

EISENBETONBOGENBRÜCKEN FÜR GROSSE SPANNWEITEN

VON

H. SPANGENBERG

o. PROFESSOR AN DER TECHN. HOCHSCHULE MÜNCHEN

MIT 35 ABBILDUNGEN



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1 9 2 4

EISENBETONBOGENBRÜCKEN FÜR GROSSE SPANNWEITEN

VON

H. SPANGENBERG

o. PROFESSOR AN DER TECHN. HOCHSCHULE MÜNCHEN

MIT 35 ABBILDUNGEN



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1924

ISBN 978-3-662-27318-0

ISBN 978-3-662-28805-4 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-28805-4

SONDERABDRUCK AUS
„D E R B A U I N G E N I E U R“
ZEITSCHRIFT FÜR DAS GESAMTE BAUWESEN
5. JAHRGANG 1924, HEFT 15 UND 16.

Vorwort.

Die nachstehende Abhandlung gibt mit einigen Erweiterungen den Inhalt eines Vortrages wieder, der auf der Hauptversammlung des Deutschen Beton-Vereins am 25. April 1924 in Berlin gehalten wurde.

Im ersten Teil (Abschnitt I—VI) wird der Einfluß des Eisenbetons auf die Steigerung der Spannweiten gewölbter Brücken untersucht. Der dabei gleichzeitig gebotene Überblick über die neueren ausländischen Ausführungen und Entwürfe weitgespannter Eisenbetonbogenbrücken wird vielleicht besonders dem Leser willkommen sein, dem es an Zeit und Gelegenheit zur Durchsicht der in den Fachzeitschriften verstreuten Einzelveröffentlichungen fehlt. Für ein genaueres Studium sind jedoch allenthalben die notwendigen Literaturangaben beigelegt.

Der zweite Teil (Abschnitt VII—XI) behandelt ausschließlich Eisenbetonbögen mit steifer Bewehrung. Die Beschäftigung mit dem Entwurfe einer weitgespannten Eisenbetonbogenbrücke über die Elbe in Dresden hat den Verfasser dazu geführt, sich eingehender mit den Entwicklungsmöglichkeiten zu befassen, die in den Eisenbetonbögen nach System Melan liegen, und eine Vervollkommnung dieser Bauweise für große Spannweiten vorzuschlagen. Vielleicht tragen diese Darlegungen dazu bei, das Interesse an den steifbewehrten Eisenbetonbögen zu steigern und ihre Verwendung für große Spannweiten zu fördern. Jedenfalls erscheint es angezeigt, bei Projektierung einer großen Eisenbetonbogenbrücke stets auch einen Vergleichsentwurf mit steifer Bewehrung auszuarbeiten und bei der Auswahl nicht nur die Wirtschaftlichkeit, sondern auch die wichtige Frage der Sicherheit während der Bauausführung zu berücksichtigen.

München, im September 1924.

H. Spangenberg.

Übersicht. Es wird ein umfassender Überblick über die neueren Ausführungen und Entwürfe von großen Eisenbetonbogenbrücken gegeben und dazu benutzt, den Einfluß des Eisenbetonbaues auf die Entwicklung weitgespannter Wölbbrücken zu untersuchen. Dabei zeigt sich, daß bezüglich der Steigerung der Spannweiten die Erfolge des Eisenbetons gegenüber Gewölben aus Mauerwerk und Beton auffällig gering sind. Die Gründe hierfür werden in der Abhängigkeit von den hölzernen Lehrgerüsten und in der geringen Ausnutzung der Eiseinlagen bei den hauptsächlich auf Druck beanspruchten großen Gewölben gefunden.

Möglichkeiten für weitere Fortschritte liegen in den steifbewehrten Bögen nach System Melan, die in der Ausführungsform mit Anhängung der Schalung und Vorspannung der Eiseinlagen die genannten Nachteile nicht besitzen. Bei Anwendung dieser Bauweise auf sehr große Spannweiten stößt man jedoch auf gewisse Schwierigkeiten und Bedenken. Zu ihrer Beseitigung wird ein besonderes Bauverfahren vorgeschlagen, das die Erzielung der Vorspannung in einwandfreier Weise gestattet und damit auch die Verwendung hochwertiger Flußstahls für weitgespannte Eisenbetonbögen ermöglicht. Der vorgeschlagene Weg wird an dem baureif durchgearbeiteten Entwurf einer Flößbrücke in Dresden von 136 m Spannweite und nur 1 : 15 Pfeilverhältnis im einzelnen erläutert.

I.

Wie fast auf allen Gebieten des Bauwesens, so hat auch im Brückenbau der Eisenbeton zu neuen Konstruktionsmöglichkeiten geführt. Insbesondere sind in den Balken- und Rahmenbrücken aus Eisenbeton auch die vorwiegend auf Biegung beanspruchten Trägerformen für den Massivbrückenbau erschlossen worden, wobei viele neuartige, interessante Lösungen entstanden sind, die sich aber wegen des hohen Eigengewichtes nur auf kleinere Spannweiten — bis etwa 30 m — beschränken.

Für große Spannweiten kommt wie sonst im Massivbrückenbau auch bei der Eisenbetonbauweise nur die im wesentlichen auf Druck beanspruchte Bogenbrücke in Betracht. Obwohl also hierfür keine grundsätzlich neue Bauform entstanden ist, so bietet es doch Interesse, den Einfluß zu untersuchen, den der Eisenbeton auf die Entwicklung der weitgespannten massiven Bogenbrücken, d. h. also auf die Erbauung großer Gewölbe ausgeübt hat.

Zweifelloos hat der Eisenbetonbau auch den Wölbbrückenbau sehr gefördert, so durch wertvolle konstruktive Einzelheiten und durch weitgehende Gliederung der Massen, insbesondere durch Ausbildung leichter Aufbauten auf den Gewölben zum Tragen der Fahrbahn. Das sind Fortschritte, durch die vor allem das Eigengewicht und die Baukosten der massiven Bogenbrücken vermindert wurden, ohne daß dabei ihre Hauptvorteile verloren gingen: ihre Dauerhaftigkeit, die fast verschwindenden Unterhaltungskosten, die geringe Empfindlichkeit gegenüber den Verkehrslasten und deren Steigerung, sowie schließlich ihre monumentale Erscheinung. Was aber den Fortschritt in der Überwindung größerer Spannweiten betrifft, so sind die bisherigen Erfolge des Eisenbetonbaues gegenüber den Bogenbrücken in Mauerwerk und Beton auffällig gering. An Hand eines Überblicks über die in Ausführungen erreichten und in Entwürfen geplanten Höchstleistungen sollen die Gründe hierfür dargelegt und anschließend soll gezeigt werden, in welcher Richtung eine weitere Entwicklung, d. h. die Überwindung sehr großer Spannweiten mit Eisenbetonbogenbrücken möglich erscheint.

II.

Legt man, wie es häufig geschieht, in allerdings willkürlicher Weise das Maß von 80 m Spannweite als untere Grenze für weitgespannte massive Bogenbrücken zugrunde, so ist festzustellen, daß wir in Deutschland keine Eisenbetonbrücke besitzen, die dieses Maß erreicht. Die weitestgespannten Eisenbetonbrücken Deutschlands sind die 1904 erbaute Grünwalder Isarbrücke¹⁾ mit 2 Öffnungen von je 70 m Weite und der 1917 in umschnürtem Gußeisenbeton ausgeführte Fußgängersteg über die Spree in Treptow b. Berlin mit 76 m Spannweite²⁾.

Im Ausland gibt es nach Kenntnis des Verfassers im ganzen 13 Eisenbetonbrücken, die in den letzten 15 Jahren erbaut worden sind und mehr als 80 m Spannweite haben. Dabei wird nur mit zwei erst im vergangenen Jahr vollendeten Brückenbauwerken das Maß von 100 m Spannweite überschritten. Es sind dies die Mississippibrücke bei Minneapolis mit 122 m und die Seinebrücke bei St. Pierre du Vauvray mit 132 m Weite. Demgegenüber sei erwähnt, daß die größte eiserne Bogenbrücke, die Höllentorbrücke bei New York, eine Spannweite von 300 m besitzt.

Wölbbrücken aus Mauerwerk sind schon mehrfach mit Spannweiten von über 80 m ausgeführt worden. Den größten gemauerten Bogen besitzen wir in Deutschland: die von der Firma Liebold & Co. erbaute 90 m weitgespannte Syrtalbrücke in Plauen i. Vogtland. Auch reine Betonbögen, also ohne Eiseinlagen, gibt es im Ausland mehrere über 80 m Weite; die größte mit 98 m Spannweite und rd. $\frac{1}{5}$ Stich ist im Jahre 1919 in Frankreich, über den Lot bei Ville-neuve vollendet worden. Ihr Gewölbe ist in 2 Bogenrippen von je rd 3 m Breite aufgelöst, auf denen sich die Fahrbahnkonstruktion aus Eisenbeton aufbaut³⁾. Der flache Bogen besitzt keine Gelenke, seine Herstellung erfolgte nach dem von Freyssinet angegebenen sinnreichen Verfahren mittels Einschaltung hydraulischer Pressen im Scheitel, das einen erheblichen Fortschritt für die Erbauung großer eingespannter Gewölbe bedeutet und weiter unten noch näher besprochen wird.

In der Zusammenstellung S. 2 sind unter A. die 13 großen Eisenbetonbrücken aufgeführt. Außer den beiden bekanntesten Brücken der meterspurigen Bahn von Chur nach Arosa ist nur noch die schwedische Brücke über den Öre-Älv eine Eisenbahnbrücke; sie ist überhaupt die weitestgespannte Massivbrücke, die von Hauptbahnzügen befahren wird. Alle übrigen Brücken sind Straßenbrücken. Als Dreigelenkbögen sind außer der genannten schwedischen Brücke nur die Aarebrücke in Olten (Abb. 1) und die Graftonbrücke in Neuseeland ausgebildet, die anderen Brücken haben eingespannte Bögen. In der Schweiz ist übrigens jetzt von der Firma Züblin & Cie. A. G. mit dem Bau einer weiteren großen Talbrücke begonnen worden, mit der Hundwilertobelbrücke bei Waldstatt in der Nähe von St. Gallen, die einen eingespannten Bogen von 105 m Spannweite und rd $\frac{1}{3}$ Stich erhalten wird (vergl. die Zusammenstellung unter B.).

¹⁾ Vgl. Mörsch, Schw. Bztg. 1910, Bd. 44, Nr. 23, 24.

²⁾ Vgl. Zeitschr. d. Österr. Ing. u. Arch. Vereins 1918, Heft 31—34.

³⁾ Vgl. Le Génie Civil 1921, 2. Halbjahr Nr. 5—7 und Deutsche Bztg., Betonbeilage 1921, Nr. 18, S. 137.

Eisenbetonbogenbrücken über 80 m Spannweite.

	Vollen- dungs- jahr	Spannweite l (in Metern)	Pfeilver- hältnis $\Psi = \frac{f}{l}$	$k = \frac{1}{\Psi} = \frac{l^2}{f}$ (in Metern)	Quelle
A. Ausführungen.					
Schweiz.					
1.*) Halen-Brücke in Bern	1912	87,2	1 : 2,6	227	Schw. Bztg. 1914 Bd. 63, S. 205
2.*) Talbrücke bei Langwies, Chur-Arosa-Bahn .	1914	100,0	1 : 2,38	238	Armierter Beton 1915 Heft 7-12 u. 1916, Heft 1-2
3.*) Gründjetobel-Brücke, Chur-Arosa-Bahn . .	1914	86,0	1 : 4,8	413	Schw. Bztg. 1913, Bd. 62, S. 284
4.*) Aare-Brücke in Olten	1914	82,0	1 : 8,9	730	Schw. Bztg. 1915, Bd. 65, S. 5
Schweden.					
5.*) Eisenbahnbrücke über den Öre-Älv	1919	90,7	1 : 3,1	281	Der Bauingenieur 1921 Heft 4
Italien.					
6.*) Tiber-Brücke in Rom	1911	100,0	1 : 10	1000	Beton u. Eisen 1911, Heft 14, 15 Armierter Beton 1912, S. 294
Frankreich.					
7. Vesubie-Brücke (Südfrankreich)	1923	96,0	1 : 6,35	610	Engineering 1923, Bd. 116, S. 70
8. Seine-Brücke bei St.-Pierre-du-Vauvray . .	1923	131,8	1 : 5,27	695	Le Génie Civil 1923, Bd. 83, S. 417, Schweiz. Bztg. 1924, Bd. 83, S. 271
9.***) Rhône-Brücke La Balme bei Yenne . . .	1916	95,0	1 : 10,6	1007	Mitteilungen des Deutschen Ingenieurvereins in Mähren 1922, S. 27
Amerika.					
10.*) Larimer-Straßen-Brücke in Pittsburg . . .	1912	91,6	1 : 4,5	412	Eng. News Dez. 1912
11. Beechwood-Straßen-Brücke in Pittsburg . .	1921	85,0	1 : 4,9	416	Eng. News Rec. Jan. 1922
12. Cappelen-Brücke über den Mississippi in Minneapolis	1923	121,9	1 : 4,45	544	Eng. News Rec. 1923, Bd. 90, S. 148
Australien.					
13.*) Grafton-Brücke in Auckland (Neu-Seeland)	1910	97,5	1 : 3,6	351	Eng. News Aug. 1910
B. Entwürfe.					
Hundwilertobelbrücke bei Waldstatt, Kanton Appenzell (im Bau)		105,0	1 : 2,92	307	(Mitteilung der Baufirma Züblin & Cie. A. G., Zürich)
Perolles-Brücke in Freiburg (Schweiz)		132,0	1 : 2,64	349	Festschrift zu Melan's 70. Geburtstag
Zähringer-Brücke in Freiburg (Schweiz)		110,0	1 : 3,67	404	Schweiz. Bztg. 1923, Bd. 81, S. 189
Arsta-Brücke bei Stockholm		170,0 (96,0)	1 : 4,0 (1 : 8,0)	680 (768)	Der Bauingenieur 1920, Heft 2. u. 15 u. Zentralbl. der Bauv. 1920, S. 193
Henry-Hudson-Brücke bei New-York		216,0	1 : 4,0	864	Eng. Record Nov. 1907 und Deutsche Bztg. Betonbei- lage 1908, Nr. 3
Brücke über den Bernand		170,0	1 : 5,75	978	Le Génie Civil, Januar 1921.
Elbbrücke Dresden		136,0	1 : 15	2040	

*) Diese Brücken sind auch im „Handbuch für Eisenbetonbau“ III. Aufl., VII. Band „Bogenbrücken und Überwölbungen“ von Th. Gesteschi, abgebildet und beschrieben.

**) Neuerdings ist eine weitere große französische Eisenbetonbogenbrücke durch eine Veröffentlichung in Le Ciment 1924 Nr. 6 bekannt geworden: Die Seinebrücke bei Champagne-sur-Seine mit einer als Dreigelenkbogen ausgebildeten Hauptöffnung von 114 m.

In der Übersicht ist außer der Spannweite auch das Pfeilverhältnis $\psi = \frac{f}{l}$ angegeben und der Wert $k = \frac{1}{\psi} = \frac{l^2}{f}$ berechnet. Da die Kühnheit eines Bogens der Spannweite l direkt und dem Pfeilverhältnis ψ indirekt proportional ist, bildet der Quotient $\frac{1}{\psi}$ oder der Wert $k = \frac{l^2}{f}$ ein gutes Kennzeichen für die Bedeutung einer gewölbten Brücke. Soweit der Verfasser feststellen konnte, erreicht bei den kühnsten Bogenbrücken in Mauerwerk und in Beton diese charakteristische Zahl k den Wert 650 m⁴). Von den hier angeführten Eisenbetonbrücken haben vier einen höheren Wert k und nur bei zwei flachen Brücken, bei der einen französischen Brücke und bei der bekannten Tiberbrücke in Rom beträgt er rd. 1000 m. Ist der Unterschied gegenüber Mauerwerk- und Betonbögen hier zwar etwas größer als bei den Spannweiten, so ist doch auch in bezug auf die Kühnheit der durch den Eisenbeton erzielte Fortschritt nicht allzu erheblich.

III.

Wenn auch die Größe der auf 1 m Brückenbreite zu bewältigenden Kräfte außer von den Belastungen sehr wesentlich von dem Wert $k = \frac{l^2}{f}$ abhängt, so wird man doch der Bedeutung einer gewölbten Brücke durch diese Betrachtung noch nicht ganz gerecht.

Bekanntlich hängt das Gelingen eines größeren Gewölbebaues in erster Linie von der richtigen Bauausführung ab, sie ist viel schwieriger und verantwortungsvoller als z. B. die Montage einer eisernen Brücke gleicher Spannweite. Die Schwierigkeiten der Ausführung werden aber um so größer, je höher der Scheitel eines Gewölbes über der Erdoberfläche liegt, so daß die steilen Gewölbe durch die Zahl k in ihrer Bedeutung etwas zu gering bewertet werden. Das wird um so klarer, wenn man bedenkt, daß die Höhenlage des Scheitels über dem Erdboden neben der Spannweite für den Umfang des Lehrgerüsts maßgebend ist. Dieses ist ja das wichtigste Glied eines jeden größeren Gewölbebaues, von ihm hängt die richtige Gestalt des Gewölbes und die Sicherheit während der Ausführung ab, seine Kosten sind von wesentlichem Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit des ganzen Bauwerkes. Bei großen Wölbbrücken bedeuten die Lehrgerüste immer gewisse Gefahrenpunkte für den Bau; außer unrichtiger Überhöhung können ungleichmäßige Setzungen des Gerüsts schädlich wirken, bei Strombrücken Hochwasser und Eisgang verhängnisvoll werden; auch mit Brandgefahr ist zu rechnen. Da auch die großen modernen Eisenbetonbögen mit Hilfe von Lehrgerüsten erbaut werden — bei den steilen Bögen sind es oft wahre Kunstwerke des Holzbaues —, so ist ihre Ausführung mit den gleichen Schwierigkeiten, Unsicherheiten, ja Gefahren verknüpft wie die von großen Gewölben aus Mauerwerk oder Beton. In diesem Umstand erblickt der Verfasser einen Hauptgrund für die geringen Fortschritte in der Steigerung der Spannweiten durch Eisenbetonbögen. Einige Einzeltatsachen mögen das Gesagte noch näher beleuchten.

Ein schwerer Gerüstunfall hat sich beim Bau der bisher größten Eisenbetonbrücke, der Seinebrücke von St. Pierre du Vauvray mit 132 m Spannweite ereignet. Als bereits ein Viertel der Betonmassen aufgebracht war, stürzte das ganze, sehr leicht gebaute Gerüst (vgl. Abb. 13) infolge eines Sturmwindes in den Fluß, wobei mehrere Tote und Verwundete zu beklagen waren⁵⁾. In neuester Zeit wurde ein verhängnisvoller Gerüstesturz vom Bau der Kymbriücke in Finnland gemeldet⁶⁾, einer Eisenbahnbrücke mit einem Hauptbogen in Eisenbeton von rd. 70 m Weite. Unmittelbar nach Fertigstellung des großen Bogens brach das Gerüst darunter zusammen und das Gewölbe wurde schwer beschädigt. Ver-

mutlich ist die mangelhafte Gründung des Gerüsts auf den steilen Felshängen des Flußbettes bei ca. 9 m Wassertiefe die Hauptursache des Unfalles. Wie schwierig und kostspielig allerdings zuweilen eine sorgfältige Gründung für das Lehrgerüst bei Strombrücken sein kann, zeigt das Beispiel der Isonzobrücke bei Salcano, bei der die pneumatische Fundierung und die Wiederbeseitigung des Lehrgerüst-Strompfeilers ebensoviel kostete wie das Lehrgerüst selbst (rd. 136 000 Goldkronen⁷⁾). Mitteilungen über Beschädigungen und Zerstörungen von Lehrgerüsten durch Hochwasser finden sich mehrfach in der Fachliteratur; wer selbst einmal eine größere gewölbte Strombrücke erbaut hat, kennt die ständige Sorge um das Lehrgerüst.

Ferner sei erwähnt, daß der Bau der großen Mississippi-Brücke bei Minneapolis (Abb. 3) von 122 m Spannweite durch einen Brand in dem Gerüst des Hauptbogens Winter 1921 eine empfindliche Unterbrechung erlitt. Um so beachtenswerter sind daher die Vorkehrungen zum Schutz gegen Feuersgefahr, die seinerzeit beim Bau der oben erwähnten Isonzobrücke getroffen wurden⁸⁾. In verschiedener Höhe waren Wasserbehälter angeordnet, von denen aus mittels Schlauchleitungen im Gefahrfälle jeder Punkt des Gerüsts unter Wasser gesetzt werden konnte; außerdem war das Gerüst nachts beleuchtet und ständig bewacht.

Die wirtschaftliche Bedeutung des Lehrgerüsts bei großen und hohen Wölbbrücken erkennt man aus folgenden Zahlen von der bekannten Gmündertobelbrücke bei Teufen, einer 79 m weit gespannten Straßenbrücke von $\frac{1}{3}$ Stich, deren Scheitel rd. 60 m über der Talsohle liegt. Hier waren die Kosten des Lehrgerüsts mit 120 000 fr. rd. ein Drittel der Gesamtkosten des Brückenbaues und rd. 30 vH höher als die Kosten des großen Bogens und seiner Fahrbahnkonstruktion⁹⁾.

Im Rahmen der vorstehenden Erörterungen sei der Vollständigkeit halber auf einen, allerdings etwas sonderbaren Vorschlag von Gouyau hingewiesen, um große Eisenbetonbögen ohne Lehrgerüste zu erbauen. Die Bogenrippen sind dabei mit kreisrundem Querschnitt vorgesehen, ihre Schalung wird von eisernen Rohren gebildet, die zunächst als hohle Bogenrippen für sich von den Wiedelagern her mit Hilfe von zwei Türmen und mittels Drahtseilen in einzelnen Stücken frei vorgebaut werden sollen, ähnlich wie die Hauptkabel großer Hängebrücken. Anschließend hat dann das Einbringen der Armierung in diese Röhrenbogen und deren Ausfüllen mit Beton zu erfolgen, zweifellos eine schwierige und gefährliche Arbeit. Zum Schluß sollen die ausbetonierte Rohre noch mit einer Schutzschicht aus bewehrtem Beton umkleidet werden⁹⁾.

IV.

Der zweite Grund für die geringe Steigerung der Spannweiten gegenüber Gewölben aus Mauerwerk und Beton liegt in der Wirkungsweise der Eiseneinlagen bei großen Eisenbeton-



Abb. 1. Aarebrücke Olten $l = 82$ m.

bögen. Bei einer ganzen Anzahl ausgeführter Eisenbetonbogenbrücken von großer Spannweite ist die Bewehrung statisch

4) Z. B. Prinzregentenbrücke München, Neckarbrücke Caunstatt.

5) Beton und Eisen 1922, S. 123.

6) Beton und Eisen 1924, S. 23 und 72.

7) Vgl. Schönhöfer, Die Haupt-, Neben- und Hilfsgerüste im Brückenbau.

8) Vgl. Schw. Bztg. 1909, Bd. 53, Nr. 7—10.

9) Näheres vgl. Le Génie Civil 1922, Bd. 80, S. 37.

nicht notwendig oder nur von untergeordneter Bedeutung. Hauptsächlich ist dies bei denjenigen Brücken der Fall, bei denen das Gewölbe wie bei gemauerten Bögen als Tonnengewölbe auf die ganze Brückenbreite hindurchgeht und infolgedessen die Beanspruchung durch das Eigengewicht stark überwiegt. Soweit es sich dabei um Dreigelenkbögen handelt [z. B.

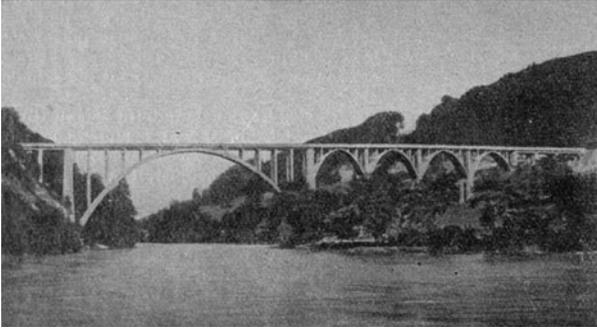


Abb. 2. Halenbrücke in Bern, Hauptöffnung $l = 87,2$ m,

Aarebrücke in Olten (Abb. 1), Öre-Älv-Brücke], treten nur Druckspannungen im Bogen auf und der reichliche Betonquerschnitt vermag diese allein aufzunehmen. Die Rundeseisen sind daher nur zur Erhöhung der Sicherheit eingelegt, zum Schutz gegen rechnerisch nicht zu erfassende Spannungen, z. B.

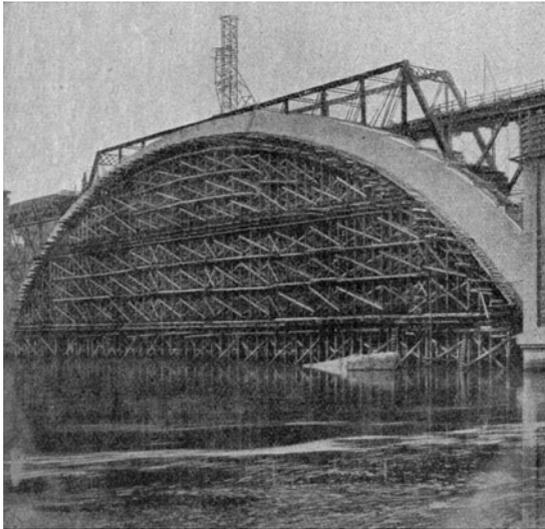


Abb. 3. Lehrgerüst Mississippibrücke Minneapolis, $l = 121,9$ m.

infolge ungenauer Bogenform oder ungleichmäßiger Setzung des Lehrgerüsts. Bei den als eingespannte Vollbögen ausgeführten großen Eisenbetonbrücken [Halenbrücke Bern (Abb. 2), Grundjetobalbrücke] geben außerdem die infolge Temperaturänderung und Schwinden besonders in der Nähe der Kämpfer auftretenden geringen Zugspannungen Anlaß zur Anordnung einer schwachen Eisenbewehrung. Es ist

klar, daß solche Bögen, bei denen die Eiseneinlagen statisch nicht erforderlich sind oder nur eine untergeordnete Rolle spielen, in bezug auf Spannweite den reinen Betonbögen nicht nennenswert überlegen sein können.

Zu dieser Gruppe von Brücken gehört auch die im Dezember 1923 dem Verkehr übergebene Mississippibrücke bei Minneapolis, obgleich hier das Gewölbe nicht auf die ganze Brückenbreite von 17,9 m durchgeht, sondern aus zwei je 3,65 m breiten Ringen besteht, die 7,62 m lichten Abstand von einander haben. Auch hier sind nach dem amerikanischen Bericht in Engineering News-Record die Eiseneinlagen rechnerisch nicht erforderlich, sondern die in einer Stärke von 0,8 vH des Querschnitts und in Form mächtiger genieteter Gitterträger eingelegte Bewehrung dient nur zur Erhöhung der Sicherheit¹⁰⁾.

Bei dem Lehrgerüst des Hauptbogens (Abb. 3) fällt die für unsere Begriffe sehr enge Teilung der Pfähle und Ständer auf, wodurch eine fast beängstigend starke Verbauung des Flußprofils entsteht. Das Bild läßt auch die alte eiserne Fachwerkbrücke erkennen, die durch das neue Bauwerk ersetzt werden soll.

Durch die Aufteilung des Bogens in zwei Ringe war es möglich, die Gewölbe an der alten Brückenstelle beiderseits neben der bestehenden Brücke auszuführen, die dabei während des Baues zum Materialtransport und zur Aufrechterhaltung des Fußgängerverkehrs dienen konnte. Die Spannweite des Hauptbogens beträgt rd. 122 m, die Pfeilhöhe 27,5 m. Scheitelstärke 2,44 m. Kämpferstärke 4,88 m. An die Hauptöffnungen schließen sich zwei Nebenöffnungen von je 60 m Weite an (Abb. 4). Es ist ein schönes Zeichen von der Wertschätzung technischer Arbeit in Amerika, daß die Brücke jetzt nach ihrem während der Ausführung verstorbenen Erbauer, Oberingenieur Cappelen, den Namen Cappelen-Memorial-Bridge trägt.

Etwas anders liegen zumeist die Verhältnisse bezüglich der Wirkung der Eiseneinlagen bei den Eisenbetonbrücken, bei denen der Gewölbequerschnitt in einzelne schmale Rippen — meist zwei — mit Querverbänden aufgelöst ist, wodurch an Eigengewicht der Brücke und an Widerlagermassen erheblich gespart wird. Hier genügt der verminderte Betonquerschnitt nicht mehr zur Übertragung der Druckkräfte, sondern es müssen kräftige Eiseneinlagen hinzutreten. Diese dienen überdies zur Aufnahme stärkerer Biegungsspannungen, die hier bei dem verminderten Eigengewicht durch den schon erheblichen Einfluß der Verkehrslasten hervorgerufen werden. Immerhin ist auch hier die Beanspruchung auf Druck in den Bögen vorherrschend, und das ist der Grund, weshalb die Eiseneinlagen nur unvollkommen ausgenutzt werden können. Entsprechend dem Verhältnis n der Elastizitätsmaße der beiden gemeinsam

¹⁰⁾ Allerdings sind bei der Berechnung wohl Temperatur- und Schwindspannungen nicht in der bei uns üblichen Weise berücksichtigt worden.

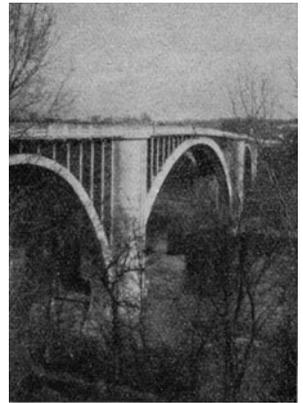


Abb. 4. Mississippibrücke Minneapolis. Mittelöffnung $l = 121,9$ m, Seitenöffnungen $l = 60$ m.

sich deformierenden Baustoffe Beton und Eisen kann die erreichbare Druckspannung des Eisens nur das n -fache der zulässigen Druckbeanspruchung des schwächeren Baustoffes, des Betons betragen. Für die in den Gewölben angewandten fetten Betonmischungen ist der Wert n kaum höher als 10 anzunehmen, so daß z. B. bei einer zulässigen Druckbeanspruchung des Betons von 50 kg/cm^2 die Höchstspannung des Eisens 500 kg/cm^2 nicht überschreiten kann, während man es ja an sich mit 1200 kg/cm^2 beanspruchen dürfte. Ist die Druckbeanspruchung exzentrisch, so wird das Verhältnis noch etwas ungünstiger, da die Eisen wegen des Rostschutzes nicht bis an den Rand des Betonquerschnitts gelegt werden können. Diese geringe Ausnutzungsmöglichkeit des Eisens ist neben der Gebundenheit an die großen hölzernen Lehrgerüste der Grund dafür, daß bis jetzt in der Steigerung der Spannweiten durch den Eisenbeton, selbst bei Auflösung in einzelne Bogenrippen, verhältnismäßig so wenig erreicht worden ist. In bezug auf weitgehende Gliederung, Massenersparnis und



Abb. 5. Talbrücke bei Langwies, Chur—Arosa-Bahn, $l = 100 \text{ m}$

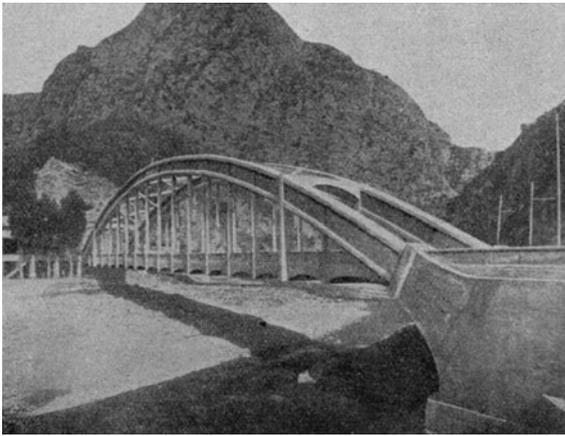


Abb. 6. Vesuviebrücke (Südfrankreich), $l = 96 \text{ m}$,

konstruktive Durchbildung bedeuten diese kühnen Rippenbögen natürlich einen erheblichen Fortschritt. Die Auflösung in zwei schmale Rippen ist angewandt bei dem zweitgrößten

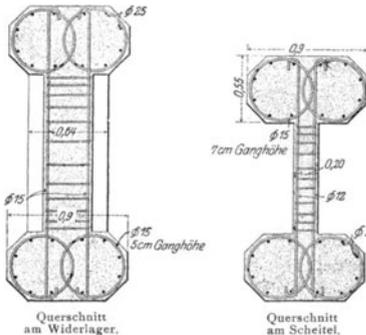


Abb. 7. Bogenquerschnitte der Vesuviebrücke.

reicht, dem bekannten Bauwerk im Zuge der elektrischen Bahn von Chur nach Arosa. Bei dieser in ihrer Gliederung fast schon an eine Eisenkonstruktion anklingenden Eisenbeton-

brücke (Abb. 5) ist die Pfeilhöhe fast gleich der halben Spannweite, so daß zum Bau des großen Bogens ein besonders kunstvolles, fächerförmiges Holzgerüst nötig war, das auf einem turmartigen, später auch wieder beseitigten Unterbau aus Eisenbeton aufruhete.

Das kühnste in Rippen aufgelöste Bauwerk ist zweifellos die gleichfalls 100 m weit gespannte „Brücke der Wiedergeburt“ in Rom, die in einem flachen Bogen von nur $\frac{1}{10}$ Stich den Tiber überspannt. Diese Brücke weist ein besonderes Konstruktionsprinzip auf, dessen Betrachtung hier zu weit führen würde, zumal es kaum Entwicklungsmöglichkeiten für größere Spannweiten in sich birgt, ja sogar nach deutscher Auffassung etwas gewagt erscheint. Näheres hierüber findet sich in dem ausgezeichneten Aufsatz von Marcus im „Armierten Beton“ 1911, wo nachgewiesen wird, daß dieses Bauwerk, ein Mittelding zwischen Bogen und eingespanntem Balken, an erheblichen statischen Unklarheiten leidet und sehr hohe Beanspruchungen unter dem Einfluß der Temperatur und des Schwindens erfahren muß.

V.

Die Aufteilung des Bogens in zwei Eisenbetonrippen ermöglicht nun auch, bei beschränkter Bauhöhe die Bogenrippen über die

Fahrbahn heraufzuführen und diese an die Rippen anzuhängen. Hat man diese Konstruktionsform bisher nur bei mittleren Spannweiten angewandt, so ist sie in neuester Zeit bei zwei sehr bemerkenswerten großen Eisenbetonbrücken in Frankreich zur Ausführung gekommen. Die eine ist die schon eingangs erwähnte Seinebrücke von 132 m Weite (Abb. 9), und die andere eine Straßenbrücke von 96 m Spannweite über den Vesuviefluß in Südfrankreich (Abb. 6). An beiden Brücken ist die Fahrbahn in der Nähe der Auflager durchschnitten, so daß sie nicht als Zugband auf die eingespannten Bögen wirkt. Bei der Vesuviebrücke sind die beiden ca. 7 m von einander entfernten Rippen von doppel-T-ähnlichem Querschnitt (Abb. 7) in umschürtem Beton ausgeführt, eine Konstruktion, die ja schließlich auch von dem

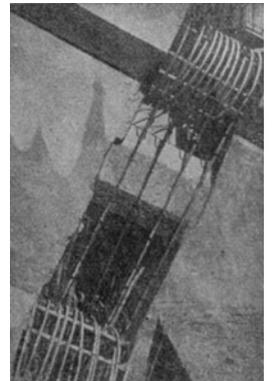


Abb. 8. Zeitweiliges Kämpfergelenk der Vesuviebrücke.

Bestreben ausgeht, die Wirkung der Eiseneinlagen zu steigern. Es ist allerdings zweifelhaft, ob bei dem hochwertigen Gewölbebeton und bei den doch auch vorhandenen Biegungsbeanspruchungen die durch die Umschnürung beabsichtigte Festigkeitserhöhung des Betons wirklich in vollem Maße eintritt¹¹⁾. Bemerkenswert ist bei dieser Brücke die Anordnung von drei zeitweiligen Gelenken nach Bauweise Considère in jeder der beiden Bogenrippen. Dabei ist die Gelenkwirkung durch eine weitgehende Einschränkung des Betonquerschnitts auf ein kurzes Stück erreicht; der verringerte Querschnitt von achteckiger Form besitzt eine sehr starke Spiralbewehrung und ist mit ca. 200 kg/cm² beansprucht (Abb. 8). Einige Zeit nach dem Ausrüsten wurden die Gelenkstellen voll ausbetoniert, so daß die beiden Rippen dann eingespannte Bögen bilden. Durch diese Maßnahmen wirkt die Brücke für die ständigen Lasten als statisch bestimmtes System, und es entfallen damit auch die Spannungen infolge des Schwindens während der ersten Zeit nach der Herstellung.

Die in 8,9 m Achsabstand von einander liegenden Rippen der Seinebrücke von St.-Pierre-du-Vauvray (Abb. 9) haben dagegen einen hohlen Rechteckquerschnitt, wodurch sie eine große Steifigkeit, besonders auch in horizontaler Richtung, erhalten (Abb. 10). Die mächtigen Bögen haben daher nur an zwei Stellen, in der Nähe der Auflager, etwa 5 m über der Fahrbahn, einen oberen Querverband. Die Wandungen der Hohlquerschnitte sind sehr dünn, ihre Bewehrung ist, wie der französi-

Die Ausrüstung der großen Bögen erfolgte, wie bei der eingangs genannten Lotbrücke bei Villeneuve, nach dem von Freyssinet angegebenen Verfahren mittels hydraulischer Pressen, die in eine Lücke im Scheitel des Gewölbes eingesetzt werden. Das Gewölbe muß dabei zur Aufnahme der starken örtlichen Druckbeanspruchungen beiderseits der Lücke aus hochwertigem Beton mit starker Bewehrung hergestellt sein. Durch die Pressen können nach Lage und Größe genau zu bestimmende Druckkräfte künstlich in das auf dem Gerüst liegende Gewölbe eingeleitet werden, die nicht nur ein Anheben der beiden Gewölbehälften und damit das Ausrüsten bewirken, sondern auch die ungünstigen Spannungen ausschalten, die bei Anwendung des gewöhnlichen Ausrüstungs-



Abb. 9. Seinebrücke bei St.-Pierre-du-Vauvray, l = 131,8 m.

verfahrens durch die Verkürzung des Bogens infolge der Wirkung der ständigen Last und infolge des Schwindens auftreten würden. Sind die Gewölbehälften etwas weiter angehoben als der rechnermäßig bestimmten Vergrößerung der Scheitellücke entspricht, so setzt man neben die Pressen Platten von der erforderlichen Stärke aus hochwertigem und kräftig bewehrtem Beton, die in Zementmörtel getaucht sind, und leitet den Druck auf diese Platten über, indem man das Wasser aus den hydraulischen Pressen abfließen läßt. Das Verfahren, das übrigens mit dem von dem deutschen Ingenieur Färber angegebenen Gewölbe-Expansionsverfahren identisch ist, kann als sehr aussichtsreich bezeichnet werden¹²⁾. Freyssinet meint, daß man es auch bei sehr großen Spannweiten erfolgreich anwenden kann, jedoch weist auch er darauf hin, daß die Entwicklung der weitgespannten Eisenbetonbrücken in erster Linie von der Frage der Lehrgerüste abhängt.

Bei dieser Seinebrücke ist das Lehrgerüst höchst eigenartig und kühn konstruiert. Es ruht nur auf vier Paaren von Ducd'alben, von denen zwei Paare im mittleren Teil des Flusses und zwei Paare in der Nähe der Ufer angeordnet sind. Stromauf und stromab von jedem Paar Ducd'alben ist zu seinem Schutze noch je ein weiteres Pfahlbündel eingerammt (Abb. 12). Von den beiden mittleren Ducd'alben-Paaren gehen je vier, von den beiden äußeren je drei hölzerne Fachwerkstreben nach jedem der beiden das eigentliche Lehrgerüst bildenden hölzernen Fachwerkbogen aus, so daß diese je insgesamt an 12 ungefähr gleich weit von einander entfernten Punkten unterstützt werden. Abb. 13 zeigt die Gesamtanordnung des Gerüsts und auch den für die Bauausführung verwendeten Kabelkran, während Abb. 12 die Art der Abstützung, den Querverband und das für das Freyssinetsche Verfahren charakteristische Fehlen von Absenkungsvorrichtungen erkennen läßt. Die einzelnen Teile des Gerüsts sind aus miteinander vernagelten Holzlamellen ohne Verwendung von Schraubenverbindungen zusammengesetzt. Nach Erhärtung der Bogenrippen wurde das Lehrgerüst abgebrochen und die angehängte Fahrbahn ohne festes Gerüst ausgeführt. Zu diesem Zwecke wurden die als Eisenbeton-Gitterträger aus-

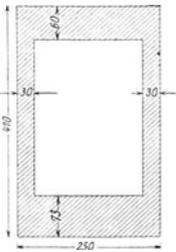


Abb. 10. Kämpferquerschnitt einer Bogenrippe der Seinebrücke bei St.-Pierre-du-Vauvray (ohne Einzeichnung der Bewehrung).

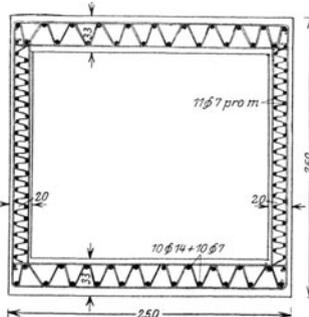


Abb. 11. Scheitelquerschnitt einer Bogenrippe der Seinebrücke bei St.-Pierre-du-Vauvray.

sche Bericht sagt, „verhältnismäßig wenig wichtig“, im Scheitel beträgt sie z. B. nur 0,3 vH des Querschnitts, und besteht aus schwachen Rundeseisen von 7 und 14 mm Dmr. (Abb. 11). Der Beton wurde im flüssigen Zustand in die engen Hohlräume eingebracht und durch Beklopfen der Schalung mit Preßlufthämmern verdichtet.

¹¹⁾ Nach einer Angabe von Prof. Hawranek in den Mitt. des Deutschen Ing.-Ver. in Mähren haben Versuche anlässlich des Baues der Hindenburgbrücke in Breslau gezeigt, daß ein Beton von 300 kg/cm² Festigkeit infolge der Umschnürung nur eine 10 vH größere Festigkeit erreichte, während ein Beton von bloß 137 kg/cm² Festigkeit durch Umschnürung eine Steigerung der Festigkeit um 132 vH erfuhr.

¹²⁾ Eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens findet sich in Le Génie Civil 1921, 2. Halbjahr, 5—7, auch in einem Aufsatz von Eisen über „Bemerkenswerte Brückenausführungen des Auslandes in Eisenbeton“, Betonbeilage der Deutschen Bauztg. 1921, Nr. 18, ist es besprochen. Freyssinet hat nach seinen Angaben das Verfahren bereits 1908 angewandt, während die Patentanmeldung der Firma Buchheim & Heister für das Färbersche Gewölbe-Expansionsverfahren im Oktober 1912 erfolgt ist.

gebildeten Querträger am Lande hergestellt, mittels Pontons unter die Bogenrippen gefahren, sodann hochgezogen und an die Hängestangen befestigt. Die Fahrbahntafel selbst



Abb. 12. Teilansicht des Lehrgerüsts der Seinebrücke bei St.-Pierre-du-Vauvray.

wurde unter Verwendung hölzerner Hängegerüste betonierte, die zwischen die Querträger eingebaut waren. In dem Bericht des Génie Civil 1923, Bd. 83, über diesen Brückenbau ist

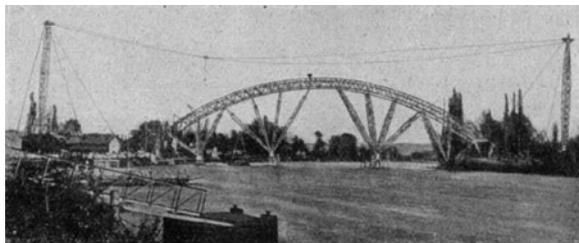


Abb. 13. Gesamtansicht des Lehrgerüsts der Seinebrücke bei St.-Pierre-du-Vauvray.

übrigens nichts von dem unter III. mitgeteilten Einsturz dieses Lehrgerüsts erwähnt. Es ist daher auch nicht festzustellen, ob das Gerüst nach dem Einsturz verstärkt wurde und ob die Abb. 12 u. 13 vor oder nach dem Einsturz und Wiederaufbau aufgenommen worden sind.

VI.

Betrachtet man noch kurz einige der nicht ausgeführten Entwürfe großer Eisenbetonbrücken, so findet man das System der über die Fahrbahn hinaufreichenden Bogenrippen auch bei dem in der Gesamtwirkung vortrefflichen Entwurf angewandt, den Professor Linton von der Stockholmer Technischen Hochschule bei dem internationalen Wettbewerb für die Überbrückung der Arstabucht bei Stockholm 1919 eingebracht hat. Der Entwurf sieht zur Freihaltung des vorgeschriebenen Durchfahrtsprofils für die Schifffahrt einen in zwei Rippen aufgelösten Eisenbetonbogen von 170 m Spannweite vor. Allerdings hat der eigentliche Bogen, ein Dreigelenkbogen,

zwischen den Seitengelenken nur 96 m Spannweite und stützt sich auf 37 m lange, in den Widerlagern eingespannte und verankerte bogenförmige Kragarme¹³⁾. Die Fahrbahntafel für zwei Eisenbahngleise ist im mittleren Teil von den zwei Bogenrippen aufgehängt, während sie auf die Konsolteile abgestützt ist.

Sehr erschwerend war bei diesem Wettbewerb für die Eisenbetonentwürfe, daß für sie eine durchgehende Kiesbettung von 1,5 m Stärke verlangt war, was z. B. bei dem Lintonschen Entwurf ein Fahrbahngewicht von rd. 4,5 t/m² bedingte, gegenüber etwa 1,5 t/m² Verkehrslast. Das Preisgericht, das diesen Entwurf in architektonischer Beziehung an die Spitze aller Entwürfe stellte, hielt die Ausführung eines so großen Eisenbetonbogens nach dem Stande der Technik für ein Wagnis, es beanstandete die allzu dichte als Spiralbewehrung angeordnete Armierung der Bögen — richtiger wäre wohl bei solchen Bogenquerschnitten (Abb. 14) das Bedenken gegen die Spiralbewehrung überhaupt — und bezweifelte die Zuverlässigkeit des Lehrgerüsts, namentlich die Knicksicherheit der 24 m langen Grundpfehle des Untergerüsts. Es erscheinen also auch hier die Sicherheitsfrage des Lehrgerüsts und die Wirkungsweise der Eiseneinlagen als Hindernisse für die Ausführung eines so großen Eisenbetonbogens.

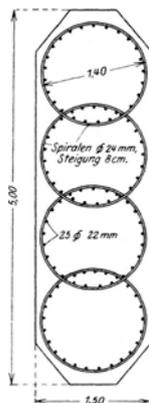


Abb. 14. Querschnitt einer Bogenrippe vom Entwurf der Arstabücke.

Die gleiche Spannweite von 170 m und rd. $\frac{1}{6}$ Stich zeigt ein französischer Entwurf für eine Kleinbahnbrücke über den Bernand, einen Nebenfluß der Loire. Der Bau dieser Brücke, die Abb. 15 im Modell zeigt, wurde 1914 begonnen, jedoch schon bei den Gründungsarbeiten durch den Krieg unterbrochen und seitdem nicht wieder aufgenommen. Die Ausführung des großen gelenklosen Bogens war gleichfalls mit Hilfe hydraulischer Pressen nach dem



Abb. 15. Modell des Entwurfes der Bernandbrücke, $l = 170$ m.

Verfahren von Freyssinet vorgesehen; etwas bedenklich erscheint hier die sehr geringe Breite der Brücke im Scheitel von nur 4 m¹⁴⁾.

Die größte bisher in Eisenbeton geplante Spannweite, 216 m bei $\frac{1}{4}$ Pfeilverhältnis, weist ein bereits aus dem Jahre 1907 stammender Entwurf einer monumental Bogenbrücke über den Harlemfluß bei New-York auf, die zugleich als ein Denkmal für Henry Hudson geplant ist. Sie soll in zwei Stockwerken unten vier Schnellbahngleise und darüber eine 21 m breite Straße tragen, deren Fahrbahn 66 m über dem Spiegel des Stromes liegt. Das Bauwerk ist für unsere heutigen Begriffe reichlich schwer konstruiert, die Stärke des gelenk-

¹³⁾ Vgl. Der Bauingenieur 1920, Heft 2 u. 15.

¹⁴⁾ Im Génie Civil vom 8. März 1924 ist ein weiterer, sehr bedeutender Entwurf von Freyssinet kurz beschrieben. Die Brücke soll drei eingespannte Eisenbetonbögen von 180 m Stützweite und 33 m Pfeilhöhe erhalten und in zwei Stockwerken eine Straße und eine Eisenbahn über den Elorn, einen Meeresarm bei Brest, führen.

losen Bogens beträgt im Scheitel 4,5 m, im Kämpfer 8,5 m. Die zulässige Beanspruchung der Eiseneinlagen ist auch bei diesem Entwurf bei weitem nicht ausgenutzt; sie sind nur mit 500 kg/cm² beansprucht, während die größte Druckspannung im Beton 53 kg/cm² beträgt. Es ist dem Verfasser nicht bekannt, ob man in neuerer Zeit den Gedanken der Ausführung dieses Entwurfs wieder aufgenommen hat.

Zur Beurteilung der vorgeführten Entwürfe ersieht man aus der Zusammenstellung S. 2 unter B, daß die Werte $\frac{l^2}{f}$ bei ihnen unter der Zahl 1000 bleiben und sich also auch nicht allzu sehr über die Höchstzahl 650 bei Beton- und Mauerwerkbrücken erheben. Bei den drei in der Tabelle noch angeführten Schweizer Entwürfen von steilen Brücken ist die Ziffer k dagegen erheblich kleiner als 650. Es darf schon hier auf den später unter X beschriebenen Entwurf einer Elbbrücke in Dresden hingewiesen werden, der bei 136 m Spannweite und $\frac{1}{15}$ Stich mit der Zahl k = 2040 alle bisherigen Eisenbetonentwürfe an Kühnheit weit übertrifft.

VII.

Überblickt man das Gesamtbild der neueren Entwicklung in Bau und Entwurf weitgespannter Eisenbetonbrücken, wie es in Abschnitt I bis VI gegeben wurde, so erkennt man bei aller Würdigung der geleisteten hervorragenden Ingenieurarbeit deutlich zwei Umstände, die als Hindernisse für den Fortschritt in Erscheinung treten: Die ungenügende Ausnutzung der Eisen in den hauptsächlich auf Druck beanspruchten großen Gewölben und die Schwerfälligkeit, Unwirtschaftlichkeit, ja Gefährlichkeit der mächtigen hölzernen Lehrgerüste, die für die Bauausführung nötig sind. So erklärt es sich, daß die beiden bisher in Eisenbeton erreichten größten Spannweiten von 122 m und 132 m nicht sehr erheblich über das Höchstmaß von 90 m bei Gewölben in Mauerwerk und von 98 m bei Betongewölben hinausgehen.

Möglichkeiten zur Vermeidung der erwähnten Nachteile und damit zu weiteren Fortschritten bei weitgespannten Eisenbetonbogenbrücken liegen in einer Ausführungsform des bekannten Systems Melan, die allerdings bis jetzt nur für kleinere und mittlere Spannweiten angewandt worden ist. Allgemein werden ja bei Eisenbetonbrücken nach System Melan, wie sie seit 1892 vielfach in Europa und sehr zahlreich in Amerika erbaut worden sind, als Bewehrung der Gewölbe nicht die sonst üblichen Rundeseisen, sondern steife, genietete eiserne Gitterbögen verwendet, die an sich schon eine beträchtliche Tragfähigkeit besitzen. Die Einführung und erste Entwicklung des Systems Melan in Amerika ist ein Verdienst des Oberbauers Emperger; man schätzt die Zahl der dort bis jetzt nach diesem System überbrückten Öffnungen auf über 5000, auch die in Abschnitt IV beschriebene größte amerikanische Eisenbetonbrücke, die Cappenbrücke in Minneapolis, ist infolge ihrer steifen Bewehrung zu ihnen zu rechnen.

Bei der besonderen Ausführungsform der Melanbrücken, die hier in Frage kommt, wird die Schalung für das Gewölbe an die vorher montierten eisernen Gitterbögen angehängt, die dabei so stark ausgebildet sein müssen, daß sie neben ihrem Eigengewicht das der Schalung und des Gewölbebetons tragen und außerdem später noch als Eiseneinlagen in der Verbundkonstruktion dienen können. Auf diese Weise kann man das Lehrgerüst ersparen, da sich die eisernen Gitterbögen frei auskragend vom Widerlager her oder höchstens mittels eines leichten Montagegerüsts aufstellen lassen. Außerdem ist damit noch der Vorteil verbunden, daß der Gewölbebeton von seinen Eigengewichtsspannungen freigehalten und daher durch die Armierung hier weit stärker entlastet wird, als bei gewöhnlichen, mit Rundeseisen bewehrten Bögen. Die als Gitterbögen ausgebildeten Eiseneinlagen können dagegen höher als sonst beansprucht und also wesentlich besser ausgenutzt werden, weil sie als reine Eisenkonstruktion durch ihr eigenes Gewicht und durch das des Gewölbebetons eine beträchtliche

Vorspannung, z. B. etwa 700 kg/cm² Druckspannung, erhalten, bevor sie als Bewehrung des Eisenbetongewölbes zur Wirkung kommen. In der Verbundkonstruktion, die nur noch die Aufbauten auf dem Gewölbe, die Fahrbahn und die Verkehrslasten zu tragen hat, werden die Eiseneinlagen dann, unter Annahme von $\frac{E_e}{E_b} = n = 10$, weiter mit dem Zehnfachen der zulässigen Betondruckspannung, also z. B. mit 500 kg/cm² beansprucht, sodaß sie im ganzen einschließlich der Vorspannung eine größte Druckspannung von ca. 1200 kg/cm² erhalten und also voll ausgenutzt sind. Hierdurch kann wesentlich an Betonquerschnitt, an Eigengewicht der Brücke und an den Massen der Widerlager gespart werden, was zusammen mit dem Wegfall des Lehrgerüsts beträchtliche wirtschaftliche Vorteile bietet, selbst wenn man einen Mehraufwand an Material und Löhnen bei den eisernen Gitterbögen in Rechnung stellt.

Nach dem System Melan mit Vorspannung sind schon eine Reihe von Eisenbetonbogenbrücken erbaut worden, neuerdings z. B. in Springfield (Nord-Amerika) eine 24 m breite Straßenbrücke¹³⁾ über den Connecticut-Fluß mit 7 Öffnungen von 33 bis 54 m Spannweite. Die Bewehrung der in 5 Rippen aufgelösten Gewölbe bilden dabei eiserne Dreiecksbögen, deren Scheitelgelenke nach der Betonierung der Fahrbahn geschlossen wurden; die Vorspannung der Eisen beträgt 690 kg/cm², ihre Gesamtspannung in der fertigen Eisenbetonkonstruktion 1173 kg/cm². Nach dem amerikanischen Bericht entschied man sich hier für die steifbewehrten Bögen mit Vorspannung nicht nur wegen der durch Vergleichsentwürfe festgestellten wirtschaftlichen Vorteile, sondern auch wegen der Schnelligkeit und Leichtigkeit der Aufstellung sowie wegen des Wegfalls der Gefahren, denen ein Lehrgerüst durch Hochwasser und Eisgang gerade beim Connecticut-Fluß besonders ausgesetzt gewesen wäre.

Ein älteres Bauwerk dieser Art ist die 1911 erbaute Straßenbrücke in Fitchburg, deren Hauptöffnung von 62,4 m Lichtweite durch zwei Bogenträger mit angehängter Fahrbahn gebildet wird¹⁴⁾. Außer der Bewehrung der beiden Bogenrippen ist hier auch diejenige der Fahrbahnquerträger in genieteter Eisenkonstruktion ausgeführt, ebenso bestehen die Hängestangen aus Profileisen. Abb. 16 zeigt den einen Hauptträger bereits betoniert, was übrigens wegen der dadurch hervorgerufenen Verbiegung der Querverbände kein ganz einwandfreies Bauverfahren ist. Der Querschnitt einer Bogenrippe, Abb. 17, läßt erkennen, wie die Schalung für den

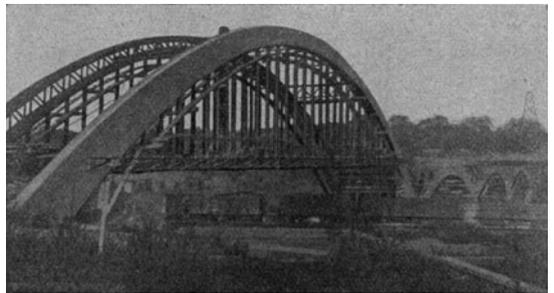


Abb. 16. Straßenbrücke in Fitchburg, l = 62,4.

Beton an die eisernen Gitterbögen mittels Schrauben angehängt und durch Betonklötze gegen sie verspannt ist. Die Breite einer

¹³⁾ Vgl. Eng. News Record 1922, Bd. 88, Nr. 13, auszugswise auch Zeitschrift des Vereins Deutscher Ing. 1922, Nr. 36, sowie Melan, Der Brückenbau, II. Bd., 3. Aufl., S. 314.

¹⁴⁾ Vgl. Eng. Record, März 1912 und Januar 1913, sowie Eng. News, März 1913; Beton und Eisen, 1913, S. 151, auch Melan, Der Brückenbau, II. Bd., 3. Aufl., S. 313.

Rippe beträgt 0,76 m, ihre Höhe verringert sich von 2,54 m im Kämpfer auf 1,22 m im Scheitel, wo die Bewehrung den hohen Betrag von 3,9 vH des Betonquerschnittes erreicht.

Das eindrucksvollste Beispiel eines steifbewehrten Bogens mit gerüstloser Ausführung ist die nach Melans eigenen Plänen erbaute Straßenbrücke über die Grande Eau, einen Nebenfluß der Rhône, bei Les Planches in der Südschweiz¹⁵⁾.

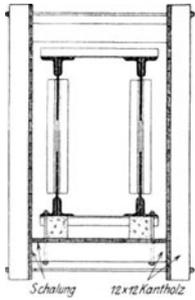


Abb. 17. Straßenbrücke in Fitchburg. Anhängung der Schalung an die Eisenkonstruktion.

Die Brücke (Abb. 18) hat einen Vollbogen von 63,6 m Weite und 1:5 Stich, dessen Scheitel 75 m über der Sohle einer tiefen Schlucht liegt, so daß die Gerüstfrage für die Kosten und für die Sicherheit der Ausführung ausschlaggebend war. Abb. 19 zeigt die fertig aufgestellten Gitterträger, die als Dreiecksbögen ausgebildet sind und 1,4 m Abstand von einander haben; außerdem ist auf dem Bilde das leichte Montagegerüst zu erkennen, das bereits wieder abgebrochen wird. Nach

Erhärtung des Gewölbebetons und Vollendung des Überbaues erfolgte das Ablassen der an die Gitterbögen befestigten Schalung mit Hilfe eines fliegenden Gerüsts, das an einem auf der Brückenfahrbahn längsbeweglichen Portalkrahn angehängt war. Die Vorspannung in den Eisenbögen ist hier zu 685 kg/cm² gewählt; die größten Druckspannungen in der fertigen Verbundkonstruktion sind 65 kg/cm² beim Beton und 1200 kg/cm² bei den Eisen, sodaß für beide Baustoffe eine volle Materialausnutzung erreicht ist.

Daß dieses Gewölbe (Abb. 18) hoch über der Talschlucht ohne Lehrgerüst ausgeführt werden konnte, ist ein erheblicher bautechnischer Fortschritt, der noch besonders in die Augen springt, wenn man sich die schwierigen und



Abb. 18. Brücke über die Grande Eau bei Les Planches, l = 63,6 m.

kunstvollen Gerüste vergegenwärtigt, die sonst bei ähnlichen gewölbten Brücken über tief eingeschnittene Täler erforderlich waren.

Bei der Brücke über die Grande Eau wurde durch den Wegfall des Lehrgerüsts unter Berücksichtigung der Mehrkosten der eisernen Gitterträger gegenüber Rundeiseneinlagen, ca.

60 000 Frcs. das sind 30 vH der Gesamtbausumme von 200 000 Frcs. gespart. Fast stärker noch als dieser wirtschaftliche Effekt ist die Erhöhung der Sicherheit während des Baues zu bewerten, die durch die Unabhängigkeit von den Schwächen und Gefahren der hölzernen Lehrgerüste erreicht wurde.

VIII.

Der Ausführungsform des Systems Melan mit Vorspannung ist nach Ansicht des Verfassers, namentlich in Europa, bisher zu wenig Beachtung geschenkt worden. Für Eisenbetonbögen großer Spannweite, bei denen sie hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Sicherheit beträchtliche Vorteile bieten würde,

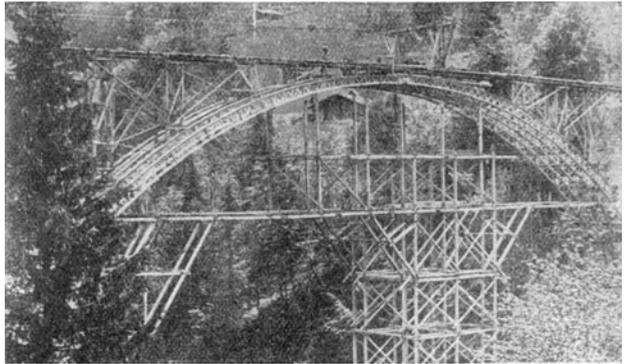


Abb. 19. Brücke über die Grande Eau bei Les Planches. Eiserner Gitterbogen aufgestellt, Montagegerüst im Abbruch.

ist sie überhaupt noch nicht zur Anwendung gekommen. Daß hierfür allerdings vielleicht noch ein besonderer Grund ausschlaggebend war, geht aus den folgenden Überlegungen hervor, die wohl schon von manchem Konstrukteur angestellt aber bisher noch nicht ausgesprochen worden sind. Es wird sich dabei zeigen, daß man auf eine grundsätzliche Schwierigkeit stößt, wenn man das System auf große Spannweiten anwenden will.

In Abb. 20 ist der Betonierungsvorgang für ein größeres Melangewölbe mit angehängter Schalung schematisch dargestellt. Die Betonierung erfordert längere Zeit und muß daher wie bei allen größeren Gewölben in einzelnen Lamellen erfolgen, deren Abmessungen sich im allgemeinen nach der Tagesleistung des Betonbetriebes richten, während ihre Lage und Reihenfolge so gewählt wird, daß günstige Teilbelastungen für die eisernen Gitterbögen entstehen. Auch bei der Brücke über die Grande Eau war eine größere Anzahl solcher Lamellen symmetrisch zum Bogenscheitel angeordnet; die Betonierung des ganzen 64 m weit gespannten Bogens nahm rund 2 Wochen in Anspruch.

Es zeigt sich nun, daß es bei dem sukzessiven Aufbringen der Betonlamellen nicht möglich ist, den eisernen Gitterträgern die beabsichtigte Vorspannung zu erteilen, ohne daß auch die einzelnen an ihnen hängenden Betonlamellen eine mehr oder weniger große Vorspannung erhalten. Das ist aber unerwünscht und steht in einem gewissen Widerspruch zu dem Grundgedanken dieser Ausführungsform des Systems Melan, die ja ihren Vorteil gerade darin sucht, zwecks Entlastung des Betons dem Eisen allein eine Vorspannung zu erteilen und den Beton des Bogens frei von Eigengewichtsspannungen zu halten, damit er später nach Schluß des Bogens gemeinsam mit dem Eisen als Verbundkonstruktion zum Tragen des Gewölbeüberbaues und der Verkehrslasten entsprechend seiner zulässigen Beanspruchung voll ausgenutzt

¹⁵⁾ Vgl. Zeitschrift für Betonbau 1914, Heft 2 u. 3, sowie Melan, Der Brückenbau, Bd. II, 3. Aufl., S. 307.

werden kann. Die Vorspannung im Beton rührt daher, daß das Aufbringen einer jeden Lamelle Beton einen Spannungs-

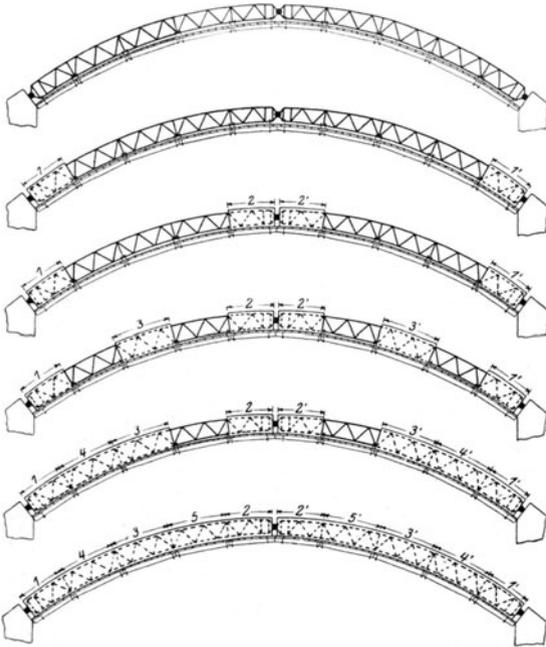


Abb. 20.
Schematische Darstellung des Betonierungsvorganges bei einem steifbewehrten Gewölbe mit angehängter Schalung.

zuwachs in den eisernen Gitterbögen und damit auch eine Deformation dieser Bögen bewirkt, von der auch der Beton in Mitleidenschaft gezogen wird.

Da ein solches Eisenbetongewölbe, allein schon wegen des Rostschutzes, aus einem zementreichen Beton hergestellt wird, der bereits nach wenigen Tagen eine beträchtliche Festigkeit erlangt und am Eisen haftet, so wird der Beton, der zuerst hergestellten Lamellen (z. B. 1-1') schon sehr bald an den Deformationen der Eisenbögen infolge des Aufbringens der folgenden Lamellen teilnehmen und dabei je nach dem Grade seiner Erhärtung Spannungen erleiden. Je früher eine Lamelle eingebracht worden ist, um so mehr Vorspannung wird sie beim Schluß des Bogens besitzen; nur die letzte Lamelle ist sicher spannungsfrei. Umgekehrt wird die Vorspannung im Eisen nur im Bereich der letzten Lamelle den vollen beachteten Wert erreichen und nach den zuerst eingebrachten Lamellen hin entsprechend abnehmen. Genau läßt sich die Spannungsverteilung im Beton nicht verfolgen, schätzungsweise kann man jedoch unter Annahme rein zentrischer Beanspruchung den Grenzwert σ_{e1} ermitteln, dem sich die Vorspannung in der ersten Betonlamelle bei abnehmender Größe dieser Lamelle und wachsender Lamellenzahl nähert. Bezeichnet man an dieser Stelle den Betonquerschnitt mit F_b , den Eisenquerschnitt mit F_e und die beabsichtigte Vorspannung im Eisen mit σ_{e1} , so folgt:

$$\sigma_{b1}(F_b + n F_e) = \sigma_{e1} \cdot F_e,$$

oder:

$$\sigma_{b1} = \frac{\sigma_{e1} F_e}{n + \frac{F_e}{F_b}} = \frac{\sigma_{e1}}{n + \frac{1}{\mu}},$$

wobei μ die Bewehrungsziffer angibt und für $n = \frac{E_e}{E_b}$ ein dem

mittleren Erhärtungszustand des Betons entsprechenden Wert anzunehmen ist. Die Vorspannung im Beton wird also um so größer, je höher die Vorspannung im Eisen und der Bewehrungsprozentsatz gewählt wird. Außerdem wächst sie mit abnehmendem n , also mit zunehmendem E_b , das heißt je mehr Zeit die Betonierung des Bogens erfordert. Bei kleineren und mittleren Bögen wird man n etwa zu 30-25 schätzen können, auch erreichen hier Vorspannung im Eisen und Bewehrungsziffer meist nicht sehr hohe Werte, so daß man den Vorspannungen im Beton keine besondere Bedeutung beizulegen braucht. Für die Grande-Eau-Brücke errechnet sich z. B. mit $\sigma_{e1} = 685 \text{ kg/cm}^2$ und $\mu = 0,015$ unter Annahme eines $n = 25$ der Grenzwert σ_{b1} für die Vorspannung im Beton zu etwa 7 kg/cm^2 .

Anders liegen jedoch die Verhältnisse bei sehr großen Spannweiten, bei denen man zumeist Rippenbögen mit hoher Bewehrungsziffer, eine hohe Vorspannung und überdies vielleicht hochwertigen, schnell erhärtenden Zement anwenden wird. Bei einer Vorspannung von $\sigma_{e1} = 1200 \text{ kg/cm}^2$, die unter den im folgenden Abschnitt angegebenen Bedingungen bei Stahleinlagen möglich und zweckmäßig ist, und bei $\mu = 0,04$ ergibt sich z. B. mit $n = 15$ ein Grenzwert $\sigma_{b1} = 30 \text{ kg/cm}^2$ für die Vorspannung im Beton. Wenn man hier diese Vorspannung nicht berücksichtigt, so entstehen zweifellos unzulässige Spannungsüberschreitungen im Beton; andernfalls geht dieser Spannungsbetrag für die Ausnutzung des Betons in der Verbundkonstruktion verloren.

Auf diese Schwierigkeiten und diese Unklarheiten in der Spannungsverteilung stieß der Verfasser zuerst bei der Aus-

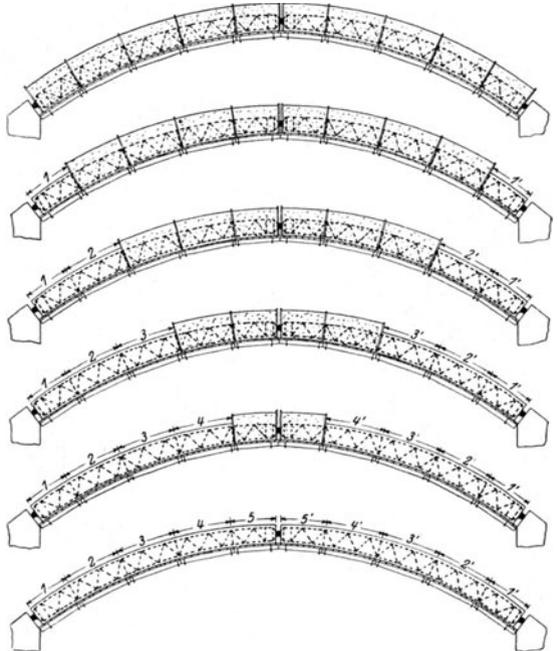


Abb. 21.
Schematische Darstellung des Bauverfahrens zur Erzielung einer einwandfreien Vorspannung bei steifbewehrten Gewölben großer Spannweite.

arbeitung des bereits erwähnten Wettbewerbsentwurfes für eine große, flache Strombrücke über die Elbe in Dresden. Bei diesem Anlaß ist es aber auch gelungen, durch das in Abb. 21

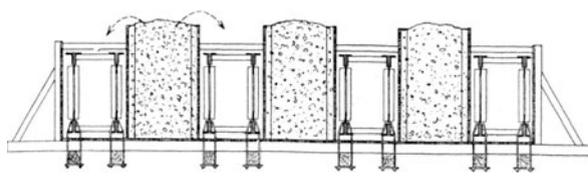


Abb. 22. Aufbringung der Vorbelastung aus Kiesmaterial zwischen den eingeschalteten Bogenrippen eines steifbewehrten Gewölbes großer Spannweite.

schematisch dargestellte Bauverfahren¹⁶⁾ eine einfache Lösung zu finden, die alle Bedenken beseitigt.

Genau in derselben Lamellenteilung und in derselben Reihenfolge, wie man nach Abb. 20 die Betonlamellen her-

und damit auch die Vorspannung der Eisenbögen konstant, so daß keinerlei Deformationen und Spannungen auf den Beton übertragen werden können und dieser also tatsächlich vollkommen spannungsfrei eingebracht wird. Die Reihenfolge der Betonierung ist hierbei ganz beliebig, da eben die Gesamtbelastung des Bogens immer konstant ist; in Abb. 21 ist z. B. angenommen, daß von den Kämpfern nach dem Scheitel zu betoniert wird.

Die Mehrkosten infolge des neuen Verfahrens sind nicht bedeutend, handelt es sich doch auch bei sehr großen Brücken im wesentlichen darum, ca. 2—3000 cbm Kiesmaterial einzubringen und wieder herauszuheben. Das sind also in der Hauptsache Lohnaufwendungen, die z. B. gegenüber den Materialkosten für einen solchen Brückenbau nicht ins Gewicht

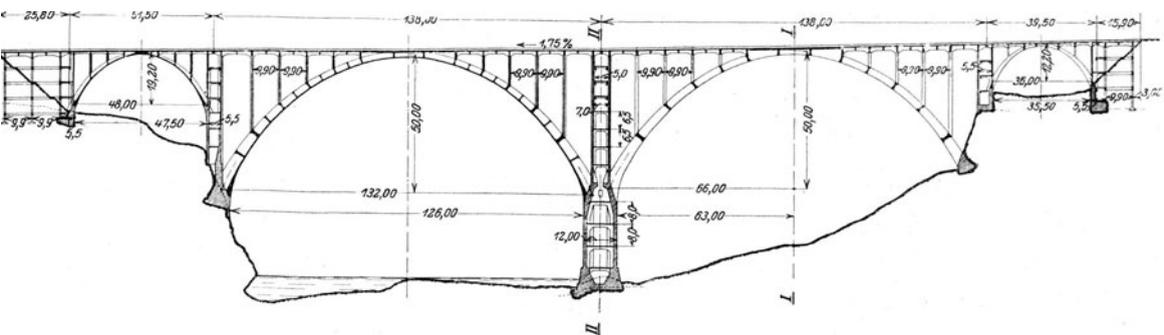


Abb. 23. Entwurf für die Péroles-Brücke in Freiburg (Schweiz).

stellen würde, wird hier auf die an den eisernen Gitterbögen angehängte Schalung die gleiche Belastung, aber zu nächst in der Form von Betonrohmaterial, also etwa Sand und Kies, aufgebracht. Dadurch erhalten die Eisen genau die beabsichtigte rechnungsmäßige Vorspannung, während der Beton des Gewölbes noch nicht vorhanden ist und daher auch durch die Deformationen der Gitterbögen nicht in Mitleidenschaft gezogen wird. Nunmehr kann die Betonierung erfolgen, indem man abschnittsweise, z. B. in einer Lamelle oder in noch kleineren Teilen, das Rohmaterial entfernt und durch Beton ersetzt. Wenn man hierbei immer den gleichen Gewichtsbetrag Rohmaterial wegnimmt, der dem aufzubringenden Beton gewicht entspricht, so bleibt die Vorbelastung

fallen. Die Lagerung des Kiesmaterials wird man bei den für große Spannweiten meist in Frage kommenden Rippenbögen zweckmäßigerweise nach Abb. 22 in den Zwischenräumen

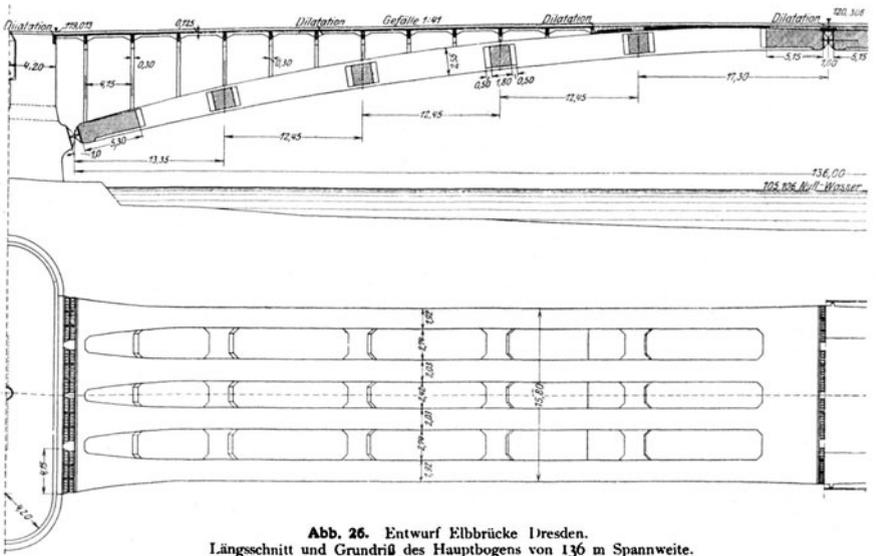


Abb. 26. Entwurf Elbbrücke Dresden. Längsschnitt und Grundriß des Hauptbogens von 136 m Spannweite.

¹⁶⁾ Auf das Verfahren ist dem Verfasser s. Zt. ein Deutsches Reichspatent erteilt worden. Da dieses Patent in erster Linie den unter Leitung des Verfassers von der Firma Dyckerhoff u. Widmann A. G. ausgearbeiteten Brückentwurf gegenüber der Konkurrenz schützen sollte und die Aus-

führung dieses Entwurfes infolge der veränderten wirtschaftlichen Verhältnisse auf lange Zeit ausgeschlossen erscheint, ist das Patent im Einvernehmen mit der Firma Dyckerhoff u. Widmann A. G. neuerdings fallengelassen worden.

zwischen den eingeschalteten Bogenrippen vornehmen. Wie man sonst das Bauverfahren im einzelnen durchführt, ist eine Aufgabe des praktischen Baubetriebes, z. B. wird man etwa einen Kabelkran verwenden und vielleicht mit Betonmaschinen arbeiten, die fahrbar auf dem Brückenbauwerk angeordnet sind.

IX.

Das angegebene Bauverfahren darf als eine Vervollkommnung des Systems Melan für große Spannweiten bezeichnet werden; es ermöglicht nun auch hier die Vorspannung der Eisen mit ihren wirtschaftlichen und konstruktiven Vorteilen in einwandfreier Weise anzuwenden. Diese Vorteile sind für weitgespannte Bögen besonders groß; neben der Ersparnis an Lehrgerüst, an Bogen- und Widerlagermassen gewinnt hier vor allem die Erhöhung der Sicherheit während des Baues entscheidende Bedeutung. Tatsächlich wird die Ausführung eines großen Eisenbetonbogens damit im Prinzip zurückgeführt auf die viel einfachere und sichere Montage einer eisernen Bogenbrücke, wofür im Eisenbau hochentwickelte und gut durchdachte Methoden vorhanden sind. Außerdem besitzen solche Melanbögen mit Vorspannung auch den allgemeinen Vorzug der steifen Bewehrung für weitgespannte Gewölbe, den Prof. Mörsch¹⁷⁾ treffend mit den Worten kennzeichnet: „Bei sehr großer Spannweite geben die einzubetonierenden eisernen Gitterbögen eine Gewähr für die Einhaltung der richtigen Form des Gewölbes, die von großer Wichtigkeit ist und mit hölzernen Lehrgerüsten allein nur bei peinlichster Sorgfalt erreicht werden kann.“

Mit Hilfe des neuen Bauverfahrens läßt sich aber noch ein besonderer Fortschritt in der Ausbildung von weitgespannten Melanbögen mit Vorspannung erzielen. Da man die Eisen nunmehr ohne Bedenken wegen der Spannungsverteilung im Beton voll ausnutzen kann, so ist es möglich, ja sogar zweckmäßig, bei sehr großen Spannweiten die Beanspruchungen der Eisen zu steigern. Damit kommt man zu der Verwendung von hochwertigem Stahl für die Gitterbögen, etwa von hochgeköhltem Siemens-Martin-Flußstahl, von Nickelstahl oder Nickelchromstahl mit einer Bruchfestigkeit von ca. 6000 kg/cm² und einer Quetschgrenze von ca. 3800 kg/cm². Bei der Wahl einer höheren Vorspannung σ_1 ist besonders zu beachten, daß die zulässige Knickspannung in den Gitterbögen nicht überschritten wird. Für weitgespannte flache Bögen wird dabei die mögliche Vorspannung in der Regel begrenzt durch die Knicksicherheit der Gitterbögen in ihrer Tragwandebene, weil hier meist ein großer Schlankheitsgrad vorhanden ist. Man wird in solchen Fällen die Bogenstärke zweckmäßig so wählen, daß ein Schlankheitsgrad von $\lambda = 80$ für die eisernen Gitterbögen nicht überschritten wird.¹⁸⁾ In diesem ungünstigen Grenzfall kann man dann noch eine Vorspannung von 1000 bis 1200 kg/cm² anwenden und wahrt damit bei dem hochwertigen Stahl eine dreifache bis zweieinhalbfache Knicksicherheit, was etwa der Vorschrift der deutschen Reichsbahn bei Belastung durch Haupt-, Wind- und Zusatzkräfte für $\lambda = 80$ entspricht und auch bei der Vorbelastung der Gitterbögen als ausreichend erscheint, da es sich hier um einen vorübergehenden Bauzustand handelt. Die Gesamtbeanspruchung der Stahleinlagen in der Verbundkonstruktion kann dann bei einem hochwertigen

Beton unter Annahme von $n = \frac{E_s}{E_b} = 10$ bis etwa 1800 kg/cm² gesteigert werden. Daß damit die rationelle Verwendung von hochwertigem Flußstahl für weitgespannte Eisenbetonbögen gegeben ist, bietet für den Eisenbetonfachmann besonderes Interesse, da bisher in unseren Eisenbetonbogenbrücken wegen der beschränkten Ausnutzung

¹⁷⁾ Vgl. Mörsch, Der Eisenbetonbau, IV. Aufl., S. 567.

¹⁸⁾ Für einen flachen Dreigelenkbogen entspricht dies im Viertel der Spannweite l einer Fugenstärke von $d = \frac{1}{60}$ bis $\frac{1}{50} l$. Dabei ist zu beachten, daß hier für die Schenkel eines flachen Dreigelenkbogens als freie Bieglänge angenähert $0,64 l$ einzuführen ist (vgl. K. Mayer, Die Knickfestigkeit, Berlin, J. Springer, S. 155).

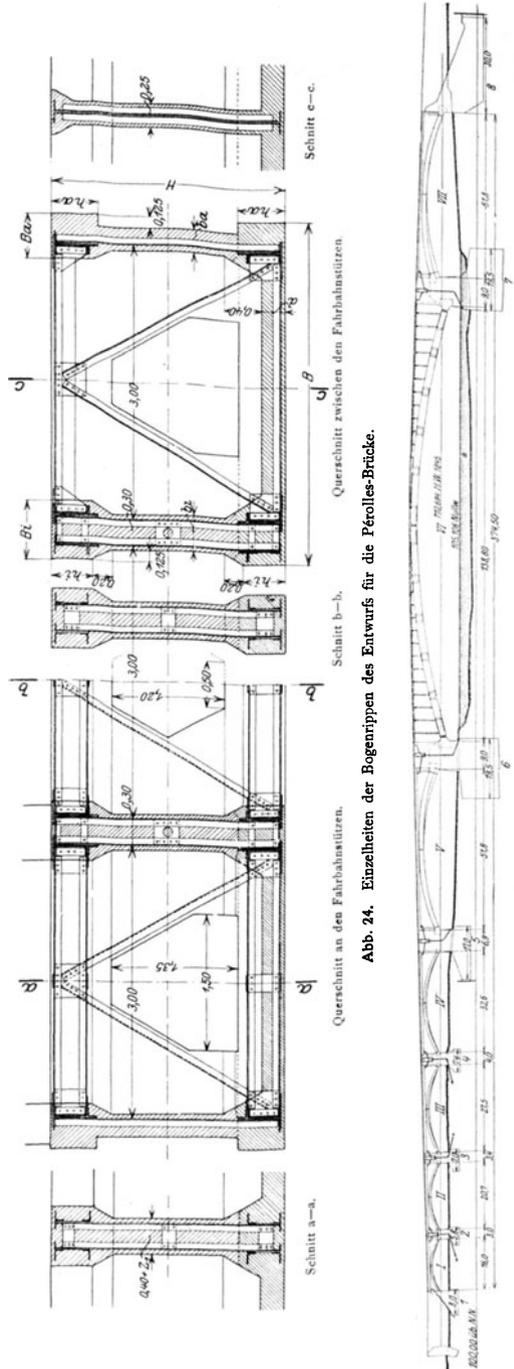


Abb. 24. Einzelheiten der Bogenrippen des Entwurfs für die Pérolles-Brücke.

Abb. 25. Entwurf für die Elbbrücke im Zuge der Erfurter Straße in Dresden. Längsschnitt des ganzen Brückenbauwerkes.

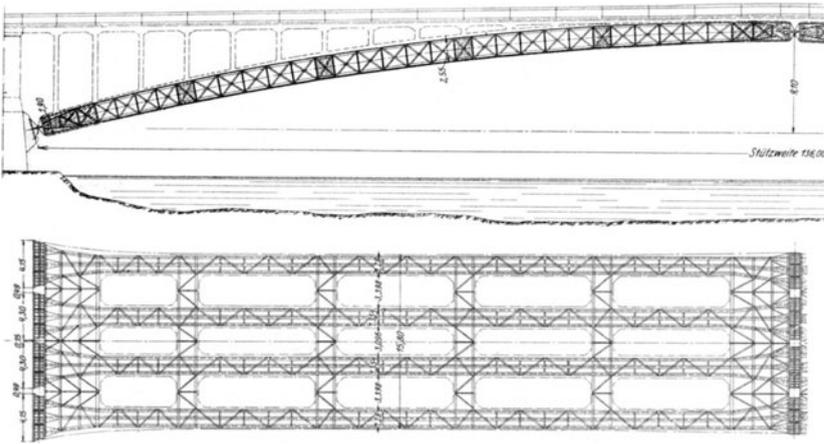


Abb. 27. Entwurf Elbbrücke Dresden.
Gitterbögen aus hochwertigem Flußstahl als Bewehrung des Hauptbogens von 136 m Spannweite.

der zulässigen Eisenspannung eine Bewehrung aus solch hochwertigem Material keinen Zweck hatte. Übrigens hat bereits 1907 Friedrich Engesser in seinem Aufsatz¹⁹⁾ „Über weitgespannte Wölbbrücken“ den Gedanken der Verwendung von Stahl bei großen Melanbrücken mit Vorspannung ausgesprochen und theoretisch begründet. Die praktische Durchführung hat er damals nicht erörtert, sie dürfte in einwandfreier Weise erst durch das hier angegebene Bauverfahren ermöglicht sein.

Auch ein anderes für Bogenbrücken angewandtes System, der umschnürte Gußeisenbeton von Oberbaurat Emperger, beruht ja auf dem Gedanken der weitgehenden Ausnutzung einer Bewehrung mit hochgelegener Quetschgrenze. Aber selbst wenn man sich der dabei gemachten günstigen Annahme ($n = 30$ bis 40) für die Lastverteilung im Verbundkörper anschließt, wird man doch zugeben müssen, daß die hier beschriebene Ausführungsform des Systems Melan mit ihrer in sich steifen eisernen Gitterkonstruktion dem System Emperger für weitgespannte Brücken in verschiedenen Punkten überlegen ist, so namentlich in der Ersparnis am Lehrgerüst und in der Verminderung der Gefahren bei der Bauausführung, ferner in der Sicherheit gegen Knicken und gegen exzentrische Druckbeanspruchungen.

Die Vorteile der vervollkommenen Ausführungsform des Systems Melan für weitgespannte Brücken bleiben in den Hauptpunkten auch dann bestehen, wenn man nur einen Teil des Gewölbebetons an die Gitterbögen anhängt,

¹⁹⁾ Vgl. Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen 1907, S. 425.

was sich bisweilen aus wirtschaftlichen oder konstruktiven Gründen als zweckmäßig erweist, um nicht zu starke Gurtquerschnitte der Gitterträger zu erhalten. Man befreit dann den Beton absichtlich nur von einem Bruchteil seiner Eigengewichtsspannungen, den man von vornherein genau festlegt. Das dabei noch nötige Teillehrgerüst kann wesentlich schwächer und einfacher als ein normales Lehrgerüst ausgebildet werden, z. B. in Form einzelner Gerüstpfiler oder Türme. Die Gewähr für die richtige Bogenform und eine hohe Sicherheit gegen die Gefahren während der Bauausführung ist auch hier vorhanden. Daß man auch sogar in diesem Falle unter Umständen

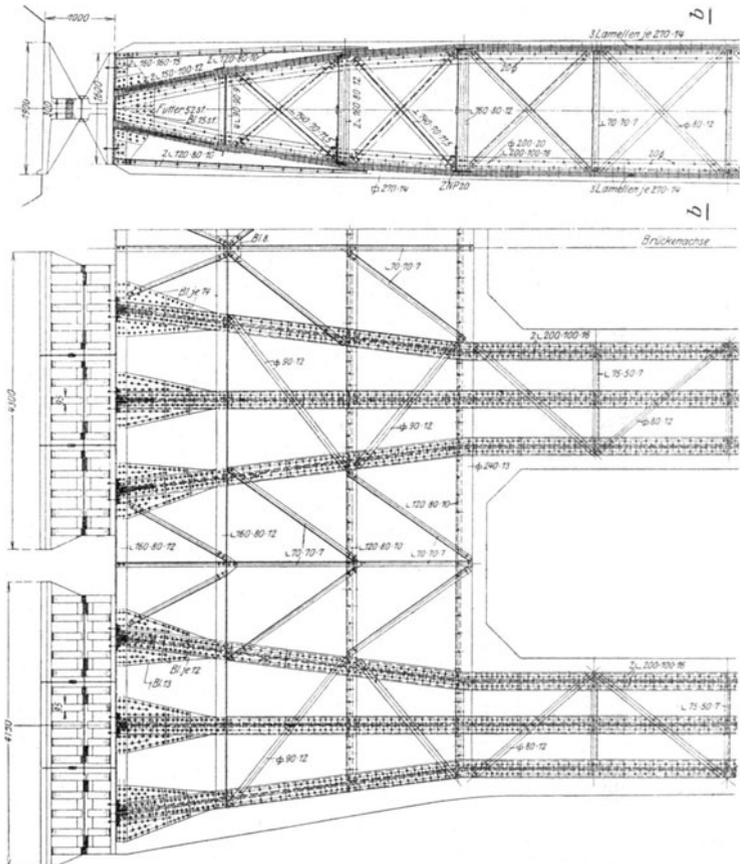


Abb. 28. Entwurf Elbbrücke Dresden. Ausbildung der als Bewehrung der Hauptöffnung dienenden Gitterbögen an den Kämpfergelenken.

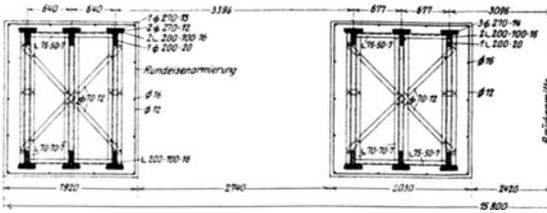


Abb. 29. Entwurf Elberfeldbrücke Dresden. Querschnitt bb der Bogenrippen mit Einzelheiten der Bewehrung.

das Lehrgerüst sparen kann, beweist ein wohldurchdachter, leider nicht zur Ausführung gekommener Entwurf für den Neubau der Pérolles-Brücke in Freiburg (Schweiz), Abb. 23 u. 24)²⁰⁾. Der Entwurf ist bereits im Jahre 1913 von der Firma Züblin & Cie. A.-G. unter Leitung von Dr.-Ing. Arnstein ausgearbeitet, aber erst vor kurzem in der Festschrift zu Melans 70. Geburtstag veröffentlicht worden. Die beiden eingespannten Bögen von 132 m Spannweite und 1:2,64 Stich bestehen aus je 2 steifbewehrten Rippen, die einen nach oben offenen U-Querschnitt haben und durch Querwände versteift sind. Die

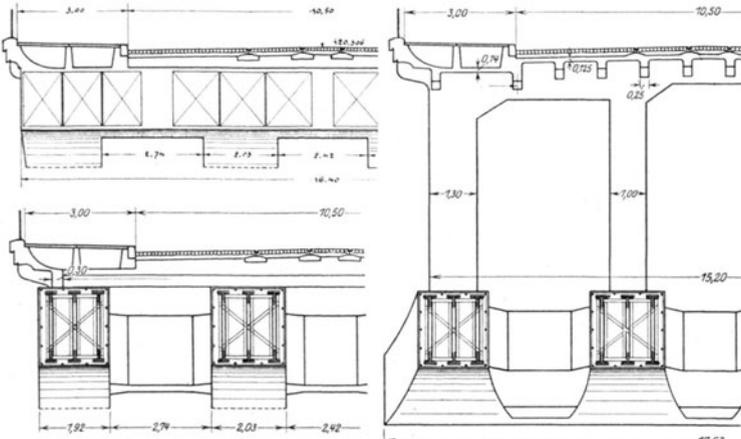


Abb. 30. Entwurf Elberfeldbrücke Dresden. Bogenquerschnitte.

von links unten nach rechts oben schraffierte untere Platte (Abb. 24), die etwa ein Drittel des gesamten Betongewichtes des Bogens ausmacht, ist zuerst aufgebracht

besonders hochwertigen Beton herstellen. Für die einwandfreie Durchführung dieses Entwurfes würde sich auch das in Abschnitt VIII angegebene Bauverfahren, namentlich für die Herstellung der hochbeanspruchten unteren Platte empfohlen haben.

Daß die teilweise Anhängung bei steilen Gewölben, wie im vorstehenden Falle, zweckmäßig sein kann, hat vor allem einen statischen Grund. Da bei voller Anhängung das Gewicht des Bogenbetons nicht auf die Verbundkonstruktion wirkt, sondern nur der Überbau und die Fahrbahn ihre ständige Belastung bilden, können, namentlich bei großer Verkehrslast (z. B. Eisenbahnbrücken), für die ungünstigsten Laststellungen starke Exzentrizitäten der Stützlinie und damit unerwünschte hohe Biegezugspannungen im Gewölbe entstehen. Diese lassen sich herabsetzen, indem man nur einen Teil des Gewölbebetons von den Gitterbögen allein tragen läßt und damit die ständige Belastung der Verbundkonstruktion erhöht.

Bei weitgespannten flachen Bögen ist dagegen im allgemeinen die volle Anhängung am wirtschaftlichsten. Nur bei sehr hohen Werten von $k = \frac{l^2}{f}$ (vgl. Abschnitt II) kann aus konstruktiven Gründen auch hier eine teilweise Anhängung ratsam sein, um nicht zu große und schwer im Beton unterzubringende Gurtquerschnitte der Gitterbögen zu erhalten.

X.

So kam man auch zur Anwendung eines Teillehrgerüsts bei dem mehrfach erwähnten Wettbewerbsentwurf, der nachstehend

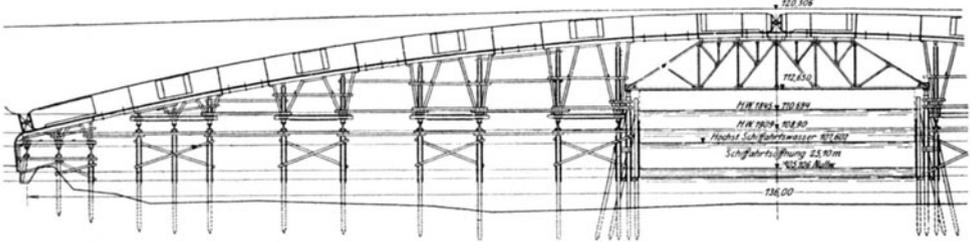


Abb. 31. Entwurf Elberfeldbrücke Dresden. Lehrgerüst des Hauptbogens von 136 m Spannweite.

und nur durch sie wird der Gitterbogen allein belastet. Ist der aus der unteren Platte bestehende Bogen erhärtet, so trägt er zusammen mit dem Eisenbogen die restlichen zwei Drittel des Betongewichtes (Rippen und Quervertiefungen), wodurch der Bedarf an Eisenkonstruktion etwa auf die Hälfte wie bei voller Anhängung herabsinkt. Die untere Platte erhält natürlich höhere Beanspruchungen als der übrige Beton des Bogens, man wird sie daher zweckmäßig aus einem

in den Hauptpunkten beschrieben werden soll, um die Auswertung des neuen Verfahrens zu zeigen. Veranstatet wurde



Abb. 32. Entwurf Elberfeldbrücke Dresden. Querschnitt durch eine an die Gitterträger angehängte Lamelle des Hauptbogens.

²⁰⁾ Diese Abbildungen sind mir von Herrn Dr.-Ing. Arnstein zur Verfügung gestellt worden. Das von der Firma Züblin u. Cie. A.-G. ausgeführte Bauwerk, ein Viadukt mit 5 Öffnungen von 56 m Lichtweite ist im Bauingenieur 1923, S. 98 beschrieben.

der Wettbewerb im Frühjahr 1914 vom städtischen Tiefbauamt auf Veranlassung von Stadtbaurat Fleck. Der hier be-

sprochene Entwurf wurde von dem Dresdner Hause der Firma Dyckerhoff & Widmann A.-G. bearbeitet, dessen technischer Direktor der Verfasser damals war²¹⁾. Es handelte sich um die Planung einer monumentalen sechsten Elbbrücke im Zuge der Erfurter Straße in Dresden, unterhalb der im Stadtgebiet bereits bestehenden fünf Brücken, wobei wegen des gerade dort sehr lebhaften Schiffsverkehrs Pfeiler im Strom selbst ausgeschlossen waren und mit Rücksicht auf das schöne Städtebild die gesamte Brückenkonstruktion unter der Fahrbahn liegen sollte. Das ergab für die Stromöffnung eine Spannweite von 136 m und das ungewöhnliche kühne Pfeilverhältnis von 1:15, also den sehr hohen Wert

$$k = \frac{l^2}{f} = 2040.$$

Die Aufgabe war für eine massive Bogenbrücke noch deshalb besonders schwierig, weil der Schub des großen Bogens nicht, wie vielleicht bei einer Talbrücke, von steilen Felswänden, sondern nur von zwei auf Eisenbeton-Caissons zu gründenden Pfeilern aufgenommen werden konnte, deren Stärke trotz des Gegenschubs der möglichst flach gespannten Nebenöffnungen von je 52 m Stützweite sehr erheblich werden mußte (Abb. 25). Bei dem Wettbewerb wurde der hier beschriebene Entwurf als die beste Lösung ausgewählt; er wurde dann während der Kriegsjahre vom städtischen Tiefbauamt gemeinsam mit der Firma Dyckerhoff & Widmann A.-G. im einzelnen durchgearbeitet, bis die veränderten wirtschaftlichen Verhältnisse nach Kriegsbeendigung die Stadt Dresden zwangen, den ganzen Plan einer weiteren Überbrückung des Stromes aufzugeben.

Abb. 26 zeigt im Längsschnitt und Grundriß den als Dreiecksbogen mit Stahlwälgelenken ausgebildeten Hauptbogen, der in 4 Eisenbetonrippen mit starken Querverbänden aufgelöst ist. Die Gesamtbreite der Rippen ist gleich der halben Brückenbreite, sie sind so angeordnet und dimensioniert, daß sie bei Vollbelastung der Brückenfahrbahn alle gleich beansprucht werden.

Gegenüber dem Vorentwurf des Stadtbauamtes mit einem vollen Eisenbetongewölbe und der üblichen Rundeisenbeweh-

²¹⁾ Als Mitarbeiter waren besonders die Oberingenieure Burmeister, Clodius und Siegerist beteiligt.

nung ergibt das gewählte System Melan mit vorbelasteten Gitterträgern aus hochwertigem Flußstahl eine Ersparnis am Betonquerschnitt des Bogens von 50 vH, eine Verringerung des Horizontalschubes für die ganze Brückenbreite von rd 30 000 t auf 20 000 t und eine Verminderung der Pfeilerstärke von 25 m auf 19,5 m. Das ist der Effekt der Vorspannung in den Stahleinlagen, die sich für diesen großen Bogen nach dem neuen Verfahren in einwandfreier Weise durchführen läßt. Für die Beanspruchung der Strompfeiler ist es dabei günstig, daß der Horizontalschub nur stufenweise und allmählich zur Wirkung kommt. Es beträgt nämlich der Horizontalschub für die ganze Brückenbreite (15,8 m):

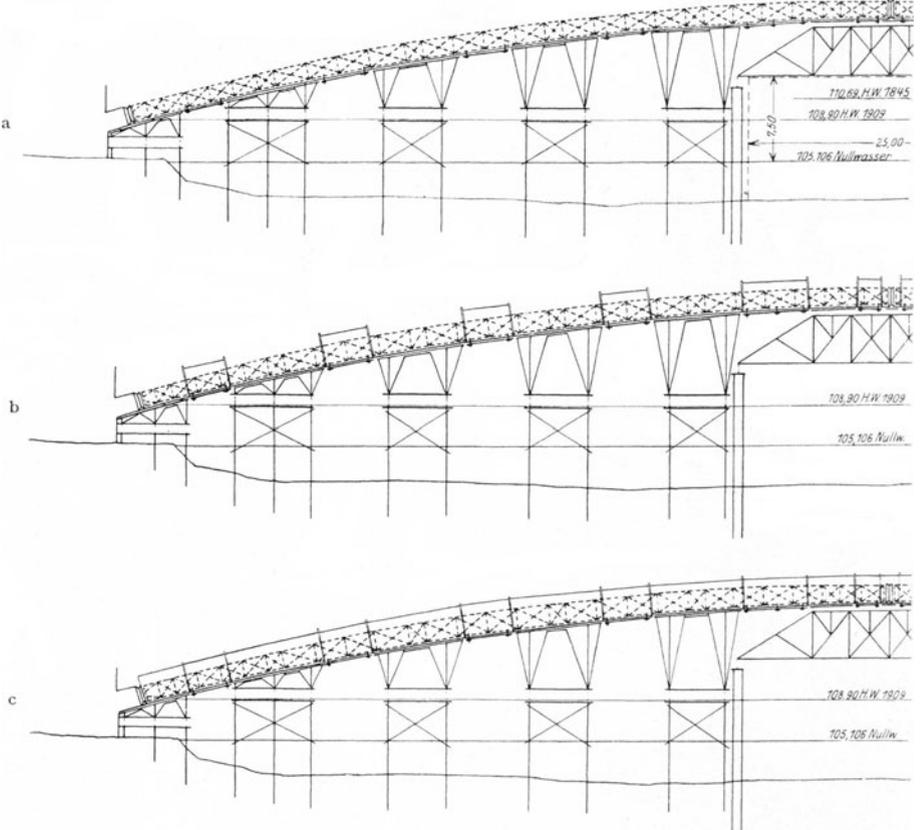


Abb. 33 a—f. Entwurf Elbbrücke Dresden. Darstellung des Bauvorganges für den Hauptbogen. (Bei der Kiesaufüllung

- von Eisenbogen allein H = 2275 t
- von dem durch die angehängten Betonlamellen vorbelasteten Eisenbogen H = 6180 t
- von ausgerüsteten Eisenbetonbogen H = 12450 t
- von fertigen Bogen einschl. Überbau H = 17995 t
- von vollbelasteten Bogen H = 19885 t

Bei einem massiven Vollbogen mit normaler Rundeisenbewehrung hätte dagegen beim Ausrüsten mit einem Male, beinahe stoßweise, ein Schub von 23 000 t aus dem Bogeneigengewicht auf die Strompfeiler gewirkt.

Die Gründung der Strompfeiler sollte bis auf den Plänerfelsen herabgeführt werden, für den das städtische Tiefbauamt eine zulässige Höchstbeanspruchung von 10 kg/cm² festgesetzt hatte. Dieser Wert wird nicht überschritten, auch bleibt die

Resultierende, selbst unter Berücksichtigung eines Auftriebes bei Hochwasser, im mittleren Drittel der Bodenfuge und fällt stets steiler als unter 60° zur Horizontalen ein. Dabei ist der sehr beträchtliche Erdwiderstand gegen die hohen landseitigen Wände der Pfeiler zur Erhöhung der Sicherheit ganz unberücksichtigt geblieben.

Die großen Abmessungen der Strompfeiler waren der Grund dafür, daß sich die Gesamtkosten des Entwurfs höher stellten als bei einem Gegenentwurf mit reiner Eisenkonstruktion für die Stromöffnung. Dagegen ist es bemerkenswert, daß der große Eisenbetonbogen allein samt Überbau billiger war als ein Konkurrenzangebot für einen eisernen Hauptbogen.

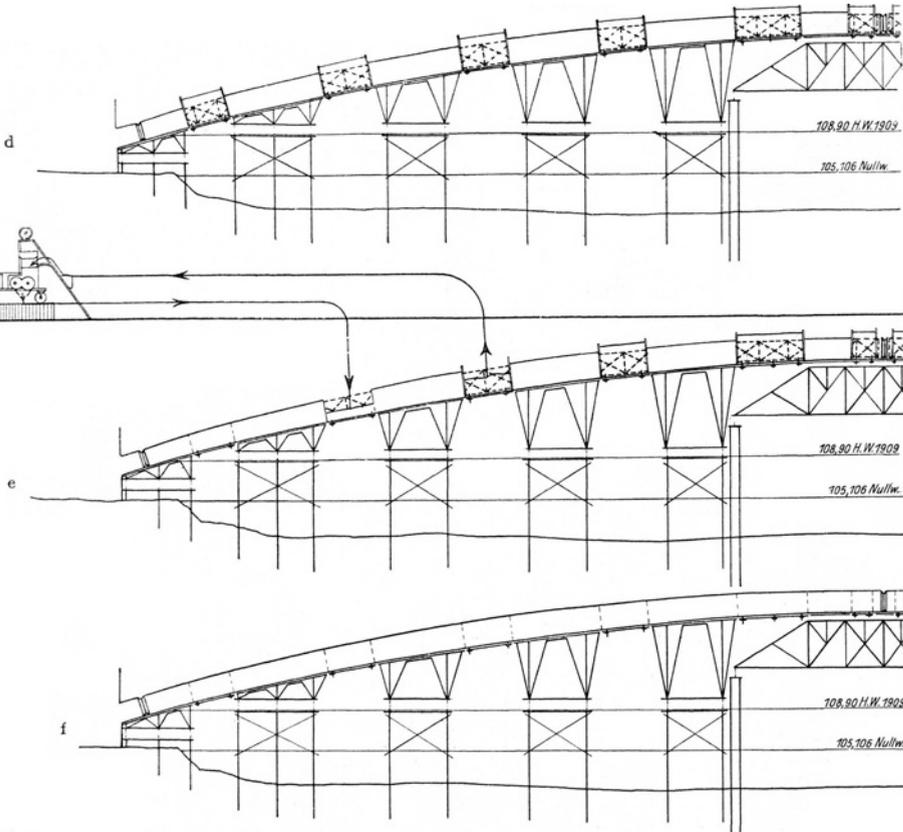
eine rd. dreiprozentige Armierung des Betonquerschnittes bilden, ist an dem Umfang der Rippen noch eine sekundäre Rundeseisenbewehrung angeordnet, um Ribbildungen oder Absprengungen des Betons zu vermeiden (vgl. Abb. 29). Aus hochwertigem Flußstahl sind nur die Gurtquerschnitte der Gitterbögen gedacht, die Ausfachung sowie die Querverbände aus normalem Flußstahl. Durch die Vorspannung entsteht eine größte Druckbeanspruchung von 1000 kg/cm^2 in den Gurten, wozu dann noch aus der Verbundkonstruktion eine Druckspannung von 800 kg/cm^2 kommt, so daß sich eine Gesamtspannung von 1800 kg/cm^2 ergibt, die für hochwertigen Flußstahl mit 3800 kg/cm^2 Quetschgrenze zulässig ist. Für den Beton ergibt sich bei der Annahme von $n = 10$ eine größte Druckspannung von 80 kg/cm^2 . Verlangt war eine mindestens viermal größere Würfelzugfestigkeit nach 28 Tagen, die nach angestellten Druckversuchen bei einem Beton aus Tischkowitzter Zement und den in Dresden vorhandenen Betonrohmaterialien schon mit 350 kg Zement auf den fertigen Kubikmeter zu erzielen war. Heutewürde man für ein solches Brückenbauwerk zweifellos hochwertigen Zement verwenden.

Die Gelenke des Strombogens (vgl. Abb. 28) sind als Stahlgußwälgelenke mit Kuppillensicherung ausgebildet, an den Kämpfern haben sie eine Druckkraft von 1360 t für 1 m Brückenbreite zu übertragen. Das ist rd. der doppelte Wert wie bei der viergleisigen Eisenbahnbrücke über den Neckar in Cannstatt²³⁾. Nach den Erfahrungen des Verfassers bei dieser Brücke bietet die Ausbildung und das Versetzen solcher Gelenke keine Schwierigkeiten.

Wie bereits erwähnt, erwies es sich bei dem außergewöhnlich flachen Strombogen schon aus konstruktiven Gründen als zweckmäßig, nicht ganz auf das Lehrgerüst zu verzichten und nur einen Teil des Gewölbebetons an die Gitterträger anzuhängen. Außerdem konnte hier bei dem sehr kleinen

²²⁾ Die Ausbildung der Eisenkonstruktion wurde im einzelnen von der Firma Kelle und Hildebrandt in Großluga b. Dresden, unter Beratung von Prof. Dr.-Ing. Gehler, bearbeitet.

²³⁾ Vgl. Spangenberg, Zwei Betonbauten vom Stuttgarter Bahnhofumbau, Deutsche Bauzeitung, Mitteilungen über Zement, Beton- u. Eisenbetonbau 1914, Nr. 10—13.



sind die Gitterbögen sichtbar gelassen, außerdem ist sie an der größeren Höhe der Lamellen kenntlich.)

Übrigens ergab sich bei der weiteren Durcharbeitung des Entwurfs gemeinsam mit dem städtischen Tiefbauamt noch die Möglichkeit, die Spannweite des Strombogens auf 132 m zu verringern und sein Pfeilverhältnis durch eine geringe Hebung der Fahrbahn auf $1:13,8$ zu erhöhen, so daß die statischen Verhältnisse auch an den Strompfeilern noch verbessert werden konnten; z. B. sank die größte Bodenpressung dadurch auf 8 kg/cm^2 .

Die eisernen Gitterträger des Melanbogens sind in Abb. 27, 28 u. 29 dargestellt, wobei namentlich ihre Zusammenführung je zu einem starken Druckhaupt an den Gelenken bemerkenswert ist, um dort eine gleichmäßige Druckverteilung über die ganze Brückenbreite zu erhalten²²⁾. Die wichtigsten Bogenquerschnitte gibt Abb. 30, außer den Gitterträgern, die

Pfeilverhältnis die Bogenstärke wegen der Knickgefahr nicht so weit ermäßigt werden, als sie sich bei voller Anhängung ergeben hätte. Wenn man dabei die Gewölbebreite nicht auf mehr als die halbe Brückenbreite reduzieren wollte, erwies es sich als wirtschaftlich, nur etwa 37 vH des Gewichtes der Bogenrippen an die Eisenkonstruktion anzuhängen. Das Gerüst



Abb. 34. Entwurf Elbbrücke Dresden. Ansicht des Hauptbogens, Variante mit geschlossener Unterfläche.

ist in Abb. 31 u. 32 dargestellt, zwischen den angehängten Lamellen liegt je eine Lamelle auf einem hölzernen Gerüstpfiler auf. Damit konnte das Gerüst leicht und durchsichtig ausgebildet werden, hat es doch nur 50 vH der Belastung aufzunehmen, die ein Gerüst für einen Vollbogen mit normaler Rundeseisenbewehrung zu tragen hätte. Man könnte vielleicht einwenden, daß hier ja wieder die mit hölzernen Lehrgerüsten verbundenen Gefahren z. B. bei Hochwasser und Eisgang vorhanden seien. Dem ist jedoch entgegenzuhalten, daß selbst dann, wenn im ungünstigsten Zustand, d. i. kurz vor oder nach Bogenschluß, einzelne Teile des Gerüstes beschädigt oder weggerissen wurden, ohne weiteres die eisernen Gitterträger mit einer geringen Mehrbeanspruchung die Last der Lamellen über den beschädigten Gerüstteilen mit übernehmen, so daß eine Katastrophe vermieden wird²⁴⁾.

Den Bauvorgang, insbesondere die Erzielung der Vorspannung, läßt Abb. 33a—f erkennen. Nach Aufstellung der Gerüstpfiler wird die Eisenkonstruktion mit der nötigen Überhöhung montiert (Abb. 33a). Die eisernen Gitterbögen ruhen dabei nicht etwa auf den Gerüstpfeilern auf, sondern spannen sich freischwebend über dem Gerüst als statisch bestimmte Dreigelenkbögen. Nach Befestigung der angehängten Schalungsteile wird auf diese die Vorbelastung der Eisenkonstruktion in Form von Kiesmaterial aufgebracht (Abb. 33b). Dann werden, was an sich nicht zu dem neuen Verfahren gehört, auch die festen Gerüstteile mit Kies belastet (Abb. 33c), um ihre Deformation vor dem Betonieren herbeizuführen; worauf dieser Kies durch Beton ersetzt wird (Abb. 33d). Nun kann abschnittsweise — unter Konstanterhaltung der Gesamtbelastung und damit der Eisenspannung — das Kiesmaterial auf den angehängten Schalungsteilen in Beton umgewandelt werden (Abb. 33e), bis der Bogen geschlossen ist (Abb. 33f). Infolge dieses Bauverfahrens hat es nichts zu sagen, daß der Bogen zeitweise ein statisch unbestimmter Träger auf vielen Stützen ist. Es tritt ja keine Änderung in der Belastung

²⁴⁾ Eine solche günstige Wirkung der steifen Bewehrung ist tatsächlich bei der Brücke über den Soldiers Creek in Kansas City eingetreten, als das unterstützende Lehrgerüst durch Hochwasser zum Teil weggerissen wurde. Vgl. Melan, Der Brückenbau Band II, 3. Aufl., S. 319, u. Engineering News Record 1919 I, S. 995.

während dieses Zustandes ein; nur Temperaturänderungen können geringe Verschiebungen zwischen den Beton- und Eisenspannungen bewirken. Sind dann noch die Querverbände betoniert, so kann nach genügender Erhärtung des Betons das Gerüst entfernt und anschließend der Aufbau und die Fahrbahnkonstruktion ausgeführt werden. Eine perspektivische Ansicht des Entwurfes gibt Abb. 34, die Sichtflächen sind in steinmetzmäßig bearbeitetem Vorsatzbeton gedacht; einen noch besseren Eindruck von der mächtigen Konstruktion gibt der Blick in die Untersicht des Strombogens (Abb. 35). Die architektonische Gestaltung, die durch die Konstruktion im wesentlichen festgelegt war, stammt von Architekt M. Babinsky in Dresden.

XI.

Die Veröffentlichung dieses nicht ausgeführten Entwurfes schien dem Verfasser gerechtfertigt, weil dabei erstmalig die Verwendung hochwertigen Flußstahls bei Eisenbetonbogenbrücken und dessen vollkommene Ausnutzung mit Hilfe des Bauverfahrens zur Erzielung einer einwandfreien Vorspannung gezeigt wurde. Für weniger flache Bögen ist die Überwindung auch wesentlich größerer Spannweiten als bei dem Dresdner Entwurf nach diesen Grundsätzen ohne Schwierigkeiten möglich, wobei man in den meisten Fällen ganz ohne Lehrgerüst auskommen wird, namentlich wenn man noch die in dem Entwurf der Pérolles-Brücke enthaltenen Gedanken weiter verfolgt, etwa unter Anwendung hohler Rechtecksquerschnitte für die Bogenrippen. So wäre z. B. die Ausführung jener schon 1907 geplanten monumentalen Henry-Hudson-Brücke bei New York von 216 m Breite nach dem vervollkommenen System Melan mit der gleichen Sicherheit wie als eiserne Bogenbrücke möglich, ebenso ließe

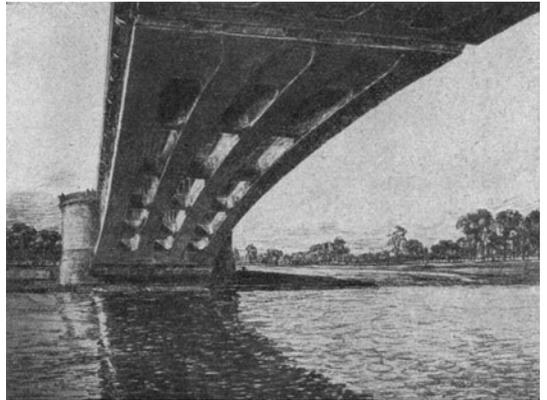


Abb. 35. Entwurf Elbbrücke Dresden. Untersicht des Hauptbogens.

sich damit für die große schwedische Brücke über die Arstaucht eine einfache und sichere Lösung finden. Besonders vorteilhaft werden sich auf diese Weise Strom- und Talbrücken zwischen 100 und 200 m Spannweite konstruieren lassen, ja es erscheint nicht ausgeschlossen, daß man der bisher erreichten größten Spannweite der eisernen Bogenbrücken von 300 m mit diesen Gewölben aus Stein und Stahl nahekommen kann.

In unserem verarmten Vaterlande fehlen freilich heute alle Voraussetzungen für solch monumentale Brückenbauten. Aber trotzdem, bei all der Enge unserer Verhältnisse, wollen auch wir deutschen Ingenieure uns mit diesen Problemen befassen, um damit Grundlagen zu schaffen für weitere Fortschritte in der uralten Kunst des Wölbens.

Theorie und Berechnung der eisernen Brücken.

Von Dr.-Ing. Friedrich Bleich. Mit 486 Textabbildungen. (592 S.) 1924.
Gebunden 37.50 Goldmark/Gebunden 9 Dollar.

Der Brückenbau. Band I: Eisernen Brücken. Bearbeitet von Regierungsbaumeister Karl Bernhard.

Zivilingenieur und Privatdozent an der Technischen Hochschule zu Berlin. Mit etwa 700 Abbildungen im Text und 13 Tafeln. (560 S.) 1911.
14 Goldm.; geb. 16 Goldm./3.35 Dollar; geb. 3.85 Dollar.

Der Eingelenkbogen für massive Straßenbrücken.

Eine statisch-wirtschaftliche Untersuchung von Dr. sc. techn. Ernst Burgdorfer, Diplomingenieur. Mit 51 Abbildungen im Text und 10 Tafeln. (167 S.) 1924. 7.50 Goldmark/1.80 Dollar.

Der Wettbewerb für Entwürfe zu einer Verbindung über den Limfjord zwischen Aalborg und Nørresundby in Dänemark.

Von Geh. Baurat Schaper, Berlin. Mit 136 Abbildungen. (Sonderabdruck aus: „Der Bauingenieur“ 1921, Heft 12 bis 24.) (56 S.) 1922. 2 Goldmark/0.50 Dollar.

Eisenbahn-Balkenbrücken.

Ihre Konstruktion und Berechnung nebst sechs zahlenmäßig durchgeführten Beispielen. Von Ingenieur Johannes Schwengler. Mit 84 Textfiguren und 8 lithographischen Tafeln. (83 S.) 1913. 4 Goldmark/0.95 Dollar.

Das Kabel im Brückenbau.

Von Dr.-Ing. F. Hohlfeld. (127 S.) 1913. 4.20 Goldmark/1 Dollar.

Einfluß bewegter Last auf Eisenbahnoberbau und Brücken.

Von Dr.-Ing. Heinrich Saller, Oberregierungsrat. Mit 48 Textabbildungen. (78 S.) 1921. (C. W. Kreidel's Verlag in Berlin W 9.) 2.50 Goldmark/0.60 Dollar.

Vorlesungen über Eisenbeton.

Von Prof. Dr.-Ing. E. Probst, Karlsruhe.
Erster Band: Allgemeine Grundlagen. — Theorie und Versuchsforschung. — Grundlagen für die statische Berechnung. — Statisch unbestimmte Träger im Lichte der Versuche. Zweite, ungearbeitete Auflage. Mit 70 Textabbildungen. (631 S.) 1923.
Gebunden 24 Goldmark/Gebunden 5.75 Dollar.

Zweiter Band: Anwendung der Theorie auf Beispiele im Hochbau, Brückenbau und Wasserbau. — Grundlagen für die Berechnung und das Entwerfen von Eisenbetonbauten. — Allgemeines über Vorbereitung und Verarbeitung von Eisenbeton. — Richtlinien für Kostenermittlungen. — Architektur im Eisenbeton. — Amtliche Vorschriften. Mit 71 Textfiguren. (650 S.) 1922.
Gebunden 20 Goldmark/Gebunden 4.80 Dollar.

Die Grundzüge des Eisenbetonbaues.

Von Geh. Hofrat Professor Dr.-Ing. e. h. Max Foerster, Dresden. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 170 Textabbildungen. (424 S.) 1921.
Gebunden 10 Goldmark/Gebunden 2.40 Dollar.

Ausgeführte Eisenbetonkonstruktionen.

Neunundzwanzig Beispiele aus der Praxis. Von Dipl.-Ing. Otto Hausen. Mit 125 Textfiguren. (127 S.) 1919. 3.20 Goldm.; geb. 5 Goldm./0.80 Dollar; geb. 1.20 Dollar.

Berechnung von Rahmenkonstruktionen und statisch unbestimmten Systemen des Eisen- und Eisenbetonbaues.

Von Ing. P. Ernst Glaser (Ilmenau i. Thür.). Mit 112 Textabbildungen. (140 S.) 1919. 4.50 Goldmark/1.10 Dollar.

Die Methode der Festpunkte zur Berechnung der statisch unbestimmten Konstruktionen

mit zahlreichen Beispielen aus der Praxis insbesondere ausgeführten Eisenbetontragwerken. Von Dr.-Ing. Ernst Suter. Mit 591 Figuren im Text und auf 15 Tafeln. (745 S.) 1923. 19 Goldmark; geb. 21 Goldm./4.55 Dollar; geb. 5 Dollar.

Die Theorie elastischer Gewebe und ihre Anwendung auf die Berechnung biegsamer Platten

unter besonderer Berücksichtigung der trägerlosen Pilzdecken. Von Dr.-Ing. H. Marcus. Mit 123 Textabbildungen. (376 S.) 1924. 21 Goldm.; geb. 21.80 Goldm./5 Dollar; geb. 5.20 Dollar.

Die Arbeitsfestigkeit der Eisenbetonbalken.

Von Ingenieur Wilhelm Thiel. Mit 4 Abbildungen im Text. (57 S.) 1924. 2.25 Goldmark/0.55 Dollar.

Der Beton- und Eisenbetonbau 1898-1923.

Ein Bild technischer Entwicklung. Von Regierungsbaumeister Dr.-Ing. W. Petry. Herausgegeben vom Deutschen Beton-Verein (E. V.) aus Anlaß seines 25jährigen Bestehens. (425 S.) 1923.
Gebunden 8 Goldmark/Gebunden 1.95 Dollar.

Der Aufbau des Mörtels im Beton.

Beitrag zur Vorausbestimmung der Festigkeitseigenschaften des Betons auf der Baustelle. Untersuchungen über die zweckmäßige Zusammensetzung des Zementmörtels im Beton, namentlich über den Einfluß der Korngröße des Sandes auf die Druckfestigkeit und das Raumgewicht des Zementmörtels. Versuchsergebnisse und Erfahrungen aus der Materialprüfungsanstalt der Technischen Hochschule Stuttgart. Von Otto Graf. Mit 41 Textabbildungen. (67 S.) 1923. 3 Goldmark/0.75 Dollar.

Eisen im Hochbau. Ein Taschenbuch mit Zeichnungen, Zusammenstellungen, technischen Vorschriften und Angaben über die Verwendung von Eisen im Hochbau. Herausgegeben vom **Stahlwerks-Verband A.-G.**, Abteilung Technisches Büro, Düsseldorf. *Sechste*, umgearbeitete und erweiterte Auflage. (605 S.) 1924.
Gebunden 12 Goldmark/Gebunden 2.90 Dollar.

Lieferwerke und Gewichtstafeln für Form- und Stabformisen, nach den Profilingaben des Taschenbuches „Eisen im Hochbau“, 6. Auflage. Herausgegeben vom **Stahlwerks-Verband A.-G.**, Abteilung Technisches Büro, Düsseldorf. (12 S. u. VIII Tafeln.) 1924. 3.60 Goldmark/0.90 Dollar.

Repetitorium für den Hochbau. Für den Gebrauch an Technischen Hochschulen und in der Praxis. Von Geh. Hofrat Professor Dr.-Ing. e. h. **Max Foerster**, Dresden.

1. Heft: **Graphostatik und Festigkeitslehre.** Mit 146 Textfiguren. (145 S.) 1919.
3.75 Goldmark/0.90 Dollar.
2. Heft: **Abriß der Statik der Hochbaukonstruktionen.** Mit 157 Textfiguren. (158 S.) 1920.
3.75 Goldmark/0.90 Dollar.
3. Heft: **Grundzüge der Eisenkonstruktionen des Hochbaues.** Mit 283 Textfiguren. (201 S.) 1920.
3.80 Goldmark/0.95 Dollar.

Die Knickfestigkeit. Von Dr.-Ing. **Rudolf Mayer**, Privatdozent an der Technischen Hochschule in Karlsruhe. Mit 280 Textabbildungen und 87 Tabellen. (510 S.) 1921. 20 Goldmark/4.80 Dollar.

Zur Berechnung des beiderseits eingemauerten Trägers unter besonderer Berücksichtigung der Längskraft. Von **Fukuhei Takabeya**, japanischer a. o. Professor und Dr.-Ing. an der Kaiserl. Kyushu-Universität, Japan. Mit 28 Textabbildungen und 2 Formeltafeln. (56 S.) 1924.
3 Goldmark/0.75 Dollar.

Theorie des Trägers auf elastischer Unterlage und ihre Anwendung auf den Tiefbau nebst einer Tafel der Kreis- und Hyperbelfunktionen. Von japanisch. Dr.-Ing. **Keiichi Hayashi**, Professor an der Kaiserlichen Kyushu-Universität Fukuoka-Hakosaki, Japan. Mit 150 Textfiguren. (312 S.) 1921.
11 Goldmark/2.65 Dollar.

Mehrteilige Rahmen. Verfahren zur einfachen Berechnung von mehrstieligen, mehrstöckigen und mehrteiligen geschlossenen Rahmen (Rahmenbalkenträgern). Von Ingenieur **Gustav Spiegel**. Mit 107 Textabbildungen. (198 S.) 1920.
7 Goldmark/1.70 Dollar.

Die Berechnung des symmetrischen Stockwerkrahmens mit geneigten und lotrechten Ständern mit Hilfe von Differenzgleichungen. Von Dr. techn. Ingenieur **Josef Fritsche**, Prag. (96 S.) 1923. 4 Goldmark/0.95 Dollar.

Taschenbuch für Bauingenieure. Unter Mitwirkung von Fachleuten herausgegeben von Geh. Hofrat Professor Dr.-Ing. e. h. **Max Foerster**, Dresden. *Vierte*, verbesserte und erweiterte Auflage. Mit 3196 Textfiguren. In zwei Teilen. (2415 S.) 1921.
Gebunden 20 Goldmark/Gebunden 4.80 Dollar.

Kompendium der Statik der Baukonstruktionen. Von Privatdozent Dr.-Ing. **J. Pirlot**, Aachen. In zwei Bänden.

Zuerst erschien:

Zweiter Band: **Die statisch unbestimmten Systeme.**

Erster Teil: **Die allgemeinen Grundlagen zur Berechnung statisch unbestimmter Systeme:** Die Untersuchung elastischer Formänderungen. Die Elastizitätsgleichungen und deren Auflösung. Mit 136 Textfiguren. (218 S.) 1921.
6.50 Goldm.; geb. 8.50 Goldm./1.55 Doll.; geb. 2.05 Doll.

Zweiter Teil: **Berechnung der einfacheren statisch unbestimmten Systeme:** Grade Balken mit Endspannungen und mehr als zwei Stützen. — Einfache Rahmgebilde. — Zweigelenkbogen. — Gewölbe. — Armierte Balken. Mit 298 Textfiguren. (322 S.) 1923.
8.50 Goldm.; geb. 10 Goldm./2.05 Doll.; geb. 2.40 Doll.

In Vorbereitung befinden sich:

Dritter Teil: **Die hochgradig statisch unbestimmten Systeme:** Durchlaufende Träger auf starren und elastischen Stützen. Fachwerke mit starren Knotenpunktverbindungen. — Stockwerkrahmen. — Vierendeelträger und verwandte Rahmgebilde.

Vierter Teil: **Das statisch unbestimmte Fachwerk.** Aufgaben des Brücken- und Eisenhochbaues.

Erster Band: **Die statisch bestimmten Systeme:** Vollwandige Systeme und Fachwerke.

Statik der Vierendeelträger. Von Dr.-Ing. **Karl Kriso**. Mit 185 Textfiguren und 11 Tabellen. (298 S.) 1922.
13 Goldm.; geb. 15 Goldm./3.10 Doll.; geb. 3.60 Doll.

Organisation und Betriebsführung der Bontiefbaustellen. Von Dr.-Ing. **A. Agatz**, Baurat in Bremen. Mit 29 Abbildungen und Musterformularen. (88 S.) 1923. 3.60 Goldmark/0.90 Dollar.

Kostenberechnung im Ingenieurbau. Von Dr.-Ing. **Hugo Ritter**. (120 S.) 1922.
3.40 Goldmark/0.85 Dollar.

Kalkulation und Zwischenkalkulation im Großbaubetriebe. Gedanken über die Erfassung des Wertes kalkulativer Arbeit und deren Zusammenhänge. Von **Rudolf Kundigraber**. Mit 4 Abbildungen. (62 S.) 1920. 2.50 Goldmark/0.60 Dollar.

Betriebskosten und Organisation im Baumaschinenwesen. Ein Beitrag zur Erleichterung der Kostenanschläge für Bauingenieure mit zahlreichen Tabellen der Hauptabmessungen der gangbarsten Großgeräte. Von Dr. **Georg Garbotz**, Dipl.-Ingenieur, Privatdozent an der Techn. Hochschule Darmstadt. Mit 23 Textabbildungen. (128 S.) 1922.
4.20 Goldmark/1 Dollar.