Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117/118 (1941)
Heft: 17

Artikel: Schiefwinklige Bahnüberführung bei Glattfelden
Autor: Soutter, P.E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-83542

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: 08.08.2025

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

INHALT: Schiefwinklige Bahnüberführung bei Glattfelden. — Die Regulierung von Sulzer-Turbospeisepumpen. — Umbau einer 5/7 Einphasenlokomotive der Lötschbergbahn. — S. I. A.-Delegiertenversammlung vom 18. Oktober 1941. — Wettbewerb für einen Turnhallenneubau mit weitern Räumen im Zollikerberg. — Mitteilungen: Schweiz. Unfallversicherungsanstalt. Schalung und Rüstung im Eisenbeton- und Brückenbau. Flachbagger mit Raupenantrieb im Erdbau. Schweiz. Ausstellung für Neustoffe. Selbsttätige Lichtbogen-Schweissung. Eidg. Techn. Hochschule. Kunstgewerbemuseum Zürich. — Wettbewerbe: Turnhallen mit Schulräumen in Schöftland. Neubau der Zentralbibliothek Solothurn. — Schweiz. Verband für die Materialprüfungen der Technik. — Vortrags-Kalender.

Band 118 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich Nr. 17
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

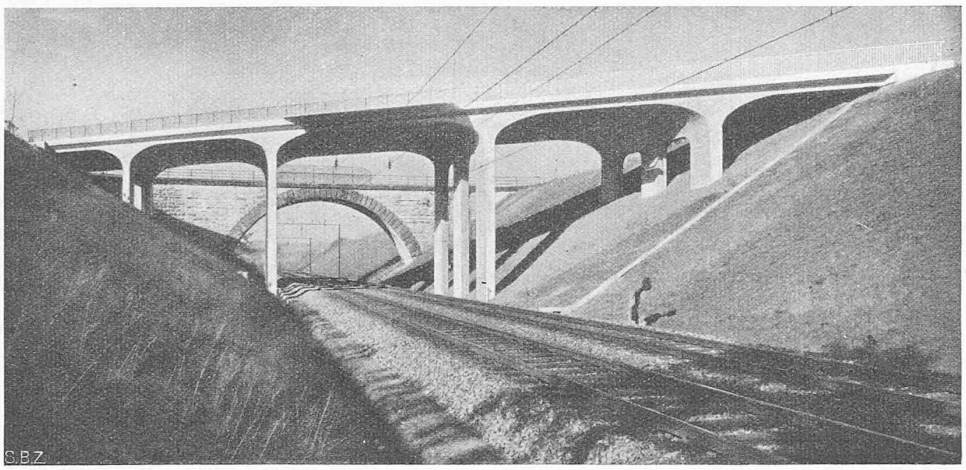


Abb. 1. Ansicht aus Süden der neuen (schiefen), dahinter der alten Ueberführung

Schiefwinklige Bahnüberführung bei Glattfelden

Von Dipl. Ing. P. E. SOUTTER, Zürich

1. Einleitung

Die neue Bahnüberführung oberhalb der Station Glattfelden der doppelgeleisigen SBB-Linie Zürich—Eglisau ist im Zuge der Korrektion der Hauptverkehrstrasse Winterthur-Glattfelden-Weiach ausgeführt worden. Sie ersetzt eine alte gemauerte Bogenbrücke, die normal zur Bahnlinie steht und infolge der scharf gekrümmten Einfahrten in den letzten Jahren verschiedene schwere Autounfälle verursacht hat. Die ausgeführte Lösung ist auf Anregung von Kant.-Ing. K. Keller und Brückening. C. Bryner gewählt worden, denen es auch zu verdanken ist, dass die nachstehend dargestellte Abklärung der statischen Verhältnisse der Brücke auf dem Versuchswege möglich wurde. Die Brücke ist charakterisiert durch die starke Schiefe von 51° 23' 21'' ihrer Längsaxe gegenüber der Geleise-, bzw. Pfeileraxe (Abb. 1 bis 3).

Vorerst wurde die Brücke als kontinuierlicher Träger auf elastischen Stützen, nach der üblichen Elastizitätstheorie unter Berücksichtigung des Einflusses der Längsverschiebung der Pfeilerköpfe und ohne Rücksicht auf die Schiefe berechnet. Die Pfeiler sind als geschlossene Rahmen berechnet, wobei auch ein Temperaturunterschied von 15° zwischen Oberbau und Unterbau in Rechnung gesetzt wurde, um die verschieden starken Temperaturänderungen der Teile im Boden und in der Luft zu berücksichtigen. Eine praktische Berechnungsmethode, die den Einfluss der Schiefe berücksichtigt, ist noch nicht entwickelt worden. Bekannt sind lediglich einige mathematische Untersuchungen, die aber bis jetzt ohne praktischen Wert sind. Erwähnt seien noch die Abhandlungen von Anzelius (über die elastische Deformation parallelogrammförmiger Platten, «Bauingenieur» vom 8. Sept. 1939) und Vogt (die Berechnung schiefwinkliger Platten und plattenartiger Brükkensysteme, «Beton und Eisen» vom 5. September 1940), die aber in der Hauptsache Spezialfälle behandeln. Die weitere theoretische Abklärung der schiefwinkligen Platte dürfte eine dankbare Aufgabe für kommende Forschungsarbeit bieten und es ist zu hoffen, dass mit Rücksicht auf die Vorteile einer genauen wirtschaftlichen Dimensionierung diese Abklärung in nächster Zeit gefördert wird. Der Verfasser hat sich die Aufgabe gestellt, die vorhandenen statischen Verhältnisse auf dem Versuchswege etwas abzuklären. Vor allem sollten die Grösse und die Art der Verteilung der Biegungsmomente in Längs- und Querrichtung untersucht werden.

2. Versuche mit Gipsmodellen

Es wurde zuerst ein Zelluloidmodell entsprechend der üblichen Modellversuchspraxis entworfen. Die Nachteile dieses Systems machten sich aber hier mit Rücksicht auf die starke Schiefe und die Schwierigkeiten der Ausführung der grossen gekrümmten Vouten besonders bemerkbar. Das Zusammenleimen der dünnen Zelluloidplatten mit Azeton und ihre nachträgliche Bearbeitung ist hier besonders umständlich und erfordert eine Erhärtungszeit von zwei bis drei Monaten, bis das Modell wirklich homogen wirken kann. Zelluloid ist auch sehr empfindlich auf Temperaturunterschiede und Kriechen. Ferner sind die Kosten verhältnismässig hoch; z. B. hätte das vorgesehene, 3,2 m lange Modell gemäss eingezogener Offerte rd. 2500 Fr. gekostet. Auch ein Stahlmodell erwies sich als un-

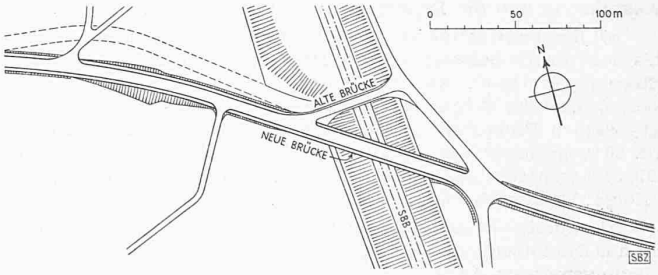


Abb. 2. Lageplan der Strassenkorrektion. — 1 : 4000

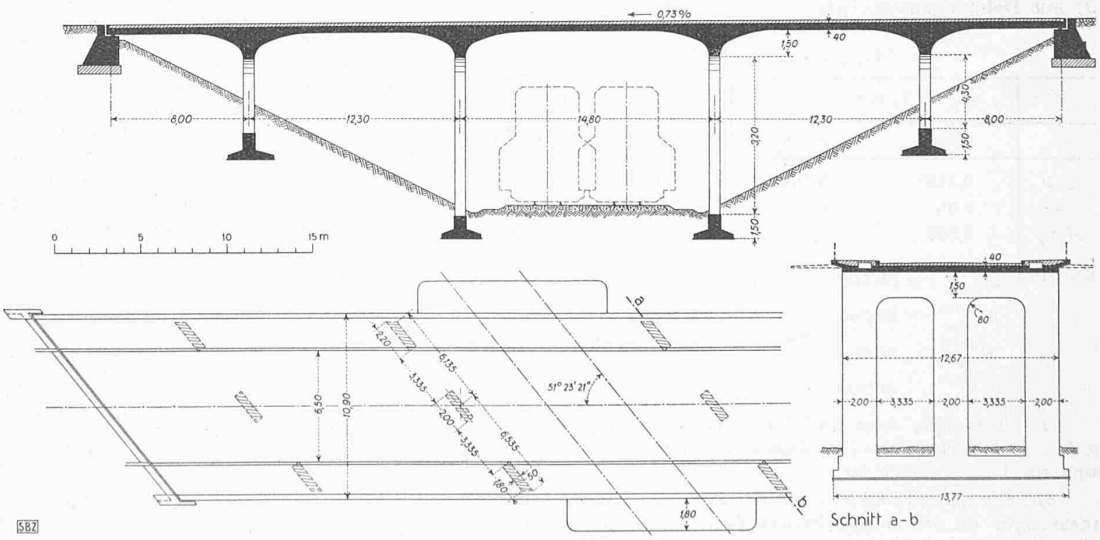
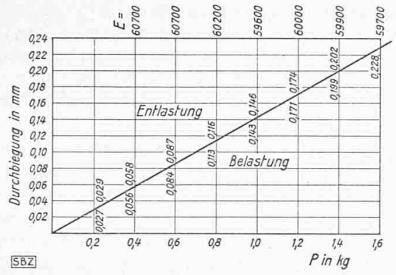


Abb. 3. Längsschnitt, Grundriss und Schnitt a-b parallel zur Eisenbahn-Axe. — 1 : 400



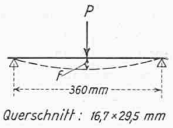


Abb. 5. Beispiel einer Messung

zweckmässig und zu teuer. Ein Holzmodell konnte kaum in Frage kommen wegen der Verschiedenheit von E längs und quer zur Faserrichtung. Auch wirkt sich das Schwinden des Holzes sehr ungünstig aus, wie entsprechende Versuche mit Holzmodellen gezeigt haben.

Es wurde daher nach anderem Material gesucht und *Gips* gewählt. Da aber zuverlässige Angaben über die Festigkeitseigenschaften des Gipses nicht erhältlich waren, mussten sie zuerst beschafft werden. Es wurde eine Reihe von Versuchstäben, Querschnitt rd. 16 × 30 mm, Länge 360 mm, aus Modellgips und Baugips mit und ohne Sisaleinlage gegossen und die Festigkeitseigenschaften systematisch untersucht. Die folgenden Angaben beziehen sich auf den gewählten Baugips ohne Sisaleinlagen (Gipsunion, Werk Läufelfingen), der sich für den verfolgten Zweck am geeignetsten erwies. Dem Gips wurde, um das Quellen zu verhindern, etwas Kalk, und um das Abbinden entsprechend den Erfordernissen des Giessens des Modells zu verlangsamen, etwas Leim beigemischt. Die Probestäbe wurden auch in verschiedenem Alter untersucht, wobei die Festigkeitswerte nach zehn Tagen Erhärtung sich als genügend konstant erwiesen.

Das Gipsmodell (Abb. 4) ist von Gipsermeister Dallo in Witikon ausgeführt worden. Es ist insofern etwas vereinfacht, als die seitlichen Leitungskanäle und die Konsolen unberücksichtigt sind. Das allseitig ungeführte Gleitlager der Endfelder ist durch eine Reihe von Stahlkugeln, gehalten von einer in jedem Widerlager verankerten Messingschiene, dargestellt worden. Es sei noch erwähnt, dass die Gussform des Modells nicht in Holz, sondern auch aus Gips ausgeführt wurde. Es ist nicht daran zu zweifeln, dass das Gipsmodell Möglichkeiten bietet, das Versuchswesen in vielen Fällen einfacher und vor allem wirtschaftlicher zu gestalten. Das Gipsmodell der Brücke hat etwa $^1/_8$ des Preises eines entsprechenden Zelluloidmodelles gekostet und brauchte für die Ausführung und die Erhärtung nur etwa 14 Tage.

a) Biegungsfestigkeit. Eine Reihe von Probestäben wurde bis zum Bruch belastet und als Mittel $\beta_b = 35$ kg/cm² mit 30 % Streuung ermittelt. Es mag vielleicht die Feststellung interessieren, dass die Biegungszugfestigkeit der auf einer Glasplatte gegossenen Probestäbe auf der glatten Seite der Glasplatte bis rd. 20 % geringer war, als auf der gegenüberliegenden Luftseite. Dies ist wahrscheinlich auf das bessere Gefüge der oberen Seite infolge des Abziehens zurückzuführen.

b) Elastizitätsmodul. E wurde auf zweierlei Art ermittelt: α) aus Durchbiegungsmessungen mit Huggenberger'schen Durchbiegungsmessern (Abb. 5). Damit ist die Elastizität des Gipses innerhalb der Belastungsgrenzen des Modells nachgewiesen. β) aus Dehnungsmessungen mit Tensometern (Abb. 6).

Tensometerablesungen:

	links		rechts	
	oben	unten	oben	unten
$\Delta l'$	0,315 5	0,294 5	0,303	0,296
φ	0,98	1,02	1,02	1,02
$\Delta l' \varphi$	0,309	0,300 5	0,309 1	0,302

Daraus: $E^{\text{oben}}_{\text{links}} = 59\,500$

$E^{\text{unten}}_{\text{links}} = 60\,300$

$E^{\text{oben}}_{\text{rechts}} = 60\,000$

$E^{\text{unten}}_{\text{rechts}} = 60\,900$

$$E_{\text{Mittel}} = \frac{240\,700}{4} \cong 60\,000 \text{ kg/cm}^2$$

Die Tatsache, dass die Tensometer-Ablesungen oben und unten gleich sind, beweist, dass der Elastizitätsmodul für Zug und für Druck gleich ist.

c) Schubmodul und Poisson'sche Zahl. G ist aus Verdrehungsmessungen an den selben Probestäben ermittelt und zwar mit einer Versuchsanordnung, die von Dr. K. Hofacker entwickelt

Versuche an Gips-Probestäben mit Huggenberger-Instrumenten

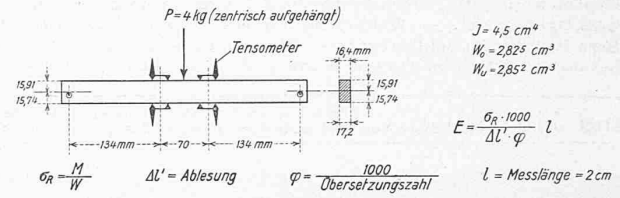


Abb. 6. Beispiel einer Messung

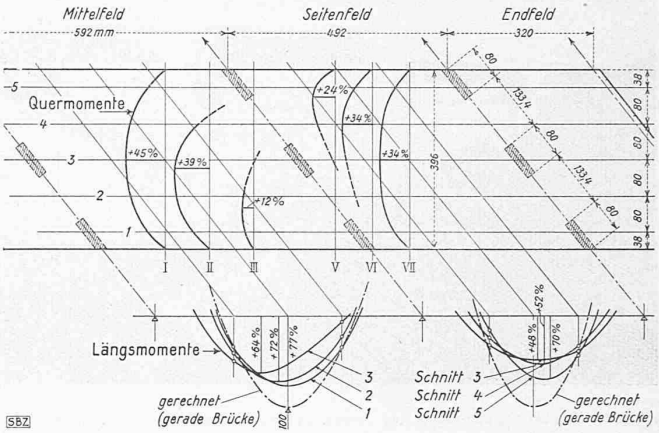


Abb. 10. Verteilung der Längs- und Quermomente aus gleichmässig verteilter feldweiser Belastung, bezogen auf das Längsmoment der geraden Brücke aus derselben Belastung (Rechnung)

worden ist[1]). Für den prismatischen Stab mit rechteckigem Querschnitt ist nach Börner (10. Auflage, Seite 80):

$$G = \frac{M}{c\, b^4\, \vartheta}$$

wobei M = Torsionsmoment, ϑ = Verdrehungswinkel (am Probestab gemessen). Als Mittelwert verschiedener Versuche ergab sich $G = 22\,000$ kg/cm² und die Poisson'sche Zahl als Durchschnittswert zu:

$$m = \frac{2 \times G}{E - 2\,G} \approx 2{,}7$$

Nach Durchführung der Messungen ist in jedem Feld des Modells je ein Querstreifen auf die ganze Breite herausgesägt und auf Biegung untersucht worden (Alter des Modells rd. fünf Monate). E wurde ermittelt zu: Mittelfeld 58 300, Seitenfeld 59 000, Endfeld 56 100, d. h. $E_{\text{Mittel}} = 57\,800$ kg/cm², eine genügende Uebereinstimmung mit den Ergebnissen der Vorversuche. Eine Aenderung der Eigenschaften des Gipses mit dem Alter ist somit nicht festzustellen. β_b wurde im Mittelfeld zu 43 kg/cm² ermittelt.

3. Messungen am Modell

a) Durchbiegungsmessungen. Es wurden acht Längsschnitte untersucht. Die Messungen erfolgten mit acht Huggenberger'schen Uhren mit $^1/_{100}$ mm Angabe, die jeweils in einer Reihe parallel zur Pfeileraxe angeordnet sind. Die Messungen wurden bei dreimaliger Belastung und Entlastung des Feldes wiederholt und der Durchschnittswert bei Ausschaltung allfälliger Fehlmessungen ermittelt. Die Messungen sind somit für getrennte Vollbelastung im Mittel-, Seiten- und Endfeld für jede neue Stellung der Uhren dreimal wiederholt. Als Belastung wurden geeichte Stahlzylinder verwendet. Die betr. Vollbelastung betrug für das Mittelfeld 125,5 kg, für das Seitenfeld 81 kg und für das Endfeld 48,6 kg. Es wurde der Versuch gemacht, aus Durchbiegungsmessungen auf die Momente zu schliessen und zwar wie folgt (Abb. 7):

$$M = -\,E\,J\,\frac{d_z^2}{d_x^2}$$

$$M'_{A_x} = -\,E\,J\,\frac{Z_1 - 2\,Z_2 + Z_3}{\Delta x^2} \quad \text{(Richtung } x\text{)}$$

$$M'_{A_y} = -\,E\,J\,\frac{Z_1 - 2\,Z_2 + Z_3}{\Delta y^2} \quad \text{(Richtung } y\text{)}$$

Die tatsächlichen Momente betragen dann:

$$M_x = \frac{m^2}{m^2 - 1}\left(M'_x + \frac{1}{m}\,M'_y\right)$$

$$M_y = \frac{m^2}{m^2 - 1}\left(M'_y + \frac{1}{m}\,M'_x\right)$$

[1]) Dr. *K. Hofacker*, Das Talsperrengewölbe, Zürich 1936 (Seite 88).

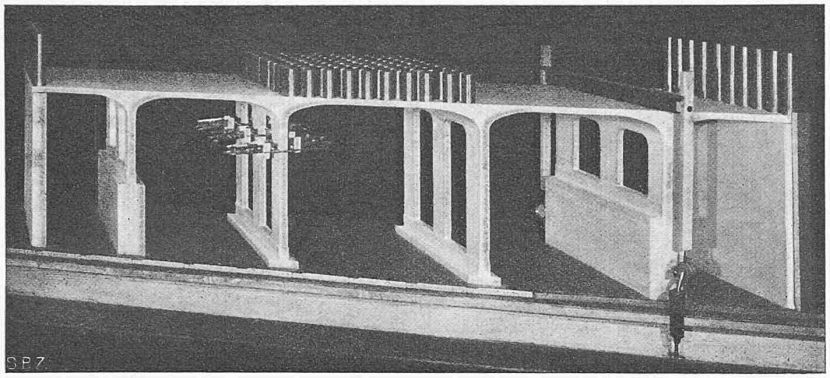


Abb. 4. Gipsmodell im Masstab 1 : 25 der schiefen Ueberführung
Belastung durch geeichte Stahlgewichte; Durchbiegungs- und Dehnungsmesser Huggenberger

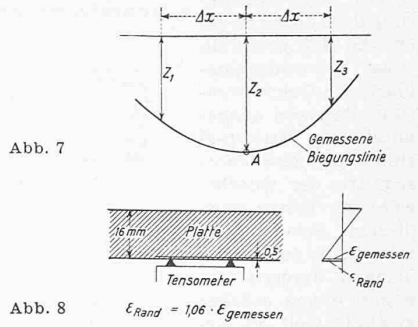


Abb. 7

Abb. 8

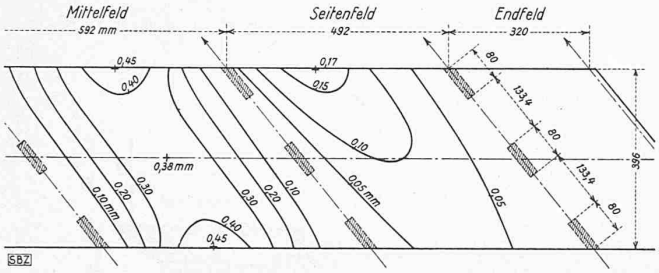


Abb. 9. Biegefläche des Modells aus P = 125,5 kg, im Mittelfeld gleichmässig verteilt

Die auf solche Weise ermittelten Momente erwiesen sich aber in der Folge als mit Fehlern behaftet, hauptsächlich infolge der Verformungen der nicht ganz starren Unterlage des Modells. Deswegen wurden nachträglich noch Messungen mit Tensometern vorgenommen.

b) Messungen mit Huggenberger'schen Tensometern. Diese sind unabhängig von der Modellunterlage. Es wurden die gleichen Belastungen verwendet wie für die Durchbiegungsmessungen. An jedem Punkt wurden die Dehnungen in zwei zueinander senkrechten Richtungen gemessen: ε_1 in Brückenlängsrichtung, ε_2 in Querrichtung. Aus praktischen Gründen konnte die Tensometermessung nur an der Unterseite der Platte vorgenommen werden. Dies ist unbedenklich, weil E für Zug und für Druck gleich ist (siehe Vorversuche). Da der Einfluss der Momente den Einfluss der Normalkräfte auf die Randspannungen weit überwiegt, genügen die Dehnungen zur Festsetzung der Momente.

Die Randspannungen sind dann (Abb. 8):

$$\sigma_1 = E\,1{,}06\left(\varepsilon_1 + \frac{1}{m}\,\varepsilon_2\right)$$

$$\sigma_2 = E\,1{,}06\left(\varepsilon_2 + \frac{1}{m}\,\varepsilon_1\right)$$

$$M = W\,\sigma$$

Die Messungen wurden an 35 Punkten, gleichmässig verteilt auf Mittelfeld, ein Seitenfeld und ein Endfeld vorgenommen, vgl. Abb. 9. Durch Vergleich von Dehnungsmessungen an symmetrisch gelegenen Punkten lässt sich die Genauigkeit der Ergebnisse abschätzen: Der mittlere Fehler einer Einzelmessung beträgt 8 %, der grösste überhaupt vorkommende Fehler 18 %. Da an jedem Punkt fünfmal gemessen und die Resultate gemittelt wurden, sind die Fehler des Mittels bedeutend kleiner: es darf mit Sicherheit angenommen werden, dass die auf Grund der Dehnungsmessungen ermittelten Momentenlinien keine grösseren Fehler als ± 10 % aufweisen.

Die Längsmomente für drei verschiedene Schnitte 1, 2, 3, bzw. 3, 4, 5 wurden über diesen Schnitten aufgetragen. Die Quermomente der Schnitte I, II, III, V, VI, VII mussten aus den Quermomenten der Messpunkte durch Interpolation bestimmt werden (Abb. 10). In dieser Abbildung sind die gemessenen Längs- und Quermomente, verglichen mit den gerechneten Momenten, aufgetragen. Bemerkenswert ist der relativ grosse Betrag der Quermomente, die erhebliche Verringerung der Längsmomente infolge der Schiefe, und die Verschiebung der Maxima der Längsmomente gegen die stumpfwinkligen Ecken der Plattenfelder hin.

4. Dimensionierung des Bauwerks

a) Bemessung der Bewehrung. Die Längsbewehrung ist parallel zur Längsaxe angeordnet, was auch der rationellsten Disposition für die Bauausführung entspricht. Die Querbewehrung liegt am günstigsten normal zur Längsaxe, bzw. zur Längsarmierung. Die Längsbewehrung wurde vorsichtigerweise nach dem Ergebnis der Berechnung der geraden Brücke dimensioniert, weil die Ermittlung des Moments aus den Durchbiegungen am Modell sich als unzuverlässig erwies und die Spannungsmessungen erst nachträglich erfolgten. Einzig die Verschiebung der Momentenmaxima gegen die stumpfwinkligen Ecken hin wurde durch entsprechende Verschiebung der Eisen berücksichtigt (Abb. 11). Für die Querbewehrung dagegen wurde angenommen, dass sich die Quermomente aus Eigengewicht + Nutzlast zu den Längsmomenten gleich verhalten, wie die selben Werte aus gleichförmiger Belastung. Die erforderliche Querbewehrung in einem der Schnitte I, II usw. ergab sich somit zu

$$F_e^{\,q} = F_e^{\,l}\,\frac{M_q^{\,(M)}}{M_l^{\,(R)}}$$

$F_e^{\,q}$ Querbewehrung, $F_e^{\,l}$ vorhandene grösste Längsbewehrung des betr. Feldes, $M_q^{\,(M)}$ gemessenes Quermoment aus gleichförmig verteilter Last, $M_l^{\,(R)}$ gerechnetes Längsmoment aus gleichförmig verteilter Last.

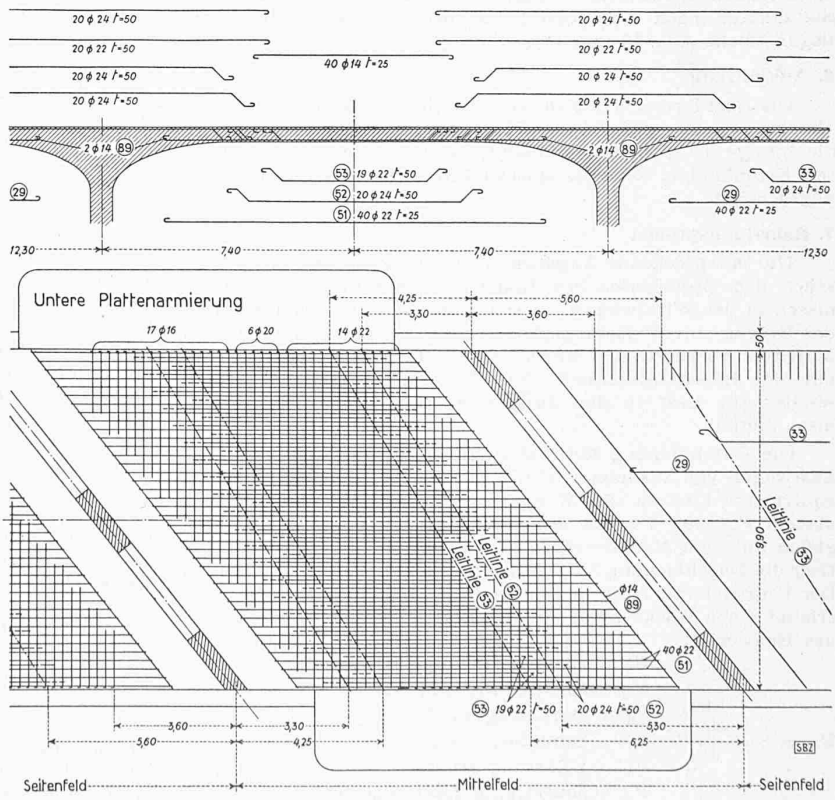


Abb. 11. Untere Armierung der Platte im Mittelfeld. — Masstab 1 : 200

Bei Dimensionierung nach dieser Regel ist die Längsbewehrung überdimensioniert, die Querbewehrung dagegen ausgenützt. Im Mittelfeld sind die Eisenquerschnitte der Querbewehrung genau nach diesem Schema ermittelt, in den beiden übrigen Feldern dagegen etwas stärker gewählt, weil die Armierungspläne vor Abschluss der Versuche fertiggestellt werden mussten. Insgesamt beträgt die Querarmierung der Platte, nachdem sie den Quermomenten angepasst wurde, 33 % der Längsarmierung.

b) Pfeilerrahmen. Die untern und obern Riegel arbeiten auch auf Torsion. Die Torsionspannungen sind nachgewiesen und die Riegel entsprechend bewehrt worden. Die Bemessung der Armierung der Pfeiler erfolgte nach den Ergebnissen der Rechnung (ohne Berücksichtigung der Schiefe). Tensometermessungen an den Pfeilern zeigten, dass dies einer gewissen Ueberdimensionierung gleichkommt (Abb. 12).

Schiefwinklige Strassenüberführung bei Glattfelden. — Dipl. Ing. P. E. SOUTTER, Zürich

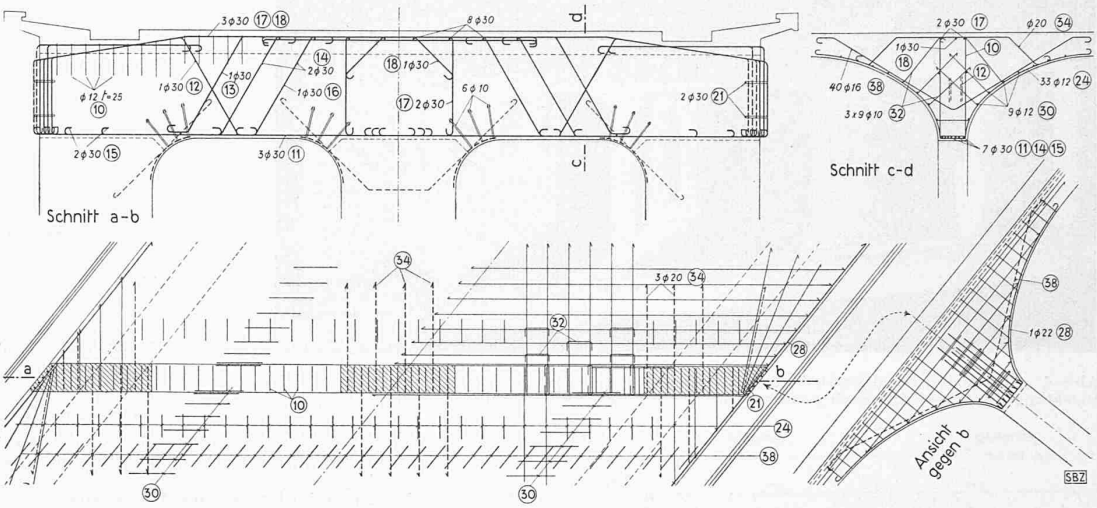


Abb. 12. Armierungsplan des schiefen Querrahmens mit Plattenanschluss. — 1 : 120

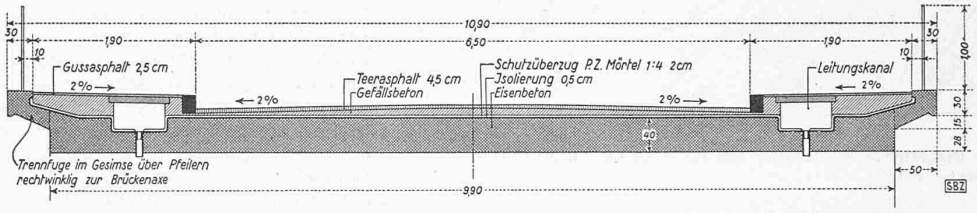


Abb. 15. Schnitt durch die kreuzweise armierte Fahrbahntafel, senkrecht zur Strassenaxe — 1 : 80

c) Fundamente und Auflager. Die grösste Bodenpressung beträgt 3 kg/cm² (festgelagerter Kies). Die Lager an den Brückenenden müssen mit Rücksicht auf die Schiefe eine freie Bewegung in der Horizontalebene gestatten. Aus diesem Grunde wurden allseitig ungeführte Stahl-Gleitlager gewählt. Die oberen und unteren Stahlplatten sind gegeneinander um das Mass des zu erwartenden Schwindens der Brücke beim Betonieren versetzt. Sie dürften nach erfolgtem Schwinden zentrisch aufeinander liegen (siehe Abb. 13 und 14).

6. Ausführung

Die Ausführung der Fahrbahn ist infolge des Fehlens jeden Unterzugs sehr einfach (Abb. 15). Einige Mühe verursachten die infolge der Schiefe winkeländernden und zudem gekrümmten Betonkanten. Nur die spitzwinkligen Kanten ($< 90°$) sind abgeschrägt.

7. Belastungsproben

Um entsprechende Angaben über den Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des Modellversuches und den Verhältnissen in der Wirklichkeit zu schaffen, ist nach Fertigstellung der Brücke eine Belastungsprobe unter Leitung von Prof. Dr. M. Ritter vorgenommen worden (Abb. 16). Im Folgenden wird nur der Belastungsversuch für «Last im Mittelfeld» ausgewertet; für Last in den übrigen Feldern liegen die Verhältnisse ähnlich.

Die Durchbiegung Mitte Mittelfeld aus der Last von zwei Lastwagen von zusammen 27,6 t Gewicht beträgt 0,65 mm. Die äquivalente Last zu diesen zwei Lastwagen, aber gleichförmig verteilt $P = 40{,}7$ t wurde ermittelt, um eine Basis für den Vergleich mit dem Modellversuch zu haben. Im Modellversuch betrug die Durchbiegung Mitte Mittelfeld aus $P = 125{,}5$ kg 0,38 mm. Der Vergleich mit Hilfe der bekannten Aehnlichkeitsbeziehungen erlaubt einen Rückschluss auf den Elastizitätsmodul des Betons des Bauwerks:

$$E_B = E_M \frac{\frac{d_M}{d_B}\lambda}{\frac{P_M}{P_B}}$$

E_B = Elastizitätsmodul Bauwerk
E_M = Elastizitätsmodul Modell = 60 000 kg/cm²
d_M = Durchbiegung Modell = 0,38 mm
d_B = Durchbiegung Bauwerk = 0,65 mm
P_M = Belastung Modell = 125,5 kg
P_B = äquivalente Last Bauwerk = 40 700 kg
λ = Längenmasstab des Modells

woraus:

$$E_B = 450\,000 \text{ kg/cm}^2$$

Dies ist ein sehr hoher Wert, der auf besonders gute Qualität des Betons schliessen lässt. Die Würfelfestigkeit des Betons im Alter von 28 Tagen betrug in der Tat

$$_w\beta_d^{28} = 369 \text{ kg/cm}^2$$

Extrapoliert auf das Alter des Betons beim Belastungsversuch ergibt sich 395 kg/cm². Nach den Formeln der EMPA entspricht dies einem Elastizitätsmodul $E = 365\,000$ kg/cm². Der Beton des Bauwerks ist anscheinend noch fester als der der Würfelproben.

Eine Frage konnte nicht restlos abgeklärt werden, nämlich die der Uebereinstimmung der Poisson'schen Zahlen. Die Ergebnisse des Modellversuches wurden mit dem $m_{Gips} = 2{,}7$ ausgewertet, während bekanntlich m_{Beton} rd. 6 beträgt. Um volle Klarheit darüber zu schaffen, ob die Ergebnisse des Modellversuches ohne weiteres auf den Beton übertragbar sind, oder ob bei der Auswertung der Ergebnisse des Modellversuches ein anderes m als m_{Gips}, z. B. $m = 6$ in Rechnung gesetzt werden muss, wurde ein besonderer Versuch angeordnet. Es wurde einerseits eine kleine, 12 mm starke Gipsplatte 36/36 cm, anderseits eine 6 cm starke Betonplatte von 2 m Seitenlänge gleichartig belastet. Beabsichtigt war, aus dem Vergleich der Messungen die nötige Abklärung über die Frage des m zu erhalten. Leider haben sich die Durchbiegungsmessungen als zu ungenau erwiesen, um aus diesem Vergleich eine erschöpfende Klarstellung zu erhalten. Dies sei nur erwähnt, um womöglich eine andere Stelle anzuregen, eine Abklärung dieser Frage auf dem Versuchswege vorzunehmen.

Sämtliche Messungen am Modell sind dank dem Entgegenkommen von Prof. Dr. M. Ritter im Statischen Institut der E. T. H mit dem Instrumentarium des Institutes durchgeführt worden. Es sei an dieser Stelle Prof. Ritter, sowie seinem Mitarbeiter Dr. K. Hofacker der beste Dank für ihre wertvollen Ratschläge ausgesprochen. Die Projektierung der Brücke, die Messungen am Modell und deren Auswertung wurden vom Ingenieurbureau des Verfassers durchgeführt, dem auch die Bauleitung oblag. Die Bauarbeiten sind von der Firma Th. Bertschinger A. G. ausgeführt worden.

Die Gesamtkosten der auf Ende Mai 1941 fertiggestellten Brücke inkl. Projekt, Modellversuche, Belagarbeiten und Bauleitung betragen rd. 142000 Fr. d. h. rd. 224 Fr. pro m² überbrückter Fläche. Die Teuerung gegenüber August 1939 beträgt dabei rd. 25 %.

Schiefwinklige Strassenüberführung über die SBB bei Glattfelden — Dipl. Ing. P. E. SOUTTER, Zürich

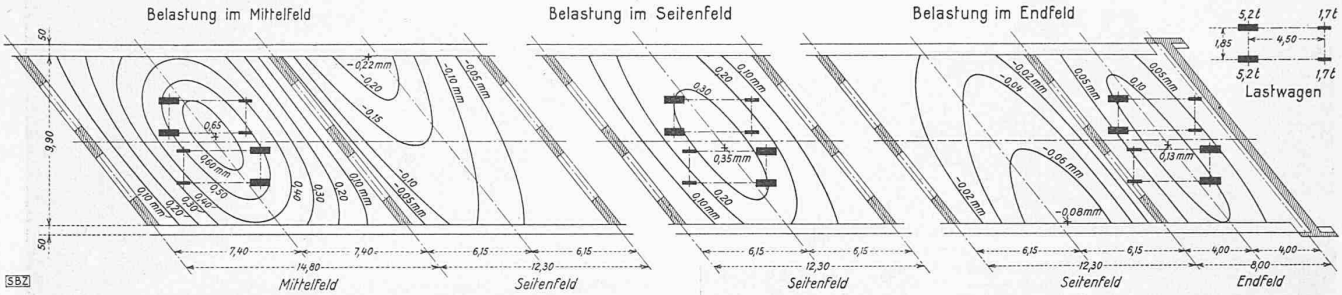


Abb. 16. Durchbiegungsflächen der Fahrbahntafel gemäss den Belastungsproben mit zwei Lastwagen von zusammen 27,6 t (oben rechts). — 1 : 400

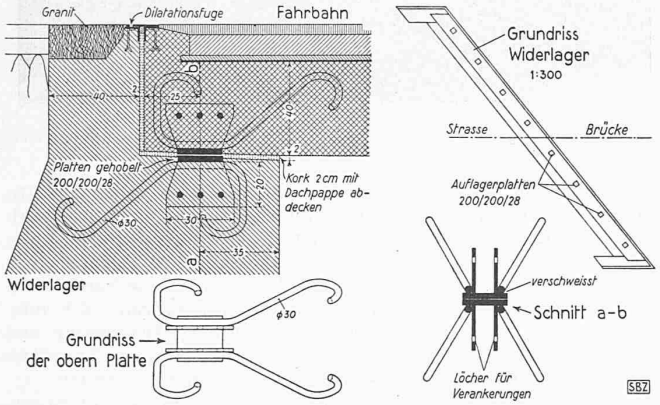


Abb. 13. Auflager der Fahrbahnplatte am Widerlager, 1 : 30

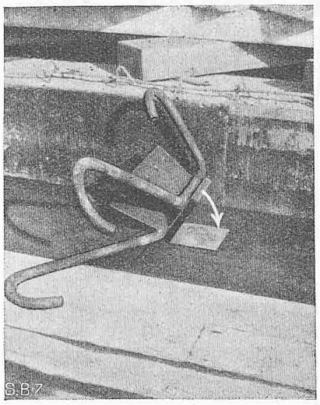


Abb. 14. Auflagerplatten u. Verankerung

Die Regulierung von Sulzer-Turbospeisepumpen

Moderne Hochdruckdampfkessel mit ihrem geringen Wasserinhalt stellen höchste Anforderungen an die Speisepumpen und deren Regulierungen, die auf alle Schwankungen der Dampferzeugung, der Feuerintensität und des Druckes sehr fein ansprechen müssen. Die Speisung muss bei voller Belastung des Kessels und beim höchsten vorkommenden Druck noch absolut sicher und wirtschaftlich erfolgen, wobei zu beachten ist, dass die manometrische Förderhöhe der Pumpen um den Leitungsverlust grösser ist als der Kesseldruck.

Zentrifugalpumpen mit rückwärts gekrümmten Schaufeln, wie sie für hohe Drucke allein in Frage kommen, haben eine fallende Charakteristik, d. h. bei konstanter Drehzahl fällt der Druck ab, wenn die Fördermenge zunimmt. Diese Eigenart widerspricht den Anforderungen des Kesselbetriebes, denn bei schwacher Belastung des Kessels mit entsprechend reduzierter Speisung steigt der Pumpendruck weit über das erforderliche Mass an, und dies umso mehr, als die kleineren Geschwindigkeiten in den Leitungen auch kleinere Widerstandshöhen ergeben. Eine Vernichtung des Ueberdruckes durch Drosselung wäre unwirtschaftlich, weshalb man eine Anpassung des Pumpenbetriebes an die Anforderungen des Kessels durch eine besondere Regulierung zu erreichen sucht.

Am einfachsten erfolgt diese Anpassung durch Reduktion der Pumpendrehzahl bei Teillast des Kessels. Eine Handverstellung kommt aber nur für primitivste Verhältnisse in Frage. Bei Speisepumpen mit Dampfturbinenantrieb für kleinere und mittlere Betriebe wird diese Aufgabe einem Membranregler übertragen, der das Dampfgabeventil so betätigt, dass der Unterschied zwischen Dampfdruck vor Turbine und Wasserdruck hinter Pumpe unverändert bleibt. Diese Regulierung lässt allerdings die Abweichungen in den Widerstandshöhen der Leitungen unberücksichtigt, doch sucht man deren Einfluss durch grosse Querschnitte und geringe Rohrlängen möglichst auszuschalten. Mehrere, durch Membranregler beeinflusste Turbopumpen können parallel auf den gleichen Kessel oder eine Batterie von unter gleichem Druck stehenden Kesseleinheiten arbeiten, wenn ihre Charakteristiken gleich oder einander sehr ähnlich sind.

Schwieriger ist das Parallelschalten von Turbo- und Elektropumpen, weil diese in der Regel mit konstanter Drehzahl laufen, somit nach einer fallenden Charakteristik regulieren. Da ist man genötigt, auch der Turbopumpe diese Charakteristik zu verleihen, indem man sie mit einem Regler für konstante Drehzahl ausrüstet. Damit verzichtet man aber auf eine automatische Anpassung der Förderhöhe an den Kesseldruck und kann lediglich durch Handbetätigung der Drehzahlverstellvorrichtung der Turbine, bzw. der Regulierrheostaten der Motoren eine grobe Korrektur vornehmen. Grössere Anlagen verlangen aber auch für einen solchen Parallelbetrieb eine automatische Regulierung, die einen wirtschaftlichen Betrieb sicherstellt, und deren Kosten dabei für ein Hilfsaggregat, wie es die Speisevorrichtung darstellt, tragbar sind. Die Speisewassermenge wird an einem Durchflussventil bemessen, das, von einem Niveauregler aus gesteuert, auf Schwankungen des Wasserstandes im Kessel anspricht. Ein wirtschaftlicher Betrieb erfordert nun, dass die Druckdifferenz vor und hinter diesem Ventil bei jeder Belastung die selbe sei. Darum hat ein Druckempfänger, dessen Membran dieser konstant zu haltenden Druckdifferenz ausgesetzt ist, direkt oder indirekt so auf die Tourenverstellung der Turbine, bzw. die Servomotoren zur Betätigung der Regulierrheostaten für die Elektromotoren einzuwirken, dass die erforderliche Druckanpassung durch Drehzahländerung sich vollzieht. Eine solche Regulierstation umfasst je eine Apparategruppe für die elektrisch- und die dampfangetriebenen Speisepumpen. Werden mehrere Kessel gleichzeitig gespeist, so überlagern sich die Impulse der Druckempfänger eines jeden Kessels. Je nach Wunsch kann man alle Aggregate gleichzeitig an der Regulierung teilnehmen oder aber die Elektropumpen in ihrem günstigsten Betriebsbereich als Grundlastpumpen unverändert sich drehen lassen und dabei die Regulierung der Zusatzwassermenge den Turbopumpen übertragen.

Sollte infolge Störung in der Regulierung die Drehzahl einer Turbopumpe abnormal hoch ansteigen, so würde deren Dampfturbine vor Erreichen einer gefährlich hohen Geschwindigkeit durch den Sicherheitsregler abgestellt. Dann könnte aber die Sicherheit der Kessel in Frage stehen, weshalb eine automatische Blockiervorrichtung den Reguliermechanismus festhält, bevor es soweit ist. Gleichzeitig wird der Wärter alarmiert, und erst nachdem er die Ursache der Störung beseitigt hat, kann die Blockierung gelöst und die Gruppe wieder der automatischen Regulierung überlassen werden.

Die reiche Erfahrung von Gebrüder Sulzer im Bau der verschiedensten Reguliersysteme für Dampferzeuger und Dampfkraftmaschinen aller Art gewährt auch für die vorgängig beschriebene Sonderregulierung von Turbospeisepumpen volle Betriebsicherheit. Auch die konstruktive Lösung beweist die völlige Beherrschung des Problems, sind doch alle Regulierapparate so in ein Schaltpult eingebaut, dass von aussen nur die Kontrollinstrumente und die Handräder sichtbar sind. In der Anlage wird diese Regulierstation erhöht und in einiger Entfernung von den Maschinen aufgestellt, sodass der Wärter von dort aus alles überwachen und nach Wunsch auch von Hand die Drehzahl der Pumpen einzeln beeinflussen kann. Diese Regulierung ist natürlich nicht auf den Antrieb von Speisepumpen beschränkt, sondern erstreckt sich schon lange auch auf den Antrieb von Ventilatoren, Kompressoren, Umwälzpumpen u. a. m., wo sie sich als wirtschaftlich vorteilhafte, leicht regulierbare Kraftmaschine bewährt hat.

Emil Hablützel