

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 105/106 (1935)
Heft: 25

Artikel: Die Ergebnisse der Belastungsproben an der Adolph-Brücke über die Pétrusse, Luxemburg
Autor: Roš, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-47449>

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: 16.03.2025

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

INHALT: Die Ergebnisse der Belastungsproben an der Adolph-Brücke über die Pétrusse, Luxemburg. — Ein Seifenhaut-Modell zur Ergänzung der photo-elastischen Untersuchung. — Messeinrichtung zur Bestimmung der Laufeigenschaften von Eisenbahnfahrzeugen. — Wettbewerb für ein Schulhaus in Birmensdorf. — Mitteilungen:

La Société hydrotechnique de France. Michael Pupin. Erddruck. Tradition und Neues Bauen in England. Bemerkenswerte Leistung der „Swissair“. Der internat. Krankenhaus-Kongress in Rom. 14. Internat. Wohnungs- und Städtebaukongress in London. Eidg. Post- und Eisenbahndepartement. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine.

Band 105

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. 25

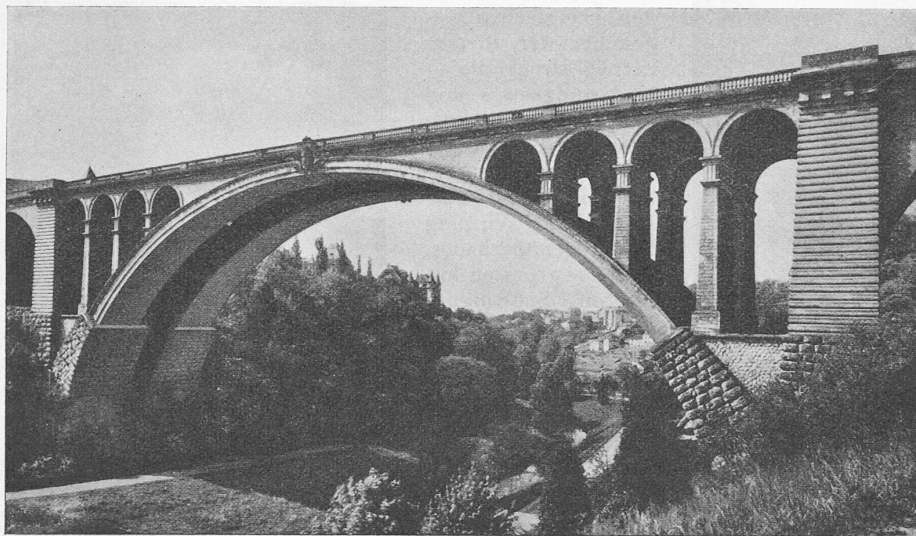


Abb. 1. Adolph-Brücke über das Tal der Pétrusse in Luxemburg, 1899 bis 1903. Entwurf und Bauleitung: P. Séjourné. Bauausführung: Brücke M.M. Fougerolle, Eisenbeton M. Ed. Coignet.

Die Ergebnisse der Belastungsproben an der Adolph-Brücke über die Pétrusse, Luxemburg.

Von Prof. Dr. M. ROŠ, Direktor der E. M. P. A., Zürich.

Paul Séjourné, Membre de l'Institut, Professeur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Projektverfasser und Bauleiter der in den Jahren 1899 bis 1903 erbauten Steinbogenbrücke über das Tal der Pétrusse in Luxemburg, feierte am 30. November 1933 seinen 80. Geburtstag. Zum Zeichen der Verehrung und Dankbarkeit für den hochverdienten Lehrer und Meister der Brückenbaukunst wurde die Adolph-Brücke in Luxemburg (Abb. 1 und 2), eine der kühnsten und schönsten Steinbrücken der klassischen französischen Schule, dank der Opferwilligkeit der Generaldirektion der Travaux Publics und der Mühe-waltung ihres Oberingenieurs Simon, an den Tagen des 20. und 21. Oktober 1933 eingehenden Belastungsversuchen unterzogen.

Auf Grund materialtechnischer Erkenntnisse über das Verhalten von Mauerwerk aus natürlichen Steinen sollte durch statische und dynamische Belastungsversuche die Arbeitsweise, der Spannungs- und Verformungszustand der grossen, aus Gilsdorfer Hausteine (moellons d'appareil, taillés en voussoirs de dimensions imposées, lits et joints pleins) erstellten Zwillings-Steinbogen von 82,20 m theoretischer Stützweite und 21,83 m Pfeilhöhe unter dem Einfluss der Verkehrslasten erfasst und die Bruchsicherheit, unter Berücksichtigung der Eigengewichtsspannungen, beurteilt werden. Der Einfluss der Wärmewirkungen, entsprechend dem Verformungszustand des Bogens im Bruchstadium, darf unberücksichtigt bleiben. Durch Schwingungsversuche sollte des ferneren die Eigenfrequenz und die ihr zugeordnete maximale Schwingungsamplitude des hochgradig statisch unbestimmten, aus zwei Bogenrippen bestehenden Steintragwerkes ermittelt werden.

Die Ergebnisse dieser Belastungsversuche und die gemachten Erfahrungen sind in einem ausführlichen, im „Bulletin Technique de l'Association Luxembourgeoise des Ingénieurs et Industriels“ veröffentlichten Berichte niedergelegt. Dieser Bericht gliedert sich in die Abschnitte:

Zweck der Versuche; Lastenzüge; Versuchsprogramm; Messinstrumente; Materialtechnische Untersuchungen; Versuchsergebnisse; Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.

Ueber die Baugeschichte, sowie alle technischen Einzelheiten des Lehrgerüsts und der Brücke gibt Séjournés fünf-bändiges, vorbildliches Werk „Grandes Voûtes“ (Bourges, 1913, Tome II, Pag. 67 bis 82) erschöpfende Auskunft¹⁾. Wir beschränken uns hier auf die Wiedergabe der

ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN.

Auf Grund aller gemachten Erfahrungen lassen sich nachfolgende Schlüsse ziehen:

1. Das Gesamtbild des gemessenen Spannungs- und Verformungszustandes der Adolph-Brücke zeigt, im grossen betrachtet, ein der Elastizitätstheorie entsprechendes Verhalten (Abb. 3 u. 4). Die bleibenden Verformungen waren gering, das Verhalten somit elastisch; die gemessenen Drehungen schmiegen sich den jeweiligen Biegelinien praktisch genau an (Abb. 4).

2. Die maximal gemessene lotrechte Durchbiegung im Bogenscheitel von 1,56 mm, infolge des Lastenzuges „A“ von 225,75 t Gewicht und 41,42 m Länge beträgt $\sim \frac{1}{53\,000}$ der Stützweite (Abb. 4). Sie ist selbst für die sehr starke, ganz ausserordentliche Belastung von ~ 650 kg/m² als äusserst gering zu bezeichnen.

3. Der Grösstwert der gemessenen Druckspannung wurde im Bogenscheitel zu 8,6 kg/cm², unter Zugrundelegung eines Elastizitätsmoduls von $E_e = 400\,000$ kg/cm² festgestellt. Diese gemessene maximale Spannung entspricht der zugeordneten, für den Bogen allein, ohne Ueberbau, berechneten theoretischen Spannung. Im Bogenviertel und in der Nähe des Bogenkämpfers sind die gemessenen Spannungswerte, mit einer einzigen Ausnahme, wesentlich kleiner als die theoretischen Spannungsgrößen (Abb. 3).

4. Die entlastende Wirkung des Bogenüberbaues, sowie die sperrende Auswirkung der durchgehenden Fahrbahn gelangen sowohl bei den Verformungs- als auch Spannungsmessungen in ausgesprochener Weise zum Ausdruck. Für die lotrechten Durchbiegungen des Bogenscheitels beträgt die Entlastung $\sim 30\%$; für den Bogenviertel ist sie ganz bedeutend grösser (Abb. 4).

5. Der aus den Spannungsmessungen abgeleitete Drucklinienverlauf für die zwei Stellungen des schwersten

¹⁾ Ferner die „SBZ“ in Bd. 39, S. 281* (28. Juni 1902); ferner in Bd. 58, S. 37* (1911). Red.

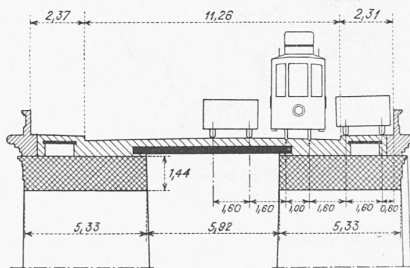


Abb. 2. Querschnitt (mit Lastenzügen). — 1 : 300.

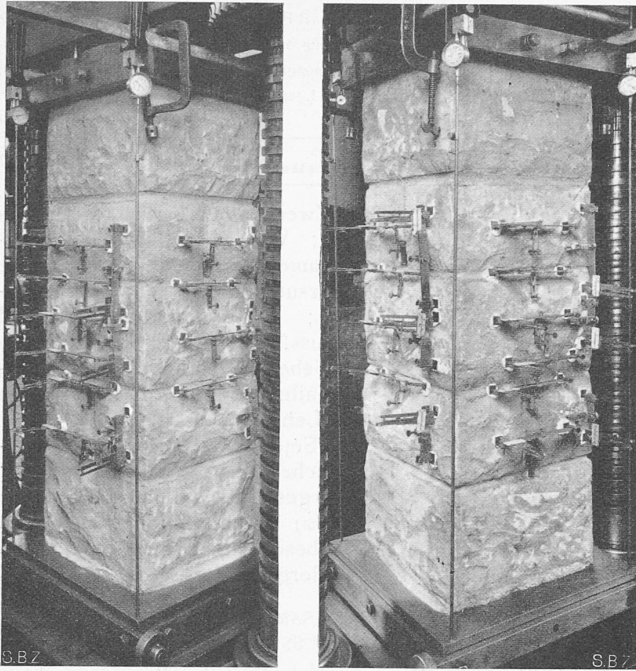
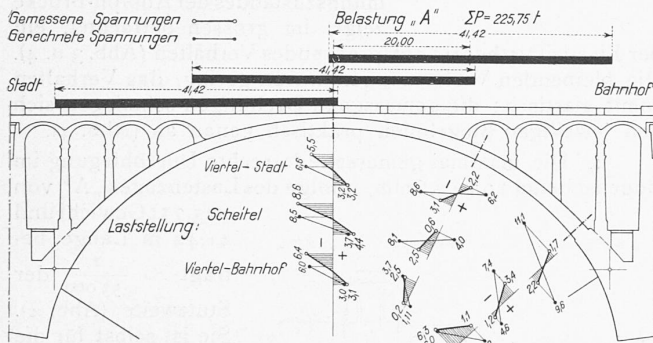


Abb. 8. Versuchspfeiler 40 × 40 × 120 cm in der E. M. P. A., Zürich. Anordnung der Messapparate für die örtlichen und gesamten Verformungen. Sandstein von Gilsdorf, Fugenmörtel in Portlandzement 1 : 4.



Spannungen in kg/cm^2 - Mittelwerte
Elastizitätsmodul $E = 400000 \text{ kg/cm}^2$

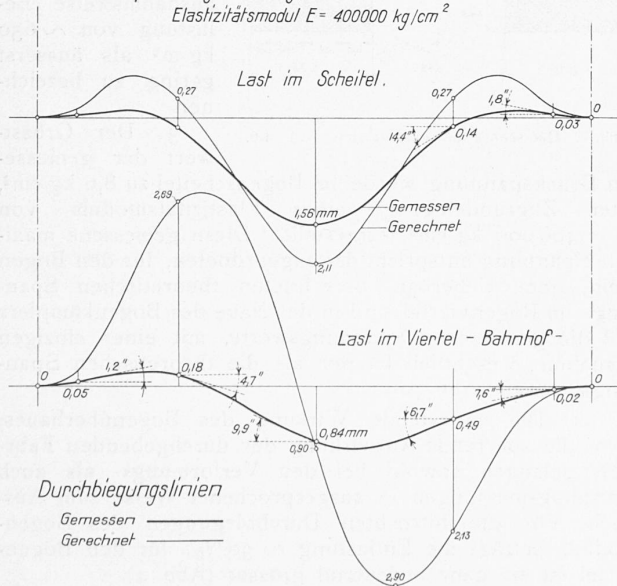


Abb. 3 (oben). Gemessene und berechnete Gewölbe-Spannungen. Belastungszug „A“ im Bogenscheitel und Vierteln Seite Stadt und Seite Bahnhof (Brückenansicht 1 : 1000).

Abb. 4 (darunter). Gemessene und berechnete Biegelinien für Belastungszug „A“ im Bogenscheitel und Viertel Seite Bahnhof.

Lastenzuges „A“, im Bogenscheitel und im Bogenviertel, stimmt im Prinzip mit dem Verlauf der theoretischen Drucklinien überein. Die festgestellten Unterschiede — etwas höhere Lage der gemessenen gegenüber der theoretischen Drucklinie — sind sinngemäss und die Folge eines geringeren Bogenschubes zufolge der entlastenden und aussteifenden Wirkung des Bogenüberbaues.

6. Die grössten lotrechten Schwingungen des Bogenscheitels von $\pm \frac{0,281}{2} \text{ mm}$, hervorgerufen durch das Befahren mit dem Lastenzuge „D“ — Strassenbahnzug mit 6 Lastcamions, 12 bis 15 km/h Geschwindigkeit — sind als gering zu werten. Die Querschwingungen sind von geringer Grössenordnung. Die Längsschwingungen sind ausserordentlich klein und werden erst beim plötzlichen Bremsen des Strassenbahnzugs wahrnehmbar (Abb. 5).

7. Die Stosszuschläge bewegen sich zwischen 30 % (Lastenzug „C“, drei Camions längs in gleicher Reihe, Fahrgeschwindigkeit 15 km/h) und 10 % (Lastenzug „D“, Strassenbahnzug mit sechs Lastcamions, Fahrgeschwindigkeit 12 bis 15 km/h (Abb. 5)).

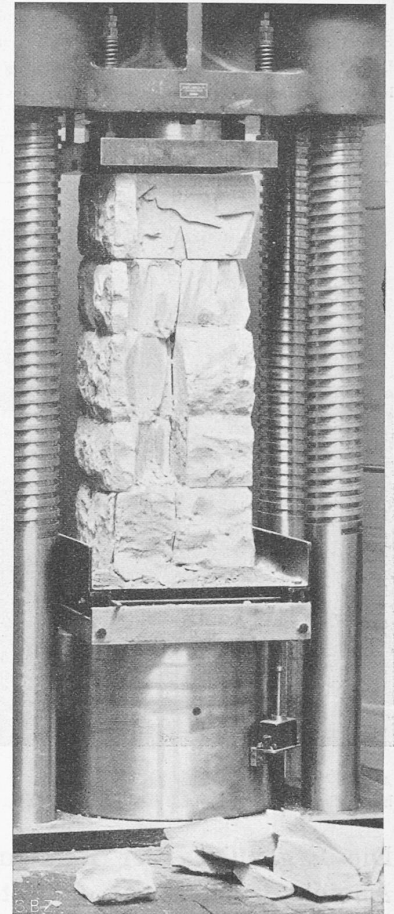


Abb. 9. Bruch des Pfeilers 40 × 40 × 120 cm in der Druckpresse von Alfr. J. Amsler & Cie. Bruchlast 1020 t, Bruchspannung 638 kg/cm^2 .

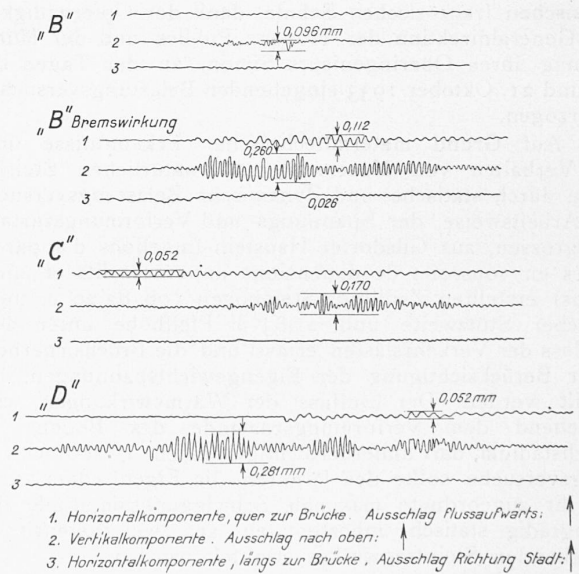


Abb. 5. Schwingungen des Bogens infolge Verkehrslast, gemessen mit dem Seismograph Trüb, Täuber & Cie., System de Quervain-Piccard.

Masstäbe : 1 Richtung wagrecht-quer 14 : 1,
2 Richtung lotrecht 17 : 1,
3 Richtung wagrecht-längs 12,6 : 1.

8. Die Eigenfrequenz der Brücke wurde zu 4 Hertz (4 volle Amplituden pro Sekunde) ermittelt; die zugeordnete grösste lotrechte Schwingungsamplitude im Bogenscheitel erreicht $\pm 0,474$ mm (Abb. 6). Die Richtung der Schwingung in Resonanz für den Bogenviertel ist schräg, sie verläuft angenähert winkelrecht zur Bogenaxe (Abb. 7).

9. Der Bruch eines zentrisch gedrückten Versuchspfeilers aus Moellons aus Gilsdorfer Sandstein, mit Portlandzementmörtel 1:4 gemauert, erfolgte bei einer Belastung von 1020 t, entsprechend einer mittleren Druckspannung von 638 kg/cm². Die Druckfestigkeit des Mauerwerkes beträgt somit $\sim 40\%$ der Steinfestigkeit ($p\beta_d = 1610$ kg/cm²). Die Erschöpfung erfolgte durch Überwindung der Biegezugfestigkeit ($\beta_b = 183$ kg/cm²) des Sandsteines (Abb. 8 und 9).

10. Die Adolph-Brücke ist den schwersten Verkehrslasten, die die nächste Zukunft, mit Rücksicht auf die Tragfähigkeit der Strassen, noch bringen kann, gewachsen. Sie ist befähigt, doppelt so schwere Belastungszüge wie anlässlich der Versuche am 20. Oktober 1933 ohne Nachteil, d. h. innerhalb noch zulässiger Spannungsgrenzen und Verformungswerte zu tragen. Sollten in nächster Zukunft wesentlich schwerere Verkehrslasten als die anlässlich der Belastungsversuche wirklich in Frage kommen, so wäre die Tragsicherheit der Fahrbahn nachzuprüfen (was nicht Gegenstand der vorliegenden Studie war).

11. Die Bruchsicherheit, unter Zugrundelegung des schwersten Belastungszuges vom 20. Oktober 1933, bzw. der seinerzeitigen Belastungszüge anlässlich des Baues (1903), ist grösser als sechs- bzw. achtfach.

*

Tragwerke aus Mauerwerkskörpern in Naturstein verhalten sich, trotz ihrer durch die Natur und den Aufbau bedingten Unhomogenität und Anisotropie, ingenieurtechnisch beurteilt, grundsätzlich wie elastische Gebilde. Die Festigkeits- und Verformungseigenschaften, die von der Gesteinsart, dem Fugenmörtel und der Bauart des Mauerwerkes, vom Alter des Bauwerkes, vom Grundspannungszustand infolge ständiger Last sowie von den sich diesem überlagernden Spannungswechseln aus Verkehrslast, Winddruck und Wärmewechsel abhängig sind und in den gesamten, bleibenden und namentlich in den elastischen Verformungen zum Ausdruck gelangen, müssen aber sinngemäss und gebührend berücksichtigt werden. Dabei gilt als Grundsatz: Die statischen Berechnungen von massiven Bauwerken nach der Elastizitätstheorie sollen in erster Linie die grundlegenden Gesichtspunkte erkennen lassen, nach denen die Wahl des Materials und der Entwurf zu erfolgen hat, die baulichen Vorkehrungen zu treffen sind und der Bau durchzuführen ist.

Die Adolph-Brücke in Luxemburg verkörpert den Geist, die Erfahrung und den Formwillen ihres Schöpfers. Als unvergängliches Denkmal der klassischen französischen Brückenbaukunst ehrt das Werk durch Wahrheit, Schönheit und Kühnheit seinen Meister, Paul Séjourné.

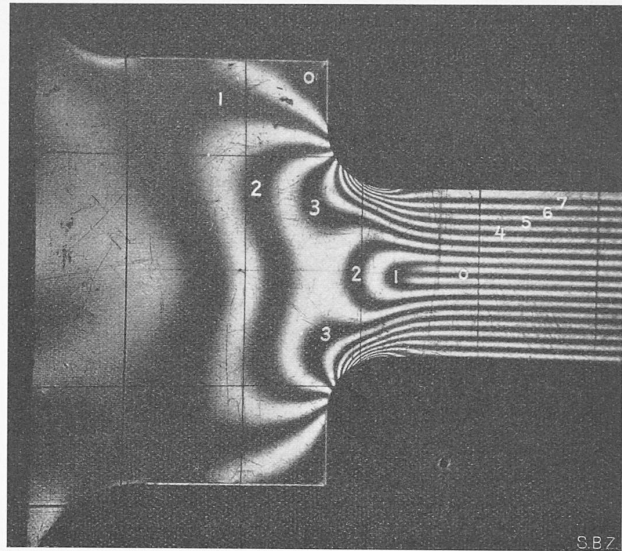


Abb. 1. Photo-elastische Streifen-Aufnahme. Reine Biegung $R/d = 0,34$.

Ein Seifenhaut-Modell zur Ergänzung der photo-elastischen Untersuchung.

Auf Anregung von Professor S. Timoshenko hat an der University of Michigan E. E. Weibel die photo-elastische Streifen-Aufnahme (Abb. 1) eines auf reine Biegung beanspruchten Konstruktionselementes (Abb. 2) durch die Ausmessung einer Seifenmembran ergänzt, die über eine Oeffnung vom Umriss der Abb. 2 gespannt wurde.¹⁾ Die Ordinaten z einer beidseitig unter Luftdruck stehenden Seifenhaut gehorchen nämlich der selben Differentialgleichung

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

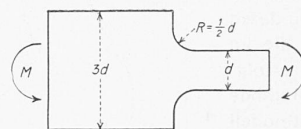


Abb. 2. Form des Probestückes und Art der Belastung.

die auch von der Summe der Hauptspannungen $\sigma_1 + \sigma_2$ befreit wird. Werden also die Randordinaten der Oeffnung den Randwerten der Hauptspannungssumme proportional gemacht, so gibt die

mit der auf Abb. 3 ersichtlichen einfachen Apparatur zu ermittelnde Gestalt der Seifenfläche ein Bild von den Werten der Hauptspannungssumme im Innern des Konstruktionselementes. Als Erster hat J. P. Den Hartog auf diese Analogie aufmerksam gemacht.²⁾

Die Streifen-Aufnahme Abb. 1 hat E. E. Weibel an einem Bakelit-Modell des Konstruktionselementes vorgenommen; zur Vermeidung von Restspannungen waren beim Anlassen des Bakelits sowie beim Herstellen des Modells genaue Vorsichtsmassregeln zu treffen. Mit Rücksicht auf das rasche „Altern“ des Bakelits hatte die Aufnahme innerhalb von vier Stunden nach Herstellung zu erfolgen. Sie liefert bekanntlich³⁾ die Verteilung der Hauptspannungsdifferenzen $\sigma_1 - \sigma_2$, d. h. der maximalen Schubspannung innerhalb und (durch Extrapolation) auch am Rande des Konstruktionselementes. Da am Rande wegen Verschwindens der einen Hauptspannung

$\sigma_1 + \sigma_2$ und $\sigma_1 - \sigma_2$ vom gleichen Betrage sind, liefert die Streifen-Aufnahme die für die Herstellung des Membran-Modelles benötigten Randwerte der Hauptspannungssumme, d. h. die den Konstrukteur vor allem interessierenden Randspannungen.

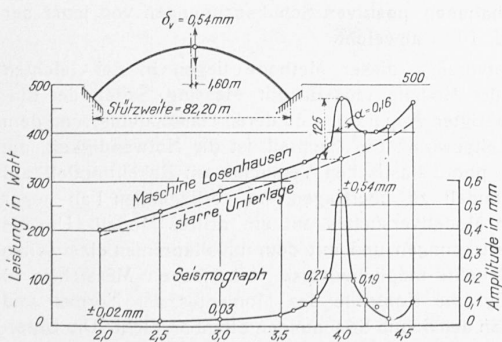


Abb. 6. Lotrechte Schwingungen des Bogenscheitels, wachgerufen durch die Schwingungsmaschine Losenhausen, gemessen mit dem Seismograph de Quervain-Piccard.

Bemerkung zu Abb. 6: Die Schwingungsamplitude von $\pm 0,54$ mm wurde direkt gemessen; wird die Eigenschwingung des Oszillographen berücksichtigt, so ergibt sich die wirkliche Schwingungsamplitude des Bogenscheitels zu $\pm 0,474$ mm.

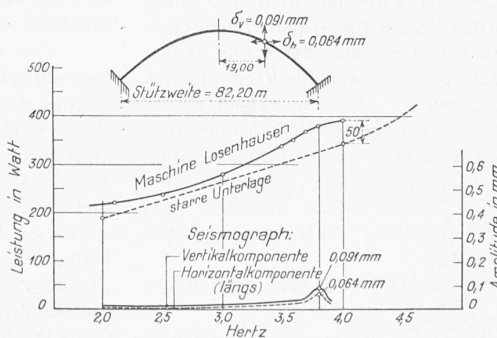


Abb. 7. Schwingungen im Bogenviertel Seite Bahnhof,

¹⁾ E. E. Weibel: „Studies in photoelastic stress determination“, Transactions ASME, 1934 S. 637.

²⁾ Z. A. M. M., Band 11, 1931, S. 156.

³⁾ Vergl. R. V. Baud, „SBZ“ Bd. 100, 1932, S. 1* und 15*.