57 \text{ kg/mm}^2$ . Die Streckgrenze liegt im Minimum bei 35 bis  $36 \text{ kg/mm}^2$ . Aus diesem Baustoff sind die Hauptträger und die Querträger der Brücke hergestellt.

b) Normaler Baustahl, auch Baustahl „St. 37“ genannt. Die Bruchspannung beträgt 37 bis  $45 \text{ kg/mm}^2$ , die mittlere Bruchspannung  $\beta_z = 40 \text{ kg/mm}^2$ . Dieser Baustoff wurde für die Fahrbahnträger, für die Fusswegkonsolen, für die Fusswegrandträger, für die Verbände, Geländer und andere weniger wichtige Konstruktionsteile verwendet.

c) Stahlguss „St. 52,81 S“ gemäss D.I.N. 1681. Die Mindestzugfestigkeit beträgt  $50 \text{ kg/mm}^2$ . Aus diesem Material bestehen die Lagerteile mit Ausnahme der Rollen der beweglichen Lager.

d) Geschmiedeter Stahl „St. C. 35,61“ gemäss D.I.N. 1661. Mindestzugfestigkeit  $50 \text{ kg/mm}^2$ . Dieser Baustoff wurde für die Rollen der beweglichen Lager benötigt.

e) Stahl „St. 44“ wird für die Niete in den Konstruktionen aus hochwertigem Baustahl „St. 52“ verwendet. Die Vorschriften hierfür entsprechen den gleichen Bedingungen wie für den hochwertigen Baustahl unter a). Die Scherfestigkeit liegt zwischen 33 und  $44 \text{ kg/mm}^2$ .

Die zulässigen Beanspruchungen für das Konstruktionsmaterial sind in Beziehung gesetzt zu den mittleren Festigkeitszahlen der Baustoffe und zwar betragen die zulässigen Spannungen für Zug, Druck und Biegung für die Belastung aus Eigengewicht, Nutz- und Verkehrslast mit

Stosszuschlag 35% der mittleren Bruchfestigkeit  $\beta_z$ . Die Beanspruchungen aus den vorgenannten Lasten zuzüglich der Nebenkräfte aus Wind, Temperatur, Reibung usw. dürfen 40% von  $\beta_z$  erreichen. Sinnemäss ergeben sich für den hochwertigen Baustahl „St. 52“ die zulässigen Beanspruchungen von 2,0 bzw.  $2,28 \text{ t/cm}^2$ . Für normalen Baustahl sind die entsprechenden Werte 1,4 bzw.  $1,6 \text{ t/cm}^2$ . Aus diesen Spannungswerten werden alle übrigen Beanspruchungen abgeleitet, sodass wir darauf nicht näher eingehen müssen. Die zulässigen Spannungen, mit denen die Stahlkonstruktion der Dreirosenbrücke berechnet wurde, erreichen somit höchstens diejenigen Werte, die nach Inkrafttreten der zukünftigen eidgenössischen Verordnung für den Bau von Strassenbrücken vorgeschrieben sein werden.

Die konstruktive Gliederung des Stahlbaues und seine Verbindung mit der Eisenbetonplatte der Fahrbahn und mit den Fusswegen ist denkbar einfach und geht aus unseren verschiedenen Abbildungen deutlich hervor, sodass wir uns hier nur noch mit einigen interessanten Einzelheiten der Hauptträger beschäftigen wollen. Die Hauptträger sind vollwandige, genietete Blechträger; die Stegblechhöhe ist variabel, sie beträgt an den Widerlagern 3840 mm, über den Pfeilern 4651 mm und in Brückenmitte 4820 mm. Die Stegblechstärke wurde zu 18 mm angenommen; nur in den Feldern nahe den Stützen (grosse Querkräfte) ist sie 20 mm. Besondere Beachtung wurde der Berechnung und Konstruktion der Aussteifung der Stegbleche geschenkt, um genügende Sicherheit gegen Ausbeulen der Bleche und der Aussteifungen zu erreichen. Aus letztgenanntem Grund sind beispielsweise (entgegen dem Wettbewerbsentwurf) die Querträger der Brücke rahmenartig mit den Hauptträgern verbunden (Abbildungen 3 und 4). Die Gurtlamellen sind 720 mm breit und nehmen an den Stützen bis auf 880 mm zu. Die grössten Abmessungen des Gurtlamellen-Querschnittes ergeben sich über den Pfeilern, ohne vertikale Teile, zu  $880 \text{ mm} \times 180 \text{ mm}$ ; der wirksame Querschnitt beträgt  $1584 \text{ cm}^2$  und entspricht ohne Nietköpfe usw. einem Metergewicht von rund 1250 kg! Die grösste Abmessung in der Brückenmitte ist sinngemäss  $720 \times 187 \text{ mm}$ .

Diese gewaltigen Querschnittabmessungen erfordern ganz besondere Sorgfalt bei der Durchführung der Verbindung. Im allgemeinen wurde bis zu einer Klemmlänge von 160 mm mit 26 mm-Nieten gearbeitet, darüber hinaus sind konische Bolzen aus Spezialstahl verwendet worden, deren maximale Klemmlänge, einschliesslich des Stossmaterials, sich zu 220 mm ergab. Vor Beginn der Nietarbeiten in den Lieferwerkstätten wurden dort sehr eingehende und gründliche Versuche durchgeführt, um die zweckmässigste Schaftlänge und den erforderlichen Durchmesser der Rohnieten zu bestimmen. Bleckpakete, den Querschnitten der

Brückengurtungen entsprechend, wurden in grösserer Zahl hergestellt und damit Versuche mit Niet- und Bolzen ausgeführt. Die Pakete wurden sodann in Mitte der Niet- bzw. der Bolzen durchschnitten, um feststellen zu können, ob die Löcher gut ausgestaucht bzw. die Verbindungsmittel gut sitzend sind. Durch diese Vorversuche, ferner unter genauester Berücksichtigung der Ergebnisse, wurde es möglich (wie durch eingehende ständige Kontrolle festgestellt werden konnte) eine ausgezeichnete Niet- und Bolzenverbindung herzustellen. Abbildung 5 zeigt eine solche Schnittfläche durch Versuchsnieten und Versuchsbolzen; das Bild lässt erkennen, dass die Verbindung eine restlos befriedigende ist.

Wir fügen schliesslich noch hinzu, dass das gesamte Gewicht des eigentlichen Stahlüberbaues ohne Lager rund 1900 t beträgt; hiervon entfallen auf den hochwertigen Stahl rd. 1400 t und auf normalen Baustahl rd. 500 t. Die Lagerkörper wiegen etwa 40 t. Durch unsere vorausgehenden Schilderungen sei ein Ueberblick über die wichtigsten und interessantesten Einzelheiten des Stahlüberbaues der Dreirosenbrücke gegeben und wir wenden uns nunmehr den statischen Untersuchungen zu. (Schluss folgt.)

## Die spannungsoptische Untersuchung der Berührung zweier Kreiszyylinder.

Mitteilung aus dem Photoelastischen Laboratorium der E. T. H. von Dr. Ing. S. RAJNFELD, Zürich.

### Allgemeines.

In der Technik kommt man oft in die Lage, nach der Beanspruchung von zwei längs einer Mantellinie sich berührenden Zylindern zu fragen. Dieses Problem tritt bei Brückenlagern, Zahnrädern, Rollenlagern, Kettengliedern, Laufrädern usw. auf. Nach dem Anbringen der Last werden sich die beiden Körper längs einer Kontaktfläche, im weiteren nach dem Physiker Hertz Hertz'sche Fläche genannt, berühren. Sie hat die Form eines Rechteckes von der Länge des Zylinders. Ihre Breite hängt von der zusammendrückenden Kraft und von den Elastizitätskonstanten des Materials, nämlich dem Elastizitätsmodul  $E$  und der Poisson'schen Zahl  $\mu$  ab.

In der Kontaktfläche treten Normalspannungen auf, die aus Symmetriegründen in der Mitte ein Maximum haben müssen und am äusseren Rande den Wert Null annehmen. Es sind ferner auch Reibungskräfte denkbar, die, auf die Flächeneinheit bezogen, als Schubspannungen aufgefasst werden. Der Symmetrie wegen sind sie in der Mitte der Kontaktfläche gleich Null und müssen auf dem freien Rande ebenfalls verschwinden. Die innerhalb der Körper auftretenden Hauptspannungen können in jedem Punkt der Richtung nach durch den Verlauf der Hauptspannungstrajektorien angegeben werden, also der Linien, die entstehen, indem man in der Richtung einer Hauptspannung unendlich wenig weiter fortschreitet, in dem nächsten unendlich benachbarten Punkte in der dortigen Hauptspannungsrichtung usw. Auf diese Art erhält man zwei Scharen von aufeinander senkrechten Trajektorien.

### Die Messungen.

Ich benützte quadratische Scheiben aus Glas von den Dimensionen  $60 \times 60 \times 10$  mm. Die berührenden Seiten der beiden Scheiben wurden zylinderförmig geschliffen, wobei die eine Scheibe eine Wölbung und die andere eine Höhlung erhielt. Die Bearbeitung der Modelle durch die Firma C. Zeiss, Jena musste mit einer Genauigkeit, die weit unterhalb des Betrages der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes lag, erfolgen.

Beim Aufeinanderpressen der beiden Modelle mittels einer Druckvorrichtung war mit grösster Sorgfalt auf richtige Justierung zu achten. Deren Güte konnte durch die Beobachtung der Berührungsfläche, wie auch durch die Symmetrie der Spannungsverteilung kontrolliert werden. Die Form der Kontaktfläche wurde so beobachtet, dass schräg einfallendes Licht ohne Reflexion die Berührungs-

fläche durchsetzte (optischer Kontakt). Deshalb erschien die Hertz'sche Fläche schwarz, im Gegensatz zu den reflektierenden Begrenzungen an jenen Stellen, wo keine Berührung stattfand. Zur genauen Kontrolle diente der Spiegel M (Abb. 1), durch den die Kontaktfläche und ihre Umgebung monochromatisch beleuchtet wurden. Durch den Spiegel N betrachtete man die Hertz'sche Fläche und die Interferenzstreifen in ihrer Nähe. Die geringste falsche Justierung konnte durch die Krümmung und Auflösung der Streifen infolge Deformation der Berührungsfläche beobachtet werden.

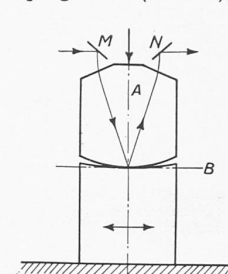


Abb. 1.

Die Grösse der Krümmungsradien wurde mittels der Spiegelmethode, d. h. durch Benützen der Zylinderfläche als Zylinderspiegel und Ausmessung von Objekt- und Bildgrösse, ferner Objekt- und Bildlage bestimmt, nämlich zu 30,4 cm für die Hohlfläche, 28,4 cm für die gewölbte Fläche.

Der Elastizitätsmodul wurde durch optische Messung der Durchbiegung eines Probestabes ermittelt, der aus dem gleichen Material wie die Modelle bestand, die Poisson'sche Zahl nach der bekannten Methode von Cornu. Die elastischen Konstanten der benützten Glassorte betragen  $E = 724\,000$  kg/cm<sup>2</sup>,  $\mu = 0,214$ .

Für die Spannungsmessung diente die im Photoelastischen Laboratorium der E. T. H. seit langer Zeit verwendete Methode<sup>1)</sup>, die eine Genauigkeit von rd. 2 bis 3 % für die Spannungsgrösse und 1/4 bis 1 % für die Spannungsrichtung gewährleistet.

<sup>1)</sup> H. Favre: „Méthode purement optique de détermination des tensions intérieures se produisant dans les constructions“, S. B. Z. 1927, Bd. 90, S. 291 und 307.

### Ergebnisse der Messungen.

1. Spannungsverteilung. Das Diagrammblatt Abb. 2 gibt den Vergleich zwischen den gerechneten und gemessenen Hauptspannungen

längs der Mittellinie durch A (vgl. Abb. 1) in deren Richtung an. Bezeichnen wir den maximalen, in der Berührungsfläche wirkenden Druck mit  $p_0$ , die totale Last mit  $P$ , die halbe Länge der Kontaktfläche mit  $b$ , die Dicke der Scheibe mit  $e$ , und die Entfernung des untersuchten Punktes von der Tangentialebene B (Abb. 2) mit  $z$ , so ergibt sich nach Hertz die

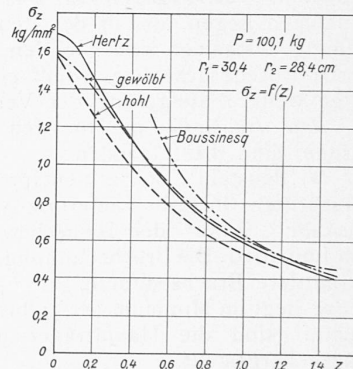


Abb. 2.

$$\text{Formel } \sigma_z = -\frac{3}{2\pi} \frac{P}{be} \left\{ \frac{z}{b} + \left[ 1 - \left( \frac{z}{b} \right)^2 \right] \arctg \frac{b}{z} \right\}$$

Wie aus Abb. 2 ersichtlich, weichen die gemessenen Spannungen im gewölbten Teil nur wenig von den berechneten ab; dagegen sind sie im hohlen Teil etwa 10 % kleiner. Der Scheitelwert der Spannung  $p_0$  ist rd. 5 % kleiner als der gerechnete. Wenn man die Genauigkeit der Messmethode berücksichtigt, so ist dieses Ergebnis für die Theorie von Hertz sehr günstig.

Deutlich ist aber zu sehen, dass die Spannungen im hohlen Zylinder 10 bis 15 % kleiner sind als im gewölbten.

<sup>1)</sup> H. Favre: „Méthode purement optique de détermination des tensions intérieures se produisant dans les constructions“, S. B. Z. 1927, Bd. 90, S. 291 und 307.

Derselbe: „Sur une nouvelle méthode optique de détermination des tensions intérieures“. Revue d'optique, Paris 1929.

J. Müller: „Etude de trois profils de murs encastrés sollicités à la compression et la flexion“. Revue d'optique, Paris 1930.

S. Rajnfeld: „Studio di alcuni problemi elastici a due dimensioni“. Energia Elettrica, Milano, Fasc. IX, Vol. X, September 1933.