

Die Entwürfe für weitgespannte Gewölbe bei dem Wettbewerb Moselbrücke Koblenz

Von

H. Spangenberg

o. Professor an der Techn. Hochschule München

Mit 36 Abbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1928

Die Entwürfe für weitgespannte Gewölbe bei dem Wettbewerb Moselbrücke Koblenz

Von

H. Spangenberg

o. Professor an der Techn. Hochschule München

Mit 36 Abbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1928

Sonderdruck aus „DER BAUINGENIEUR“
Zeitschrift für das gesamte Bauwesen
9. Jahrgang 1928, Heft 38/39.

ISBN 978-3-662-40934-3 ISBN 978-3-662-41418-7 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-41418-7

Die Entwürfe für weitgespannte Gewölbe bei dem Wettbewerb Moselbrücke Koblenz.

Zur Zeit herrscht bei uns in Deutschland wie in einer Reihe anderer Länder eine lebhafte Tätigkeit auf dem Gebiete des Baues von Straßenbrücken. Sie erklärt sich einmal daraus, daß während des Krieges und in der Nachkriegszeit dringende Brückenbauten zurückgestellt werden mußten und sodann aus den Anforderungen des steigenden Autoverkehrs, durch den zahlreiche Neubauten zur Verbesserung der Linienführung von Straßen und zum Ersatz alter, nicht mehr genügend tragfähiger Brücken nötig werden. Zur Lösung der oft neuartigen oder schwierigen Bauaufgaben bei solchen Brückenanlagen ist in letzter Zeit eine Reihe von Wettbewerben veranstaltet worden, an denen entweder der Eisenbau oder der Eisenbetonbau allein oder auch beide Bauweisen in Konkurrenz miteinander beteiligt waren.

Der bedeutendste und interessanteste Wettbewerb für den Massivbrückenbau war zweifellos derjenige, den die Stadt Koblenz im Sommer 1927 zur Erlangung von Entwürfen für eine neue Straßenbrücke über die Mosel ausgeschrieben hat.

1. Bedingungen, Grundlagen und Ergebnis des Wettbewerbes.

Bei diesem Wettbewerb handelt es sich um eine große städtische Straßenbrücke, ein Bauobjekt im Betrage von rund 4 Millionen Mark, das mit den Zufahrtsrampen fast 1 km Länge haben soll, wobei rund 350 m auf die eigentliche Strombrücke entfallen. Die für die drei Hauptöffnungen vorgeschriebenen Lichtweiten von über 100 m in Verbindung mit einer sehr geringen Bauhöhe machte die Aufgabe für den Wölbbrückenbau besonders schwierig und reizvoll. Dies ist wohl auch der Grund, weshalb die Eisenbetonfirmen an dem Wettbewerb teilgenommen haben, trotzdem seine materiellen Bedingungen recht ungünstig waren, so daß die Firmen des Deutschen Eisenbauverbandes die Beteiligung abgelehnt haben. Verlangt waren von den Bewerbern vollständige Entwürfe mit den erforderlichen Zeichnungen für die Gesamtanordnung und die Einzelheiten einschließlich der Gerüste, ferner perspektivische Darstellungen, Bauausführungsplan, Erläuterungsbericht, statische Berechnungen, Massenermittlungen und ein bindendes Angebot. Dafür war den eingeladenen Firmen (acht Eisenkonstruktions- und sechs Eisenbetonfirmen) von der Stadt Koblenz die sehr bescheidene Entschädigung von je 2000 M. zugesagt. Außerdem konnten aber noch weitere Fachfirmen

die Unterlagen abheben, und es war für diese Bewerber noch insgesamt eine Vergütung von 5000 M. zur Verfügung gestellt. War diese Bedingung für einen engeren Wettbewerb schon ungewöhnlich, so kam weiter als Verschlechterung für die Teilnehmer hinzu, daß keine Preise ausgesetzt waren, sondern das

Preisgericht nur einen Entwurf als den für die Ausführung geeignetsten bezeichnen sollte, also genau wie bei dem Köln - Mülheimer

Brückenwettbewerb. Obgleich diese Bestimmung recht unerquickliche Folgen haben kann, wie das eben genannte Beispiel gezeigt hat, so hat sie schließlich dann einen Sinn, wenn der Bau unmittelbar bevorsteht und die Geldmittel dafür vorhanden sind. Beides ist aber in Koblenz nicht der Fall, vielmehr ist es heute schon wahrscheinlich, daß die Brücke in der dem Wettbewerb zugrunde gelegten Anordnung nicht zur

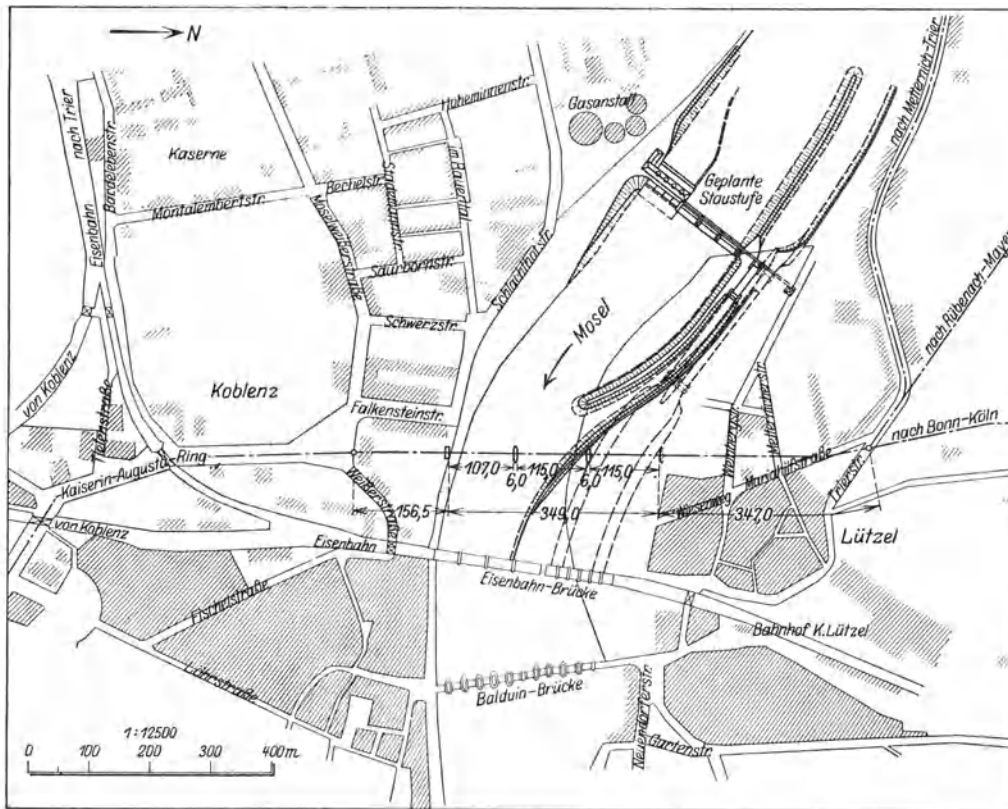


Abb. 1. Lageplan.

Ausführung kommen wird. Unter solchen Verhältnissen erscheint es richtiger, bei einem Wettbewerb Preise auszusetzen, und zwar in einer Höhe, die den Siegern eine angemessene Entschädigung für die geleistete große Entwurfsarbeit bietet. Auch die Zusammensetzung des Preisgerichtes war insofern unerfreulich, als in ihm neben sechs Bauingenieuren und zwei Architekten nicht weniger als sechs Laien vertreten waren. Als ganz unbegreiflich muß es aber bezeichnet werden, daß ursprünglich überhaupt kein Sachverständiger des Eisenbetonbaues unter den Preisrichtern war, sondern daß erst auf Grund wiederholter Bemühungen des Deutschen Beton-Vereins nachträglich noch ein Eisenbetonfachmann in das Preisgericht berufen wurde.

Im ganzen wurden von 13 Firmen 17 verschiedene Lösungen eingereicht. Hierunter war nur ein Entwurf in Eisenkonstruktion, ferner lag ein Eisenbetonentwurf außerhalb des Rahmens des Wettbewerbes, so daß sich 15 bedingungsgemäße Lösungen in Massivkonstruktion ergaben. Das Preisgericht hat am 28. Januar dieses Jahres wie folgt entschieden:

Für den Fall, daß sich die Stadtverwaltung entschließt, eine Brücke an der vorgesehenen Stelle nach den Grundlagen des Wettbewerbes zur Ausführung zu bringen, wird empfohlen, die Verfasser des Entwurfes „Denkmal“, Grün & Bilfinger A.-G. in Mannheim und Baudirektor Abel in Köln, mit der Ausarbeitung der baureifen Pläne zu beauftragen. Ferner wurden folgende Entwürfe in nachstehender Reihenfolge angekauft:

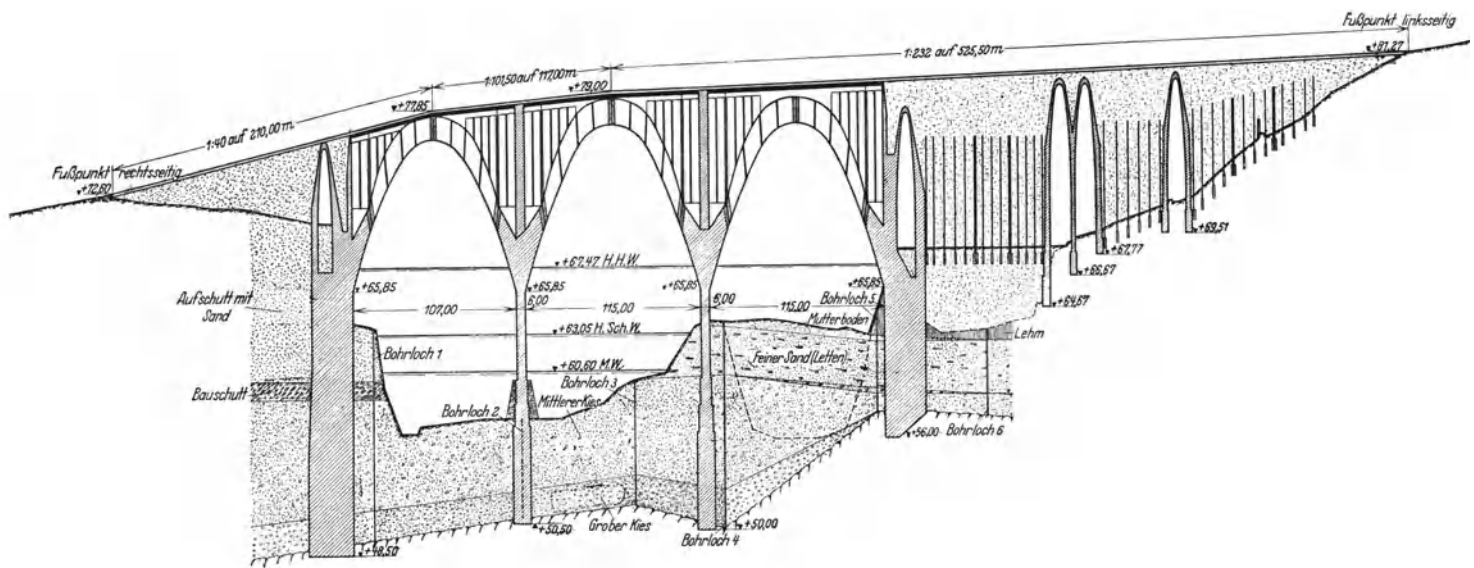


Abb. 2. Längenschnitt (Entwurf Dyckerhoff & Widmann A.-G.) mit Bohrergebnissen.

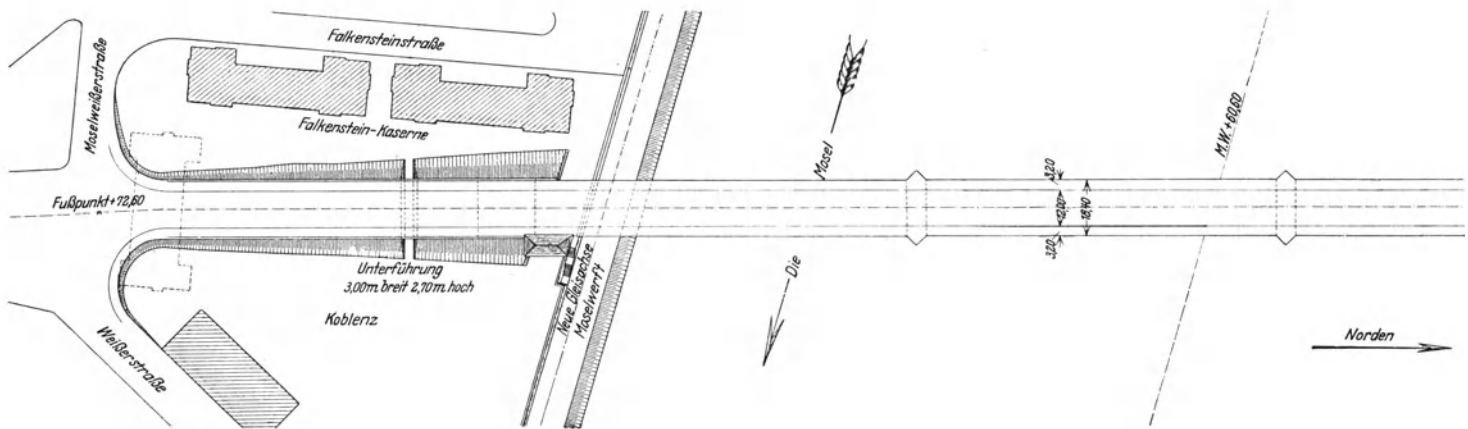
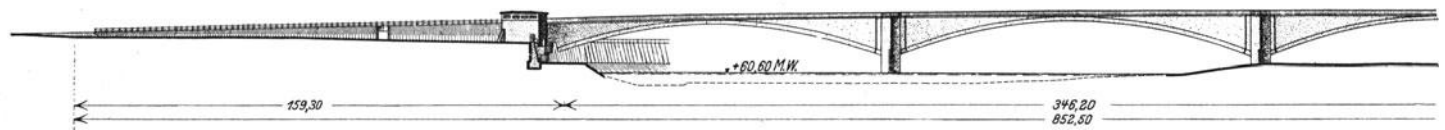


Abb. 3. Entwurf Grün & Bilfinger A.-G.,

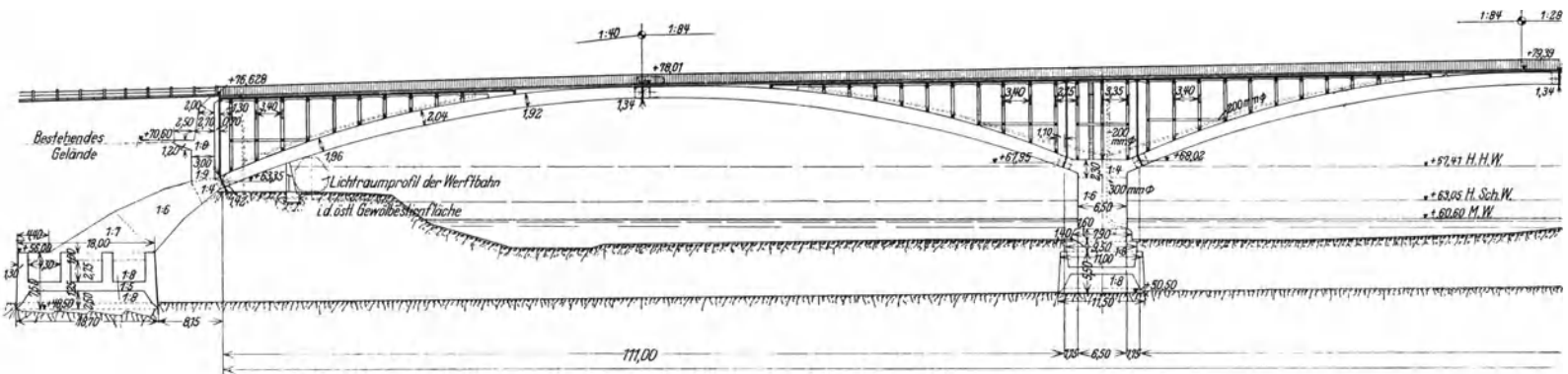


Abb. 4. Entwurf Grün & Bilfinger A.-G.,

1. Kennwort „Um 1930“, Verfasser Heinrich Butzer, Köln-Dortmund, Professor Heinrich Spangenberg, München, und Architekt Fritz Fuß, Köln.

2. Kennwort „Eingelenkbogen“, Verfasser Ph. Holzmann A.-G., Düsseldorf.

3. Kennwort „Confluentes“, Verfasser Dyckerhoff & Widmann A.-G., Wiesbaden-Biebrich, Architekt Prof. Paul Meißner, Darmstadt.

4. Kennwort „Die große Linie“, Honnefwerke A.-G., Dinglingen (Baden), und Architekten Stähler und Horn,

Koblenz. (Dieser Eisenkonstruktions-Entwurf wegen seines städtebaulichen Grundgedankens.)

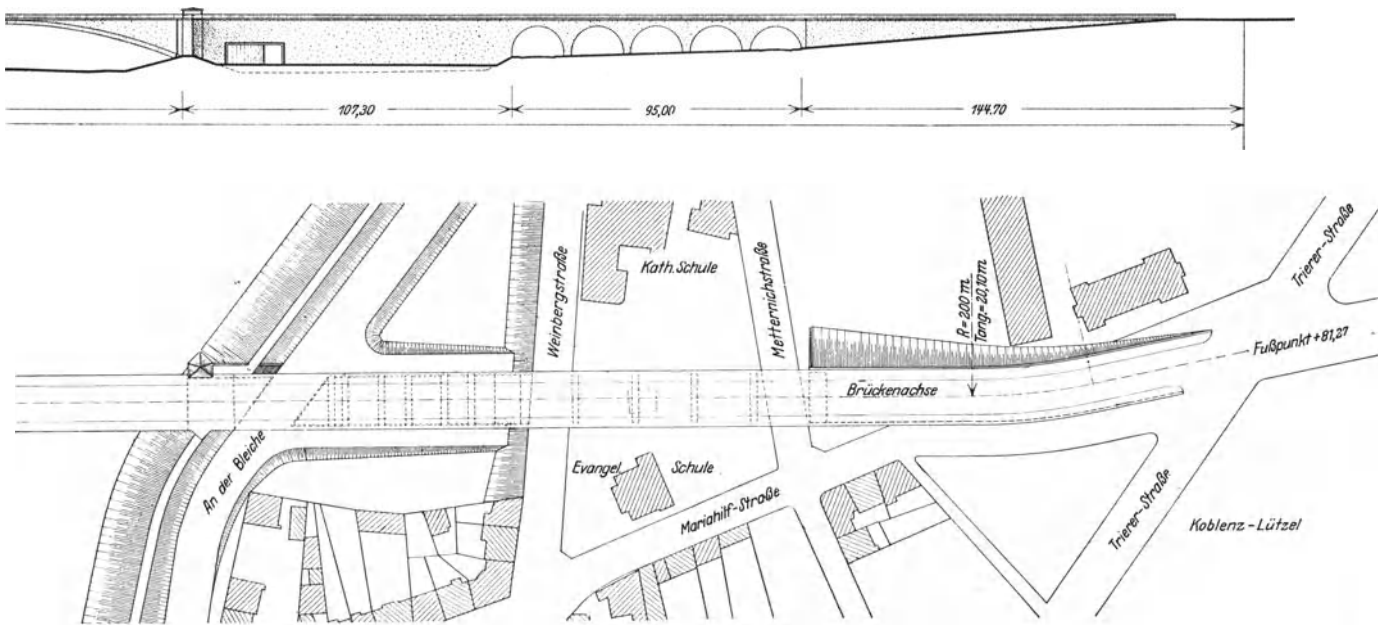
Außerdem wurde empfohlen, den Entwurf „Brücke und Kunstwerk“, Verfasser Firma Jäger G. m. b. H., Trier, außerhalb des Wettbewerbes anzukaufen.

Die folgenden Betrachtungen sollen sich nicht auf die vom Preisgericht ausgezeichneten Entwürfe beschränken, zumal von einem der Preisrichter, Professor Kayser, eine Besprechung dieser Entwürfe in der Zeitschrift „Beton und Eisen“ gegeben wird. Andererseits können auch nicht alle Ent-

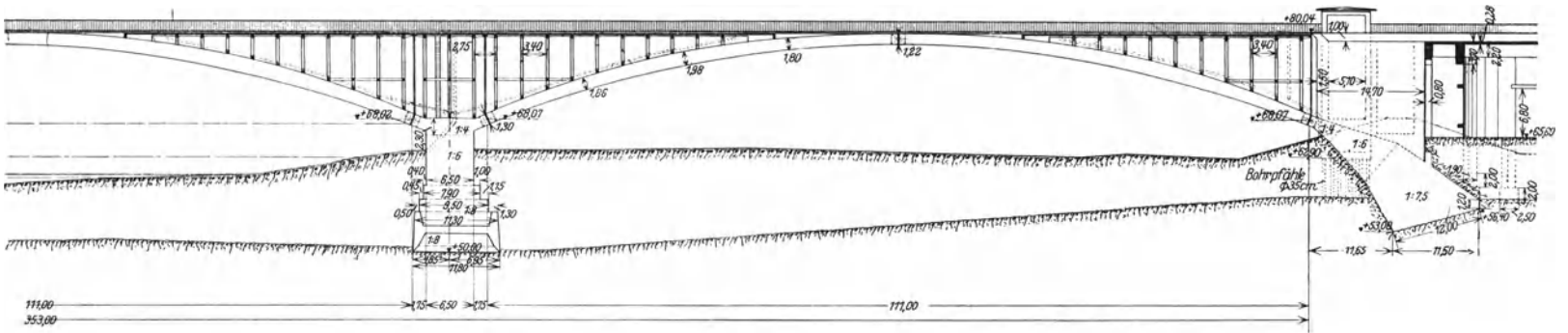
würde hier in gleicher Weise behandelt werden, vielmehr möchte ich versuchen, die Arbeiten nach bestimmten Gesichtspunkten zu gruppieren und vor allem einen Überblick darüber zu geben, welche grundsätzlich verschiedenen Lösungen von den Entwurfverfassern vorgeschlagen worden sind. Ich werde mich dabei nur mit der Konstruktion der drei großen Stromöffnungen und mit der eng damit verbundenen Aufgabe der baukünstlerischen Gestaltung des ganzen Brückenbauwerkes befassen; alle weiteren Fragen, wie die städtebauliche Gesamtanlage, die Lösung der Straßenanschlüsse, die interessanten Konstruktionen der Rampen, die schwierigen Gründungen für die Pfeiler und Widerlager der Strombrücke, müssen aus Mangel an Raum ausgeschaltet werden. Aus der Fülle der Entwurfsgedanken für die großen Öffnungen werde ich das hervorheben, was besonders charakteristisch, neuartig und vielleicht wertvoll für die künftige Entwicklung erscheint; bei gleichartigen Entwürfen kann ich nur einen typischen Vertreter herausgreifen, ohne damit ein Werturteil gegenüber den anderen Entwürfen dieser Gruppe abgeben zu wollen.

und Dipl.-Ing. Jauch, unterstützt, und ich bin der Firma Butzer besonders dankbar dafür, daß sie mir für die Konstruktion der großen Gewölbe bis in alle Einzelheiten freie Hand gelassen hat. Ist es einerseits ein Vorteil für die folgenden Betrachtungen, daß ich die Eigenart und die Schwierigkeit der Bauaufgabe aus eigener Erfahrung kenne, so bin ich mir andererseits bewußt, daß es für einen am Wettbewerb Beteiligten wohl kaum zu erreichen ist, in jeder Hinsicht objektiv zu sein. Um so mehr danke ich den beteiligten Firmen für das Vertrauen, das sie mir durch die Überlassung ihrer Entwürfe bewiesen haben.

Aus den technischen Unterlagen des Wettbewerbes, die sehr gut durchgearbeitet waren, sind folgende Punkte zu erwähnen. Wie aus dem Lageplan (Abb. 1) ersichtlich, dient jetzt nur die alte Balduinsbrücke, eine steinerne Brücke mit sehr engen Öffnungen, für den Straßenverkehr zwischen der Stadt Koblenz und dem linken Moselufer. Sie liegt kurz vor der Mündung der Mosel in den Rhein, etwas oberhalb kreuzt eine eiserne Eisenbahnbrücke den Fluß, und



Ansicht von Unterstrom und Grundriß.



Längenschnitt der Hauptöffnungen.

Eine besondere Schwierigkeit liegt bei dieser Betrachtung für mich darin, daß ich selbst an dem Wettbewerb beteiligt war. Ich bin seinerzeit der Aufforderung der Firma Heinrich Butzer zur Mitarbeit um so lieber gefolgt, als ich ein lebhaftes Interesse daran hatte, zwei Querschnittsformen, die mir für weitgespannte Wölbbrücken besonders geeignet erschienen, den schlaff bewehrten Kastenquerschnitt und den steifbewehrten Rippenquerschnitt, an einem praktischen Beispiel zu erproben und auch wirtschaftlich miteinander zu vergleichen. Bei der Ausarbeitung haben mich meine Assistenten, Dipl.-Ing. Stiegler

rund 180 m aufwärts von dieser ist die neue Straßenbrücke vorgesehen.

Auf dem rechten Moselufer ist der Platz vor der Falkensteinkaserne als Ausgangspunkt des Brückenzuges angenommen, der Endpunkt auf dem linken Ufer fällt mit der Vereinigungsstelle eines von Bonn, Mayen und Trier kommenden Straßensystems zusammen. Die Achse des Brückenzuges ist gradlinig, der Endpunkt liegt 8,67 m höher als der Ausgangspunkt, dazwischen sollten möglichst günstige Steigungsverhältnisse geschaffen werden. Die Achsen der beiden Pfeiler und die

Widerlagerfluchten für die eigentliche Strombrücke waren fest gelegt, jedoch war es gestattet, den rechten Stropfeiler etwas nach rechts zu verschieben. Die Pfeilerstärken und die Lichtweiten waren im Programm nicht vorgeschrieben, im Lageplan war aber eine Anordnung mit 6 m starken Pfeilern eingetragen, wobei sich Lichtweiten von 107 m und 2×115 m ergaben. Die drei großen Öffnungen sind nicht etwa wegen des Durchflußprofils, sondern wegen der jetzigen und künftigen Schiffsverhältnisse vorgesehen. Zur Zeit liegt die Fahrtrinne rechts, nach dem ersten Ausbau der oberhalb geplanten Staustufe der Moselkanalisierung geht die Schifffahrt durch die Mittelöffnung, in dem endgültigen Zustand durch die linke Öffnung. Der erste Strombogen überbrückt gleichzeitig die Wertstraße am rechten Moselufer, für die also das nötige Durchfahrtsprofil freizuhalten war; unter der hohen linksseitigen Rampe waren drei Straßenzüge, die Straße an der Bleiche, die Weinberg- und die Metternichstraße, hindurchzuführen.

Die Anordnung des Längsprofils (Abb. 2) war dadurch bedingt, daß man eine möglichst günstige Bauhöhe für die rechte Stromöffnung schaffen mußte. Deshalb haben die meisten Bewerber zunächst eine Höchststeigung von 1 : 40 bis zum Scheitel der ersten Öffnung oder bis an den ersten Stropfeiler angenommen und sind dann, zum Teil unter Einschaltung einer Übergangsstrecke, in flacher Steigung bis zum Endpunkt des Brückenzuges gegangen. Damit ergibt sich das Gesamtbild der Brücke etwa nach Abb. 3, welche die Übersichtszeichnung des Entwurfs der Firma Grün & Bilfinger A.-G. darstellt. Hierbei ist die Ansicht, ebenso wie die meisten folgenden Längsschnitte, vom Unterstrom gesehen. Die niedrige Rampe auf dem rechten Ufer hat keine baulichen Besonderheiten und ist von geringer Bedeutung für das ganze Brückenbild, das an diesem Ufer einen starken Abschluß durch die hohe Stützmauer längs der Wertstraße erhält. Dagegen erfordert die anfangs 18 m hohe und erst allmählich niedriger werdende Rampe auf dem linken Ufer besondere Konstruktionen in Form von Bogenstellungen, Balkenbrücken oder Stützmauern mit Unterführungen; sie steht mit der Strombrücke in engem baulichen und architektonischen Zusammenhang.

Die Brücke soll zunächst eine 12 m breite Fahrbahn und zwei Fußwege von je 3 m Breite erhalten, bei den Entwürfen waren aber auch ein zweites Ausbaustadium mit Verbreiterung der Fahrbahn um 6 m, also mit 24 m Gesamtbreite der Brücke, zu bearbeiten. Die vorgeschriebenen Belastungen entsprachen etwa der Norm für Straßenbrücken I. Klasse; für die Hauptträger war jedoch eine gleichförmig verteilte Belastung von 500 kg/qm und eine zweigleisige Schnellbahn mit Achslasten von 11 t vorgesehen, was für einen etwa 6 m breiten Streifen eine Belastung von rund 1000 kg/qm auf die ganze Brückenslänge bedeutet. Die zulässigen Beanspruchungen waren für Massivbrücken nach den Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton anzunehmen; damit ergab sich also für Eisenbetongewölbe eine höchste zulässige Druckspannung von 70 kg/qcm. Günstig war für gewölbte Brücken, daß für die Gründung der Strombrücke fester Fels vorhanden ist, der bis 15 kg/qm beansprucht werden durfte. Eine Erschwernis bildeten jedoch wie bei allen städtischen Brücken die zahlreichen und großen Versorgungsleitungen, die in gut zugänglicher Weise anzuordnen waren. Es war ein Wasser- und ein Gasrohr von 60 cm Durchmesser sowie zwei Röhre von 30 cm Durchmesser für Hochdruckgas durchzuführen, ferner war für Telegraphen- und Fernsprechleitungen ein Kanal von $2,0 \times 0,2$ m Querschnitt und möglichst entfernt davon ein solcher von $1,0 \times 1,1$ m Querschnitt für Starkstromleitungen vorzusehen.

Für die Bogenform und den Stich der großen Öffnungen war die Bestimmung maßgebend, daß die Bogenenden etwa 1,0 m in das höchste Hochwasser eintauchen konnten. Damit war für Dreigelenkbogen wohl auch gesagt, daß die Kämpfergelenke von diesem hier übrigens nur etwa alle zehn Jahre auftretenden Hochwasser berührt werden durften. Man sollte

in dieser Hinsicht überhaupt nicht zu ängstlich sein und durch zu rigorose Vorschriften den Stich von gewölbten Strombrücken verschlechtern. Es genügt im allgemeinen, wenn die Gelenke über den häufigen Hochwässern liegen. Die Pfeilverhältnisse der drei großen Strombögen werden trotzdem hier noch klein genug und betragen bei allen Entwürfen weniger als 1 : 10. Da der Durchschnittswert der Spannweite für die Mittelöffnung zu etwa 110 m angenommen werden kann, ergibt sich für den Quotienten von Spannweite und Pfeilverhältnis im Mittel der Wert von $\frac{l^2}{f} = 1200$. Diese Zahl, die neben der Spannweite einen guten Maßstab für die Kühnheit einer gewölbten flachen Brücke gibt, gestattet einen Vergleich der hier zu lösenden konstruktiven Aufgabe mit den bedeutendsten bisher ausgeführten oder im Bau begriffenen Wölbbrücken. Wie die Tabelle 1 zeigt, gibt es zwar schon Massivbrücken von

Tabelle 1.

A. Ausgeführte gewölbte Brücken: Spannweite $l > 100$ m:	l	$\frac{f}{l}$	$\frac{l^2}{f}$
1. Tiber-Brücke in Rom, 1911	100,0	1 : 10,0	1000
2. Talbrücke bei Langwies, 1914	100,0	1 : 2,38	238
3. Hundwiltobelbrücke, 1925	105,0	1 : 2,92	307
4. Mississippi-Brücke bei Minneapolis, 1923	121,9	1 : 4,45	544
5. Seine-Brücke bei St. Pierre du Vauvray, 1923	131,8	1 : 5,27	695
B. Gewölbte Brücken im Bau: "			
$l > 100$ m:			
1. Tweed-Brücke bei Berwick	110,0	1 : 7,92	870
2. Caille-Brücke bei Cruseilles (Hoch-Savoyen)	139,8	1 : 5,2	728
3. Elorn-Brücke bei Brest	$3 \times 180,0$	1 : 5,46	985
C. Zum Vergleich:			
1. Rhône-Brücke bei Yenne, 1916	95,0	1 : 10,6	1007
2. Syratal-Brücke bei Plauen i. V., 1905	90,0	1 : 5,5	495
3. Lech-Brücke bei Augsburg	76,8	1 : 11,9	915

größerer Spannweite, jedoch ist bis jetzt nur bei zwei Brücken, der Tiberbrücke in Rom und der Rhônebrücke bei Yenne, der Wert $\frac{l^2}{f} = 1000$ erreicht worden. In den beiden letzten Zeilen der Tabelle ist zum Vergleich auch die weitestgespannte und die kühnste Massivbrücke in Deutschland angeführt.

Allgemein kann über die 15 Entwürfe mit weit gespannten Gewölben folgendes gesagt werden. In statischer Beziehung sind für die drei Hauptöffnungen durchweg Dreigelenkbogen mit Stahlgelenken vorgeschlagen worden, wobei jedoch eine Firma vorsieht, die Kämpfergelenke nach Baubeendigung zu schließen, so daß die Gewölbe dann als zweifach statisch unbestimmte Eingelenkbogen wirken. Bis auf einen Entwurf mit Stampfbetongewölben haben alle Firmen Eisenbetonbögen verwendet. Die Aufbauten auf den Gewölben sind zur Gewichtsverminderung durchweg in aufgelöster Eisenbetonkonstruktion ausgeführt; die Fahrbahntafeln sind Plattenbalkendecken, teilweise mit kreuzweise bewehrten Platten. Nach außen sind die Aufbauten zumeist durch Stirnwände aus Eisenbeton geschlossen. Für die Gründung der Stropfeiler und des rechten Widerlagers, bei dem der Fels sehr tief liegt, ist größtenteils Preßluftgründung mit Eisenbetonsenkkräften und nur vereinzelt offene Gründung mit eisernen Spundwänden vorgesehen. Die letztere ist allgemein für das linke Widerlager angewandt, bei dem der Fels wesentlich höher liegt. Für die spätere Verbreiterung hat die große Mehrzahl der Bewerber den Vorschlag

gemacht, entweder ober- oder unterstrom noch eine besondere 6,0 m breite selbständige Bogenbrücke an die Brücke des ersten Ausbaues anzubauen, wobei teilweise die Pfeilergründungen von vornherein in voller Breite ausgeführt werden sollen. Nur zwei Firmen haben für die Verbreiterung die spätere Anlage von 3,0 m breiten auskragenden Fußwegen an jeder Brückenstirn vorgesehen. Diese Ausführung erscheint weniger einfach, und die großen Auskragungen werden überdies die architektonische Erscheinung der flachen Bögen recht ungünstig beeinflussen.

Hinsichtlich der Querschnittsanordnung der Strombögen lassen sich die Entwürfe in folgende drei Gruppen einteilen:

1. Volle Tonnengewölbe — 3 Entwürfe —
2. Aufgelöste Bogenkonstruktion in Eisenbeton unter Verwendung von Lehrgerüsten — 6 Entwürfe —
3. Rippenbogen mit steifer Bewehrung ohne Verwendung von Lehrgerüsten — 6 Entwürfe.

2. Entwürfe mit vollen Tonnengewölben.

Zu der ersten Gruppe gehört der vom Preisgericht für die Ausführung empfohlene Entwurf der Firma Grün & Bilfinger A.-G., von dem Abb. 4 den Längsschnitt durch die Stromöffnungen zeigt. Die Mittelöffnung hat zwischen den Kämpfergelenken eine Spannweite von 111 m, ihr Stich ist 1 : 10,7, so daß sich der Wert $\frac{l^2}{f} = 1185$ ergibt.

(Es werden hier wie bei den anderen Entwürfen nur die Zahlen für die Mittelöffnung angegeben, da die beiden Seitenöffnungen stets ganz ähnliche Systemabmessungen haben.) Das gute Pfeilverhältnis ist durch die sehr geringe Scheitelstärke von 1,34 m, das ist $\frac{1}{83}$ der Spannweite, erreicht, die Stärke der Bruchfuge beträgt 2,09 m. Bei so schlanken Tonnengewölben wird die Knicksicherheit des Bogens in lot-rechter Richtung schon recht gering, so daß man die versteifende Wirkung des Aufbaues mit in Rechnung stellen muß. Aus den Querschnitten der Abb. 5 erkennt man, daß das Gewölbe aus zwei Ringen von 7,17 m Breite besteht, die durch einen mittleren Schlitz von 1,6 m Breite getrennt sind; die Fußwege kragen um 1,2 m seitlich aus. Auf diese Weise ist eine gewisse Auflösung des Gewölbequerschnitts erreicht, denn seine Breite beträgt 80% der nutzbaren Brückenbreite. Schwierigkeiten bereitet bei den Vollgewölben die Unterbringung der Versorgungsleitungen. Hier sind die Rohrleitungen in geschickter Weise in dem Mittelschlitz angeordnet, der durch eine Eisenbetonplatte überdeckt ist; ein Besichtigungswagen dient für die Revision der Leitungen. Die Starkstromkabel sind nicht wie in den Bedingungen vorgeschrieben in einem 1,1 x 1,0 m großen Kanal untergebracht, sondern in einem niedrigen, breiten Kasten unter den einen Fußweg gelegt.

Solche Gewölbe in zwei Ringen sind ja schon häufig ausgeführt worden, zuerst wohl von Séjourné bei der Petrussebrücke in Luxemburg. Sie haben statisch den Nachteil, daß die Randzonen der Gewölbe neben dem Mittelschlitz stärker belastet sind. Dieser Umstand tritt hier besonders in Erscheinung, weil die erhöhte Belastung durch die Schnellbahn gerade auf diese Ränder trifft. Berechnet ist das Gewölbe

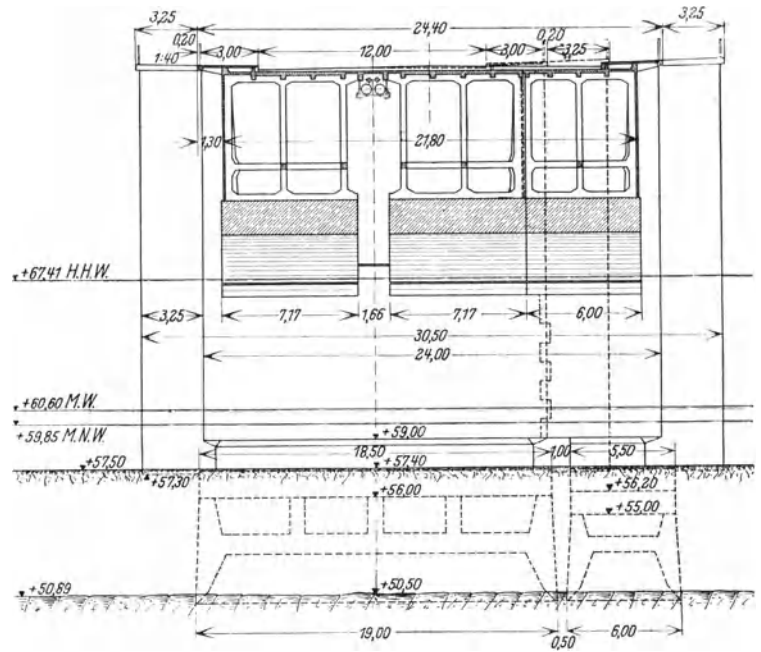


Abb. 6. Entwurf Grün & Bilfinger A.-G., Brückenquerschnitt mit 2. Ausbau und Ansicht des rechten Strompfeilers.

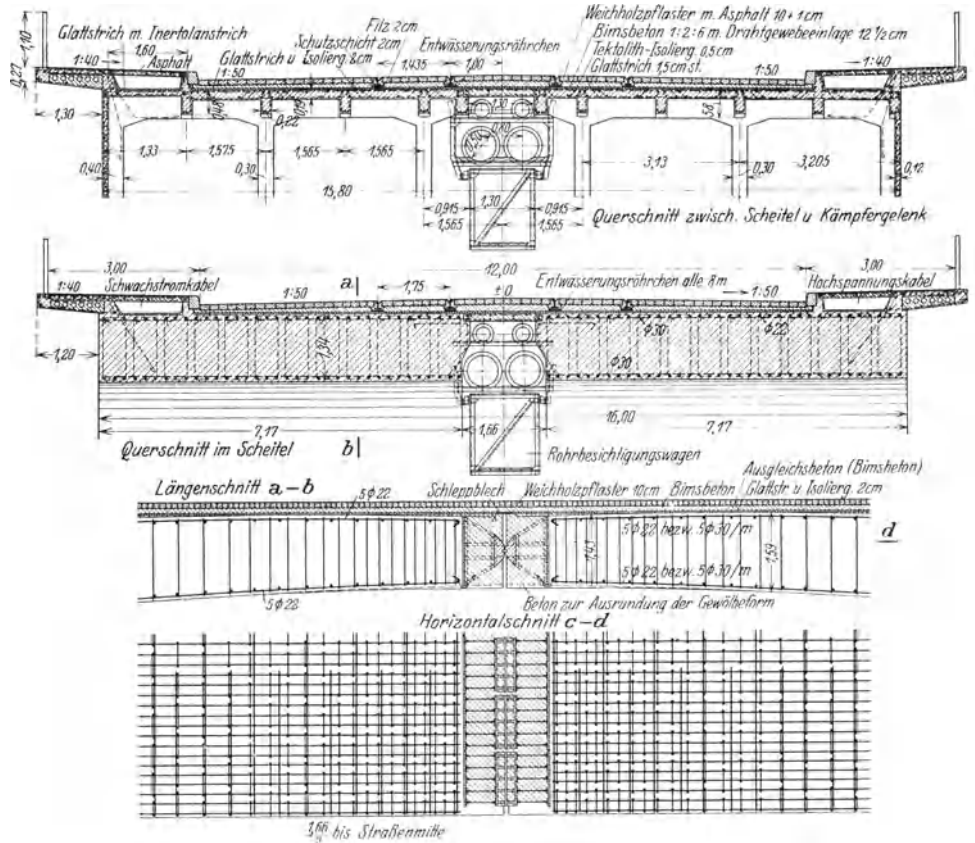


Abb. 5. Grün & Bilfinger A.-G., Fahrbahntafel, Scheitelquerschnitt und Scheitelgelenk.

in der Weise, daß diese Mehrbelastung gleichmäßig auf die volle Breite mit verteilt ist, und es entsteht bei dieser sehr günstigen Annahme in dem mit nur 0,18% bewehrten Gewölbe eine größte Druckspannung von 71 kg/qcm. Konstruktiv ist diese Mehrbelastung nur durch eine etwas verstärkte Armierung der Gewölbe neben dem Mittelschlitz berücksichtigt. Rechnet man dagegen, ähnlich wie bei Eisenbahnbrücken, die Last der Schnellbahn nur auf die dazugehörigen Gewölbestreifen, so steigt die größte Druckspannung über 90 kg/qcm.

Bei dieser Annahme wäre die Dimensionierung des Gewölbes für 70 kg/cm² Höchstspannung weit schwieriger gewesen und hätte mindestens eine sehr starke Bewehrung der inneren Randzonen erfordert. Dieser Umstand verdient deshalb Beachtung, weil bei den Entwürfen mit Rippengewölben meist eine viel vorsichtigere Lastverteilung angenommen worden ist, so daß also die Vergleichsgrundlage zugunsten des Vollgewölbes verschoben ist. Wenn dieser Entwurf auch nichts grundsätzlich Neues bietet, so zeigt er doch eine hervorragende Beherrschung der bisherigen Erfahrungen im Wölbbrückenbau und ist bis auf alle Einzelheiten auf das sorgfältigste durchgearbeitet. Er ist zweifellos der beste Entwurf mit vollen Tonnengewölben und hat aus dieser Konstruktionsform herausgeholt, was irgend möglich ist. Der Horizontalschub aus Eigengewicht beträgt 650 t/m und liegt damit nicht allzuweit über den Werten bei guten Entwürfen mit aufgelösten Querschnitten. Der Gesamtpreis von 3,7 Mill. M. ist mit Rücksicht auf die

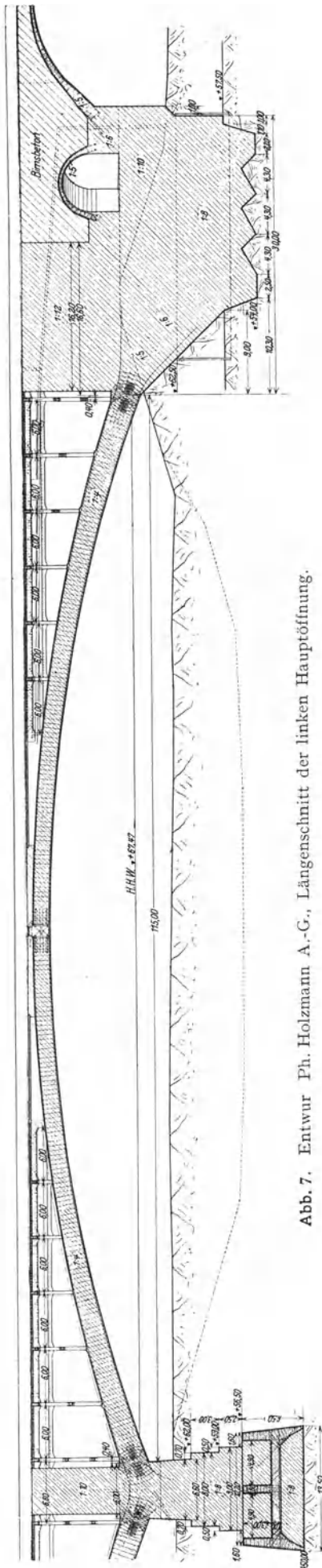


Abb. 7. Entwurf Ph. Holzmann A.-G., Längenschnitt der linken Hauptöffnung.

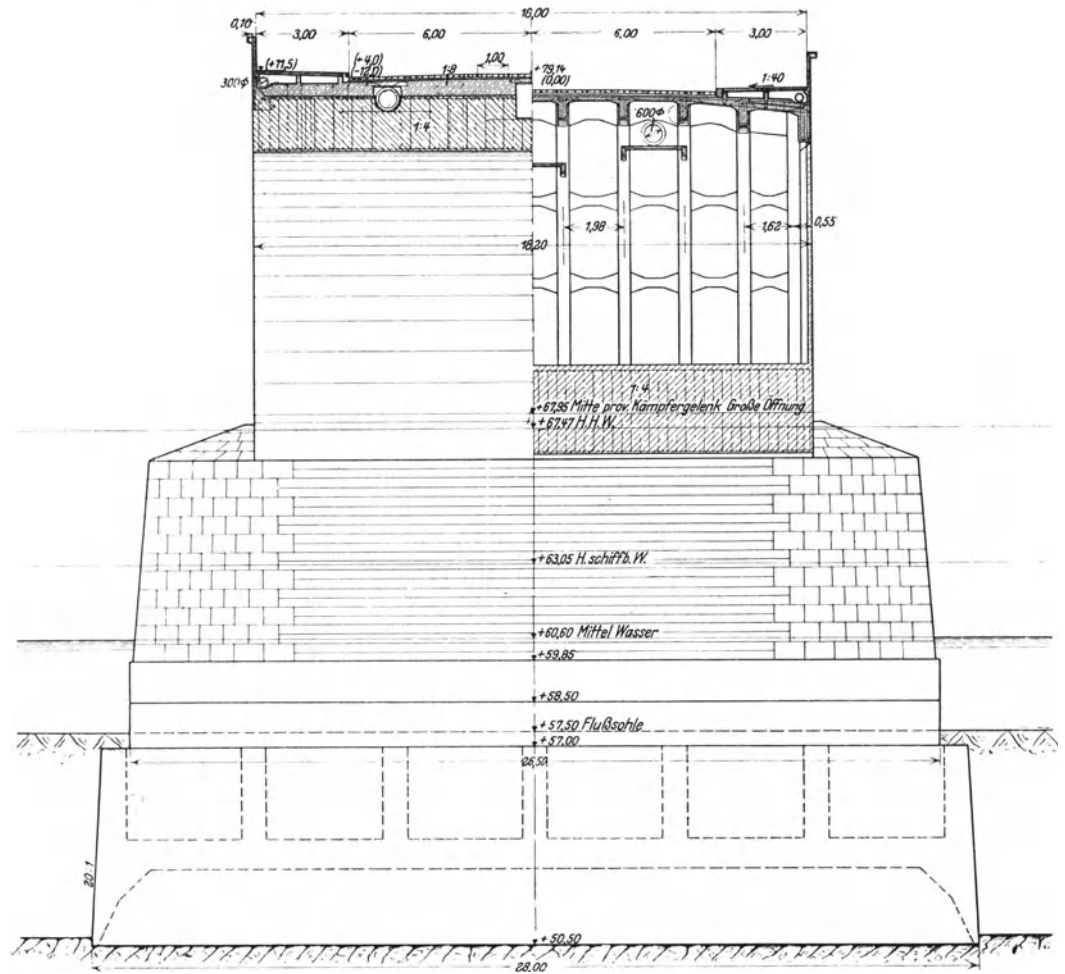


Abb. 8. Entwurf Ph. Holzmann A.-G., Querschnitte im Scheitel und Kämpfer der Hauptöffnungen.

großen Massen der Vollgewölbe als sehr günstig zu bezeichnen. Abb. 6 zeigt einen Querschnitt in der Nähe des rechten Strompfeilers mit der Anordnung der Verbreiterung durch ein besonderes 6 m breites Gewölbe, das auch auf besondere Senkkästen neben den Pfeilern des ersten Ausbaus gegründet werden soll, wobei die Vorköpfe auf dieser Seite der Pfeiler abgebrochen werden müssen.

Der an zweiter Stelle angekaufte Entwurf der Firma Ph. Holzmann A.-G. gehört auch in die Gruppe der Vollgewölbe und zwar ist er derjenige Entwurf, bei dem die Kämpfergelenke nach Fertigstellung der Brücke geschlossen werden sollen, so daß die großen Gewölbe dann Eingelenkbogen sind. Da hier der Baugrund aus gutem Felsboden besteht, ist natürlich ein statisch unbestimmtes Tragwerk ohne jede Bedenken möglich. Der Eingelenkbogen ist bei dem kleinen Stich sicher günstiger als der eingespannte Bogen und ist auch dem Zweigelenkbogen zweifellos überlegen, weil dieser eine zu große Scheitelstärke erfordern würde. Gegenüber dem Dreigelenkbogen bietet aber der Eingelenkbogen für die Dimensionierung der Gewölbe hier wohl keine Vorteile. Die Verkehrsspannungen werden im Viertel der Spannweite zwar kleiner als beim Dreigelenkbogen, jedoch machen die Spannungen, die infolge Temperaturänderung und Schwinden nach Baubeendigung auftreten, diesen Gewinn wieder zunichte. Ein konstruktiver Vorzug ergibt sich unter

Umständen daraus, daß die Lage der einbetonierten provisorischen Kämpfergelenke vom Wasserstande unabhängig ist. Die Mittelöffnung des Holzmannschen Entwurfes ist 115 m weit gespannt, bei einem Stich von $\frac{1}{12}$; die Kühnheitszahl $\frac{l^2}{f} = 1385$ ist die höchste von allen Entwürfen. Die Scheitelstärke beträgt 1,8 m, die Kämpferstärke 2,75 m, die Bewehrung von 1% ist für ein Vollgewölbe schon sehr beträchtlich. Abb. 7 zeigt den Längsschnitt der linken Seitenöffnung, Abb. 8 Ge-

Entwurf ist schwerer als alle anderen Eisenbetontwürfe, sein Preis von 6,65 Mill M. erscheint auch dann noch hoch, wenn man berücksichtigt, daß er bereits für die Lasten der vollen Breite von 24 m konstruiert ist und daß bei seiner Ausführung eiserne Lehrgerüste verwendet werden sollen, die rund 50000 M. teurer als hölzerne Gerüste sind.

Zu den Vollgewölben gehört noch ein Entwurf mit Stampfbetonbögen von der Firma Hanebeck und Dipl.-Ing. Baumstark in Dortmund. Dieser Entwurf ist gleichfalls schwer und teuer, auch muß gegen ihn eingewendet werden, daß man bei Bögen von dieser Spannweite und Kühnheit nicht auf die Erhöhung der Sicherheit verzichten sollte, die eine Armierung des Gewölbes bietet. Ich darf deswegen auf die Ausführungen meines Vortrages auf der vorjährigen Hauptversammlung des Deutschen Betonvereins hinweisen¹.

3. Aufgelöste Bogenkonstruktionen in Eisenbeton unter Verwendung von Lehrgerüsten.

Bei der zweiten Gruppe, den aufgelösten Bogenkonstruktionen in Eisenbeton unter Verwendung von Lehrgerüsten, sind zwei Ausführungsformen für die Gliederung der Querschnitte zu unterscheiden; Rippenquerschnitte und kastenförmige Querschnitte. Zu der ersten Art gehört der an dritter Stelle angekaufte Entwurf von Dyckerhoff u. Widmann A.-G. Er ist einer der leichtesten Entwürfe und die Auflösung des Bogenquerschnittes der Hauptöffnungen (Abb. 9) ist sehr weitgehend in 15

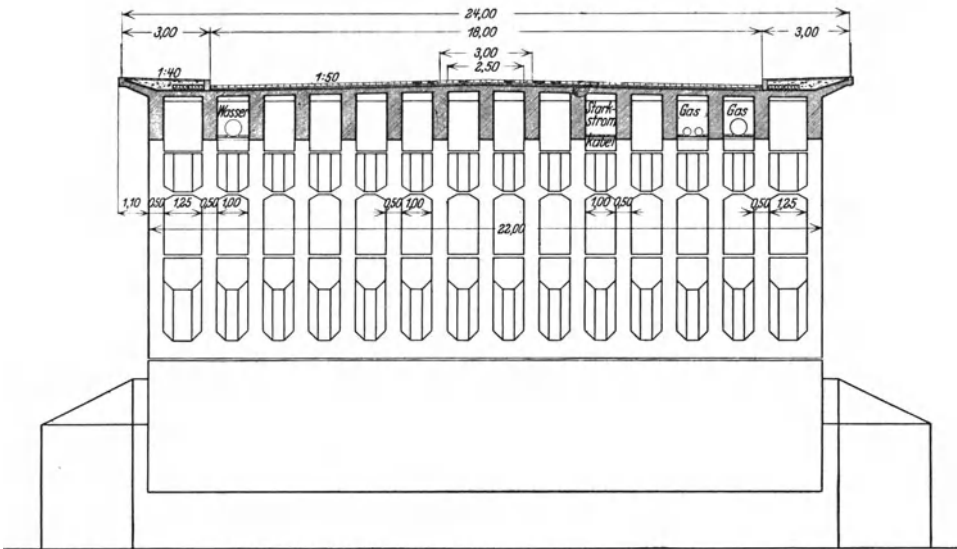


Abb. 9. Entwurf Dyckerhoff & Widmann A.-G., Querschnitt im Scheitel der linken Hauptöffnung.

wölbequerschnitte am Scheitel und am Kämpfer. Um die Leitungen am Scheitel nicht zu weit in das Gewölbe einschneiden zu lassen, ist ein ziemlich starker Überbeton vorgesehen, wodurch Konstruktionshöhe und Eigengewichtsbelastung im Scheitel vergrößert wird. Die nachträgliche Verbreiterung soll hier durch 3 m breite Auskragungen erfolgen, für deren Verankerung unter

nur 50 cm breite, rechteckige Rippen erfolgt, die ziemlich stark — mit 2% — armiert sind. Im Scheitel ist ein durchgehendes Druckhaupt vorgesehen, das allerdings zur Durchführung der großen Leitungen an einigen Stellen unterbrochen werden muß. Die konstruktive Lösung hierfür ist im Entwurf nicht dargestellt; bei etwas anderer Gruppierung der Leitungen wird

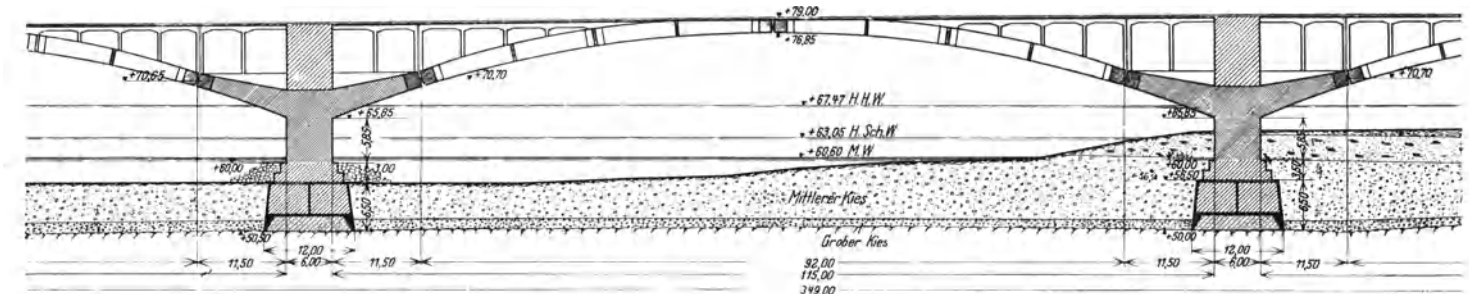


Abb. 10. Entwurf Dyckerhoff & Widmann A.-G., Längsschnitt der Mittelöffnung.

den Fußwegen des ersten Ausbaus Anschlußisen vorgesehen sind, die durch Wegspitzen des Betons freigelegt werden müssen. Diese Ausführung wird nicht ganz einfach sein, auch werden die äußeren Randzonen der Gewölbe durch die großen Auskragungen später ziemlich stark beansprucht werden. Die ganze Brücke muß hier naturgemäß schon im ersten Ausbau für die Lasten der späteren Breite von 24 m bemessen sein. Rechnet man zum Vergleich nur den Anteil der Kräfte auf 18 m Breite, so ergibt sich hier doch noch ein Horizontalschub aus Eigengewicht von 860 t/m gegenüber 650 t/m bei dem Entwurf von Grün und Bilfinger A.-G. Der Entwurf der Firma Ph. Holzmann ist gleichfalls sehr eingehend und sorgfältig durchgearbeitet und es ist sehr dankenswert, daß die Anwendung des Eingelenkbogens für ein so weitgespanntes flaches Gewölbe untersucht worden ist. Allerdings kann man aus dem Ergebnis nicht den Eindruck gewinnen, daß der Eingelenkbogen hier dem Dreigelenkbogen konstruktiv oder wirtschaftlich überlegen ist. Der

sie sich aber ohne prinzipielle Schwierigkeiten in befriedigender Weise ermöglichen lassen. Das Eigentümliche dieses Entwurfes ist die aus dem Längsschnitt (Abb. 10) ersichtliche starke Auskragung der Kämpfergelenke, wodurch sich die große Leichtigkeit der eigentlichen Bogenkonstruktion erklärt, deren Horizontalschub aus Eigengewicht nur 340 t/m gegen 650 t/m bei dem Entwurf von Grün und Bilfinger A.-G. beträgt. Die Kragarme sind von der Pfeilerflucht gemessen 11,5 m lang, sodaß die Spannweite des Bogens auf 92 m verkleinert wird. In noch stärkerem Maße wird dabei allerdings die Pfeilhöhe verringert, sodaß das Pfeilverhältnis beim Mittelbogen 1 : 13, bei der rechten Stromöffnung sogar nur 1 : 14 beträgt. Derartige Werte sind bei so weitgespannten Bögen noch nicht zur Anwendung gekommen und wohl auch nicht ohne Be-

¹ Vergl. Spangenberg: „Über einige grundsätzliche Fragen bei der Konstruktion gewölbter Brücken.“ Die Bautechnik 1927 Heft 25 und 27.

denken. In den langen Kragarmen entstehen geringe Zugspannungen. Wie in einer Variante des Entwurfes gezeigt ist, lassen sich diese vermeiden, wenn man die Kragarme nach der Stützlinie für Eigengewicht formt, wobei man allerdings die innere Leibung beim Anschluß an den Pfeiler etwa 2 m tiefer herunterziehen muß. Nach dem Entwurf soll die Brücke von vornherein für die volle Breite von 24 m ausgeführt werden, weil dies der Firma als wirtschaftlichste Lösung erscheint. Mit Rücksicht hierauf ist der Preis von 4,2 Mill. M. als sehr günstig zu bezeichnen. Ist die Auskragung der Kämpfergelenke bei diesem Entwurf vielleicht auch etwas weit getrieben, so zeigt er doch deutlich, daß diese Maßnahme wirtschaftliche Vorteile bietet. Bei zuverlässigem Baugrund, namentlich bei Felsboden, erscheint sie auch statisch unbedenklich und eine Abneigung dagegen ist wohl mehr gefühlsmäßig.

Ein interessanter Rippenentwurf ist auch von der Firma Grün u. Bilfinger A.-G. in Verbindung mit Oberbaurat Emperger eingereicht worden. Wie Abb. 11 zeigt, sind sechs rechteckige Rippen von 1 m Breite paarweise durch zahlreiche Querwände miteinander verbunden, so daß drei Zwillingsrippen entstehen. Die Bewehrung ist ziemlich reichlich, im Mittel 2%, und besteht in der Hauptsache aus Profileisen, die aber nicht etwa wie bei Melanbögen ein freitragendes Gerippe bilden, sondern die Bögen müssen wie sonst bei schlaffer Bewehrung auf Lehrgerüsten erbaut werden. Außer der Längsbewehrung ist eine Art Umschnürung durch ringförmige Bügel aus 6 mm

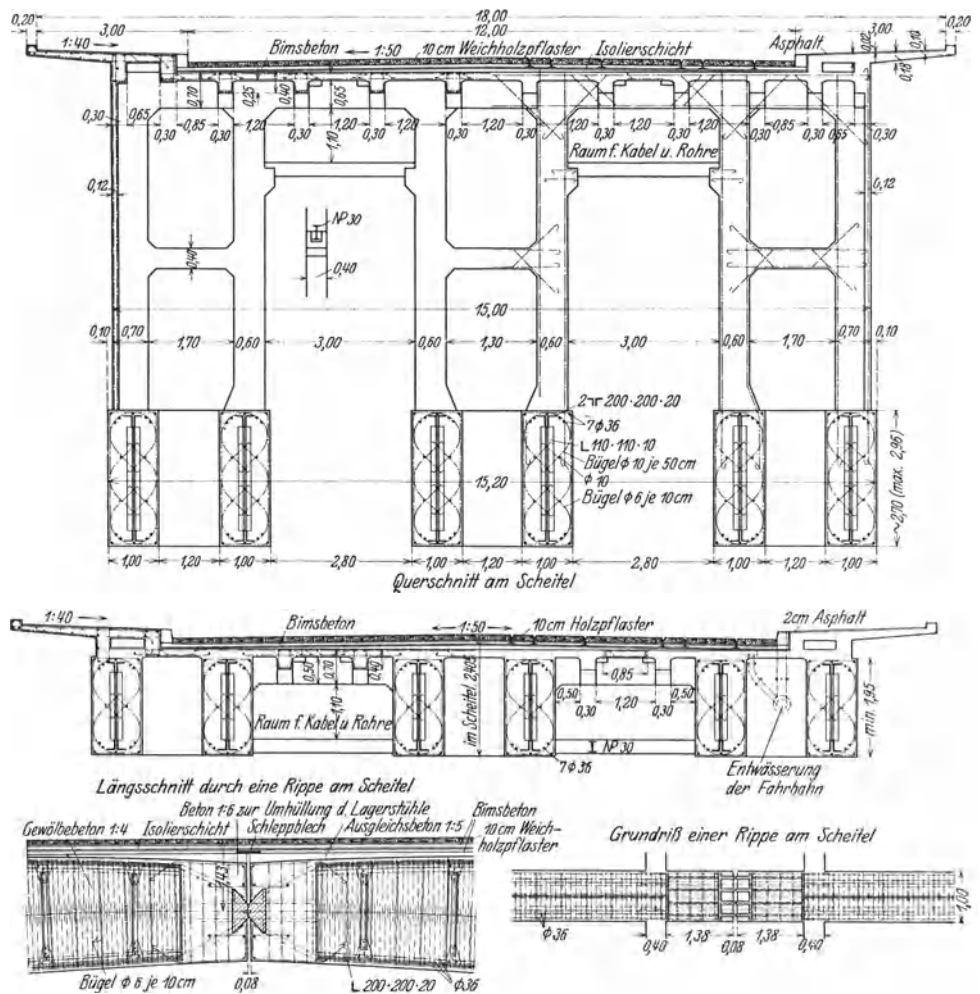


Abb. 11. Entwurf Grün & Bilfinger A.-G.-Emperger, Bogenquerschnitte u. Scheitelgelenk.

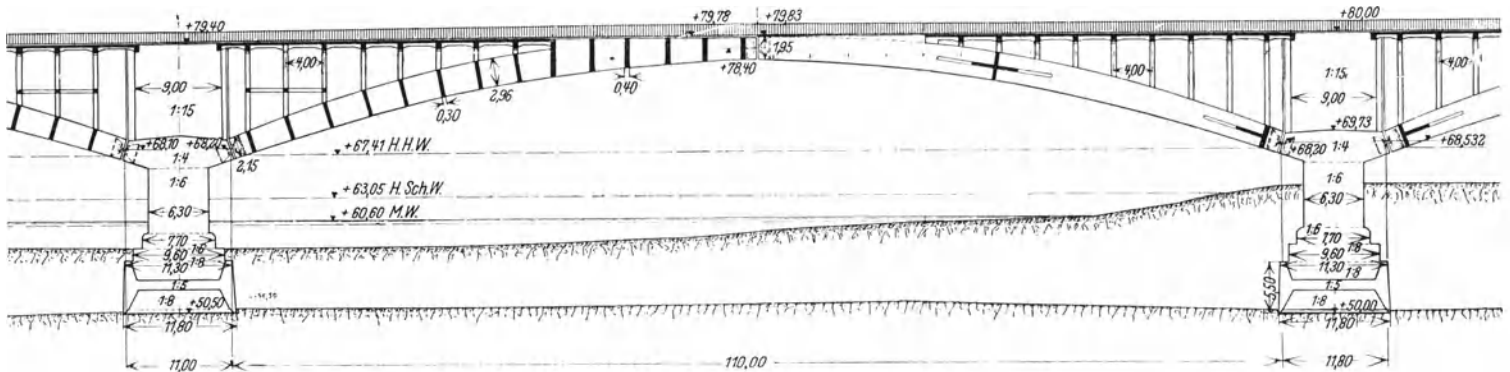


Abb. 12. Entwurf Grün & Bilfinger A.-G.-Emperger, Längsschnitt der Mittelöffnung.

starkem Stahldraht in 10 cm Abstand vorgesehen, die nach Versuchen von Emperger die Bruchsicherheit wesentlich erhöhen soll. Im Längsschnitt, Abb. 12, erkennt man links die zahlreichen Querverbindungen zwischen den beiden Rippen eines Paares, während rechts die gegenseitige Querversteifung der drei Zwillingsrippen dargestellt ist. Diese ist nur im Kämpfer und im Viertel der Spannweite vorgesehen, während im Scheitel lediglich die Fahrbahnplatte als Querverband dient. So sehr diese Anordnung die Durchführung der Leitungen am Scheitel erleichtert, so sollte doch wohl gerade hier noch eine stärkere Querversteifung angeordnet werden, zumal die Last der Schnellbahn auf zwei Rippenpaare verteilt gerechnet ist. Im Ganzen läßt der Entwurf die Hand des erfahrenen Brückenbauers erkennen.

Von der Firma Grün u. Bilfinger A.-G. ist noch ein weiterer

sehr origineller Rippenentwurf eingereicht worden, der in Abweichung von allen anderen Entwürfen mit starken Biegebbeanspruchungen arbeitet. Bei ihm haben die Kragarme an den Pfeilern eine Länge von rund 22 m und sind als schmale und hohe Eisenbetonplattenbalken ausgebildet. Zwischen den Enden der Kragarme spannen sich, gleichfalls in sechs Rippen aufgelöst, spitzbogenartige Dreigelenkrahmen von rund 70 m Spannweite. Eine kritische Würdigung des Entwurfes würde über den Rahmen dieses Berichtes hinausgehen. Es ist hier übrigens genau der gleiche Entwurfsgedanke verwendet worden, wie ihn die Firma bereits bei dem Wettbewerb für die Friedrich-Ebert-Brücke in Mannheim unter dem Kennwort „Geist der Gotik“ gebracht hat. Es kann daher auf die Besprechung dieses Wettbewerbes von Prof. Gaber in der Zeitschrift „Die Bau-technik“ 1925, Heft 22 u. 31 verwiesen werden.

Die andere Art der Querschnittsauflösung dieser Gruppe, die Kasten- oder Zellenform, ist im Ausland schon mehrfach verwandt worden, in Deutschland ist man neuerdings wohl durch den in der Zeitschrift „Die Bautechnik“ 1927, Heft 38, abgebildeten Wettbewerbsentwurf der Firma Waysss u. Freytag A.-G.

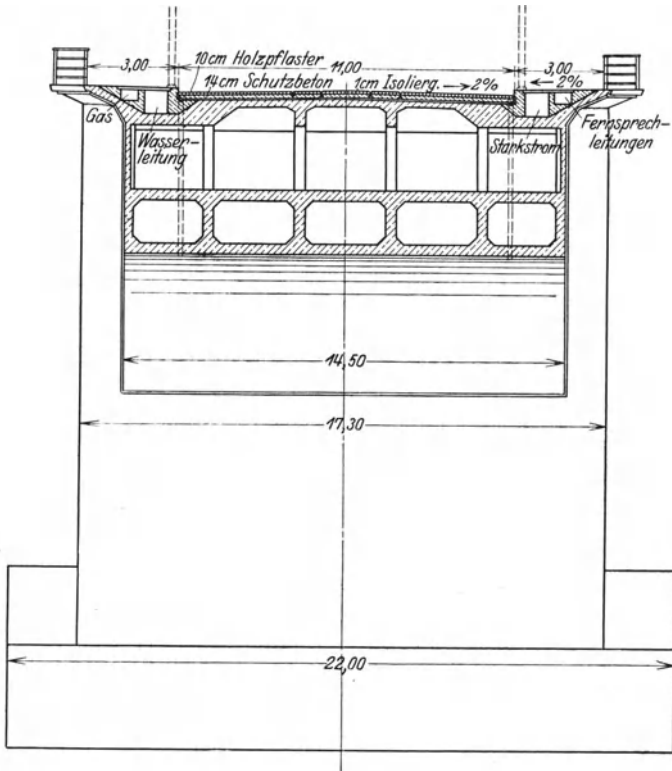


Abb. 13. Brückenquerschnitt des Wettbewerbsentwurfes Waysss & Freytag A.-G., für die Lechbrücke bei Augsburg.

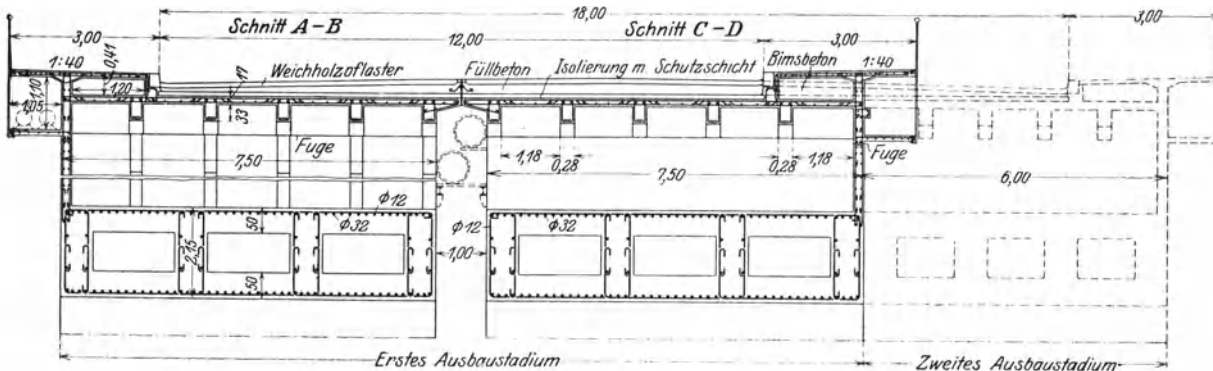


Abb. 14. Entwurf Jager G. m. b. H., Querschnitt der Hauptöffnung.

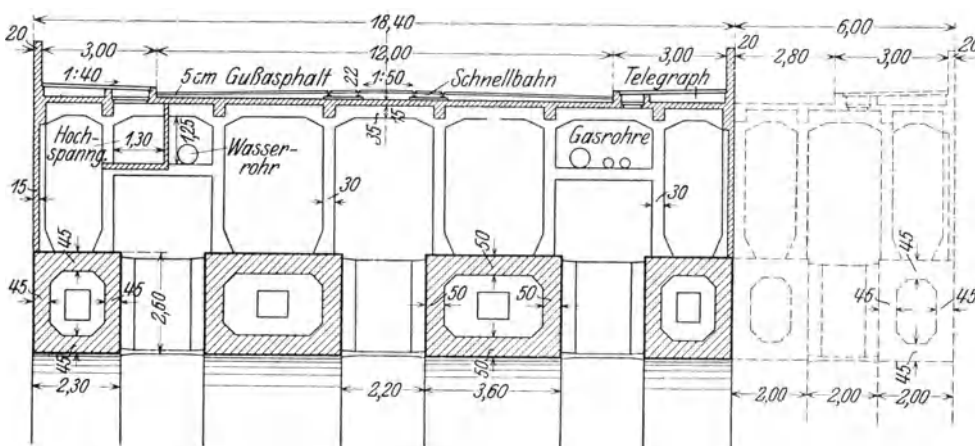


Abb. 15. Entwurf Butzer-Spangenberg, Querschnitt der rechten Stromöffnung.

für die Lechbrücke bei Augsburg wieder auf sie aufmerksam geworden. Abb. 13 zeigt den Querschnitt dieses Entwurfes etwa im Viertel der Spannweite. Genau den gleichen Querschnitt verwendet die A.-G. für Beton- u. Monierbau bei ihrem Koblenzer Entwurf, nur ist dabei gegen den Scheitel der Bögen hin der Zellenquerschnitt in einen Rippenquerschnitt übergeführt. Ähnlich ist auch der Entwurf der Firma Jager in Trier, dessen Querschnitt Abb. 14 gibt. Jedoch ist hier wie bei dem zuerst besprochenen Entwurf von Grün u. Bilfinger A.-G. ein mittlerer Schlitz für die Durchführung der großen Rohrleitungen angeordnet. Die kleineren Rohre und die Starkstromkabel liegen auf durchgehenden Konsolplatten, was für die architektonische Wirkung der Gewölbe nicht vorteilhaft ist. Die Bewehrung des Hohlquerschnittes müßte wohl noch vervollkommen werden; im Prinzip deckt er sich mit dem des Pont de la Tournelle, einer flachen Brücke von 73 m Weite und rund $\frac{1}{10}$ Stich, die jetzt über die Seine in Paris, etwas oberhalb von Nötre-Dame, gebaut worden ist.²

Eine Verbindung von Rippen- und Kastenquerschnitt ist der eine Entwurf, den ich gemeinsam mit der Firma Heinrich Butzer bearbeitet habe und der vom Preisgericht an erster Stelle zum Ankauf vorgeschlagen worden ist. Die Bögen bestehen aus 4 hohlen Eisenbetonrippen, von denen die beiden Mittelrippen 3,6 m, die Randrippen 2,3 m breit sind (Abb. 15); die Bewehrung beträgt 0,6% des Querschnittes. Beim Hauptbogen ist die Höhe der Rippen im Scheitel 2,3 m, am Kämpfer 2,4 m und in der Bruchfuge 2,8 m, die Wandstärke ist 55 cm bei den Mittelrippen und 45 cm bei den Randrippen. Aller 6,0 m sind die Rippen nicht nur durch lotrechte Querwände mit Vouten gegeneinander versteift, sondern haben auch im Innern Querschotten, welche Mannlöcher besitzen, damit das Innere der Kästen jederzeit besichtigt werden kann. In dem Längsschnitt des Hauptbogens (Abb. 16) sieht man links die Querversteifungen zwischen den 4 hohlen Rippen, während rechts ein Schnitt durch eine solche Rippe selbst gezeichnet ist, der die Anordnung der Querschotten in den Rippen erkennen läßt. In der Nähe des Kämpfers ist jede Rippe durch eine verschließbare Öffnung

in einer Seitenwand von außen zugänglich. Im Gegensatz zu einer Reihe anderer Entwürfe des Koblenzer Wettbewerbes sind hier die Querversteifungen wohl etwas zu zahlreich vorgesehen, zumal ja der Kastenquerschnitt an sich eine sehr hohe Querversteifigkeit besitzt. Die Bogenkonstruktion für die künftige Verbreiterung besteht aus 2 hohlen Eisenbetonrippen von nur je 2 m Breite. Da bei dem Entwurf die Brüstungen bündig mit den Stirnwänden liegen, kann die spätere Verbreiterung mit einem Mindestmaß von Abbrucharbeit an die Brückenkonstruktion des ersten Ausbaus angebaut werden.

Ein wesentlicher Unterschied dieses Entwurfes gegenüber den meisten übrigen Entwürfen besteht darin, daß die Stärke der Strompfeiler von 6,0 m auf 9,0 m vergrößert worden ist. Trotz der damit verbundenen Mehrkosten wurde diese Anordnung gewählt, nicht nur um kon-

2 Vergl. Le Génie Civil 1928, 1. Halbjahr, S. 249.

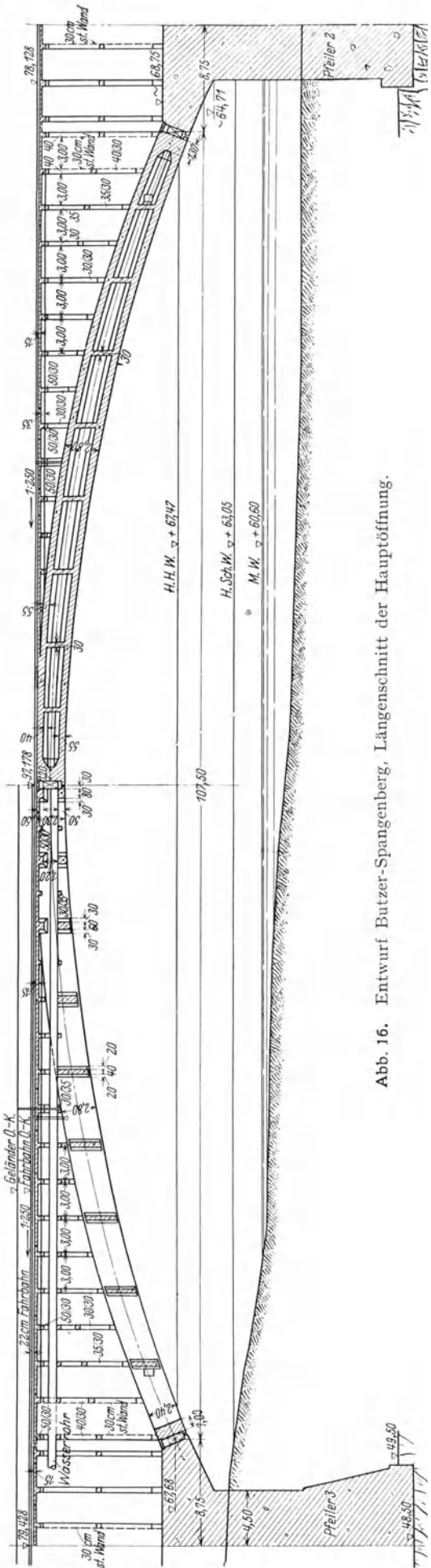


Abb. 16. Entwurf Butzer-Spangenberg, Längenschnitt der Hauptöffnung.

struktiv ein günstiges Verhältnis zwischen Spannweiten und Pfeilerstärken zu erreichen, sondern vor allem um die architektonische Erscheinung der Brücke zu verbessern (vgl. die späteren Abb. 34 und 36). Wegen des Durchflußprofils war die Verstärkung der Pfeiler ohne weiteres möglich, denn von der Strombauverwaltung bei einer Hochwassermenge von 4000 cbm als zulässig erklärte Stau von 30 cm wird bei weitem nicht erreicht. Selbst wenn man wegen der geringen Schrägstellung der Pfeiler gegen die Stromrichtung eine Pfeilerstärke von 15 m statt 9 m in Rechnung stellt, ergibt sich nur ein Stau von 8 cm. Aus diesem Grunde erschien es den Entwurfverfassern auch unbedenklich,

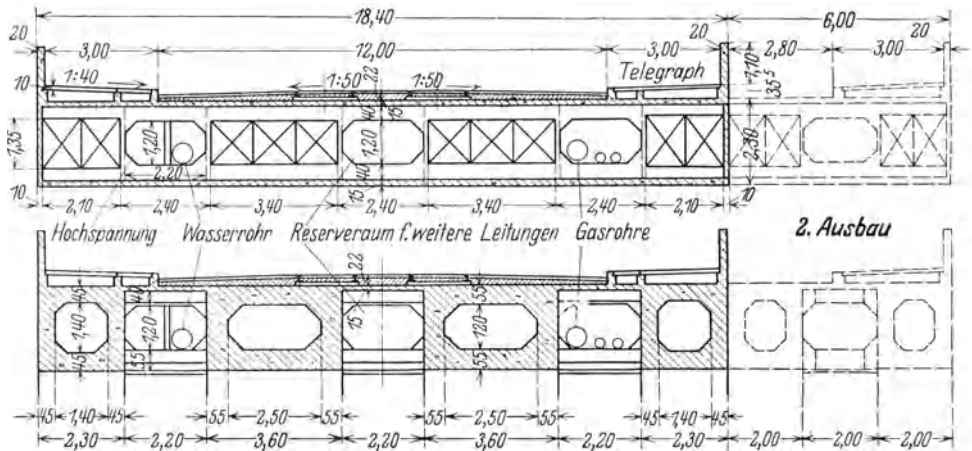


Abb. 17a. u. b. Entwurf Butzer-Spangenberg, Schnitt durch die Scheitelgelenke und Querschnitt 3,5 m vom Scheitel entfernt.

die 4,25 m langen Kragarme an den Pfeilern etwas tiefer in das höchste Hochwasser herabzuführen; die Bogenenden selbst reichen dagegen nur 1,0 m in dieses Hochwasser. Die Spannweite des mittleren Bogens beträgt 107,5 m, der Stich 1 : 10,6 und der Wert $f = 1141$; die Verhältnisse sind also fast die gleichen wie bei dem Hauptentwurf der Firma Grün u. Bilfinger A.-G. Die Gelenke sind Stahlgußwöl-

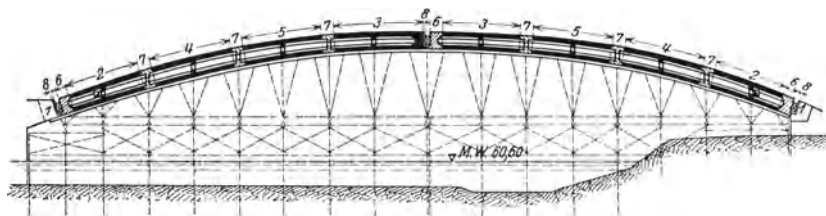


Abb. 18. Entwurf Butzer-Spangenberg, Betonierungsvorgang der Hauptgewölbe.

gelenke mit Kupillensicherung und sind nur auf die Breite der Rippen verteilt, so daß auch, wie die Abb. 17a und 17b zeigen, in der Gegend am Scheitel reichlicher Raum für alle Leitungen vorhanden ist, trotzdem auch dort zwischen den 4 Rippen noch kräftige Querversteifungen angeordnet sind. Der Fahrbahnaufbau besitzt im Bogenviertel je eine Dehnungsfuge; zur Aufnahme der Bremskräfte in dem höheren Teil des Aufbaus sind zwischen den letzten Säulen über den Kämpfern 30 cm starke Wände in der Längsrichtung eingezogen, die als starre Scheiben wirken.

Großes Gewicht ist bei diesem Entwurf auf die Durcharbeitung des Bauvorganges für die einwandfreie Herstellung der hohlen Rippen gelegt worden. Wie aus Abb. 18 zu ersehen ist, sollen die Bögen, ganz wie sonst bei Gewölben üblich, in Lamellen ausgeführt werden, welche sich in der Breitenrichtung der Brücke über alle 4 Rippen erstrecken. Das Lehrgerüst ist so angeordnet, daß immer eine Ständerreihe unter den Querschotten und Versteifungen steht. Zuerst werden die Lamellen 2—5 betoniert, ihre Innenschalung kann durch die noch offenen Schlußlamellen 6 und 7 seitlich entfernt werden. Dann werden die Lamellen 6 und 7 eingeschalt und betoniert; zur Beseitigung ihrer Innenschalung dienen die Mannlöcher in den Querschotten und die seitlichen Zugangsöffnungen am unteren Ende der Rippen. Schließlich werden die kleinen Aussparungen 8 hinter der einen Auflagerfläche jedes Stahlgelenkes in bekannter Weise mit feinem Beton hinterstampft.

Die Kosten dieses Entwurfes betragen 4,33 Mill. Mk., wobei zu berücksichtigen ist, daß etwa 200 000 Mk. auf Maßnahmen für die Verbesserung der architektonischen Erscheinung, wie stärkere Pfeiler, große Vorköpfe, Vermeidung jeder Auskragung an den Stirnflächen, entfallen. Dieser Entwurf stand bis zuletzt mit dem Entwurf von Grün u. Bilfinger A.-G. in der engsten Wahl um die Empfehlung zur Ausführung. Daß man schließlich dem Vollgewölbe den Vorzug gegeben hat, ist

außer durch dessen niedrigeren Preis wohl auch dadurch zu erklären, daß die Ingenieure des Preisgerichtes mit einer Ausnahme nicht Eisenbetonfachleute waren, denen das volle TonnenGewölbe als die übliche und ihnen vertraute Konstruktionsform empfehlenswerter erschien. Im Ausland ist ja der Kastenquerschnitt längst verwendet worden, so besitzt bekanntlich auch die 132 m weitgespannte Seinebrücke bei St. Pierre-du-Vauvray 2 hohle Eisenbetonrippen, die wesentlich dünnwandiger sind als bei unserem Entwurf. Diese weitestge-

Breite durchgehende Kastenquerschnitt (Abb. 13) des Entwurfs von Wayss & Freytag A.-G. in 4 solche hohlen Rippen aufgelöst worden, weil der Querschnitt dadurch sparsamer, statisch klarer und leichter ausführbar wird.

4. Rippenbogen mit steifer Bewehrung ohne Verwendung von Lehrgerüsten.

Die dritte Gruppe der Entwürfe umfaßt die Rippenbogen mit steifer Bewehrung, an welche die Bogenschalung angehängt wird. Man braucht hier also keine schweren Lehrgerüste, sondern nur leichte Montagegerüste für die Aufstellung der eisernen Fachwerkbogen. Das ganze Eisengewicht der Bogenrippen wird von den eisernen Gitterträgern der Bewehrung getragen, die dadurch bekanntlich eine Vorspannung erhalten, sodaß eine weitgehende Ausnutzung der zulässigen Eisenspannung ermöglicht wird. Als Verbundkonstruktion haben dann die Bogenrippen nur die Lasten des Aufbaus und des Verkehrs zu tragen. In Amerika sind derartige Eisenbetonbögen bereits bis 75 m Spannweite ausgeführt worden³. Solche Entwürfe sind von den 6 Firmen: Sandvoss & Lautmann, Hüser & Cie., A.-G. für Hoch- und Tiefbauten, Siemens-Bauunion, Franz Schlüter A.-G. und Heinrich Butzer, von letzterer in Gemeinschaft mit mir, eingereicht worden. Die erhebliche Zahl dieser Entwürfe ist ein Zeichen für die steigende Wertschätzung der steifbewehrten Eisenbetonbögen zur Überbrückung großer Spannweiten. Bedeuten doch die Lehrgerüste gerade bei

Strombrücken eine erhebliche Gefahrenquelle und eine Erhöhung des Risikos. Es gibt zu denken, daß allein in Europa in den letzten 6 Jahren 5 große Brückenlehrgerüste eingestürzt sind⁴. Die 5 erstgenannten Entwürfe sind einander sehr ähnlich, ihre Bogen sind in 5 oder 6 rechteckige

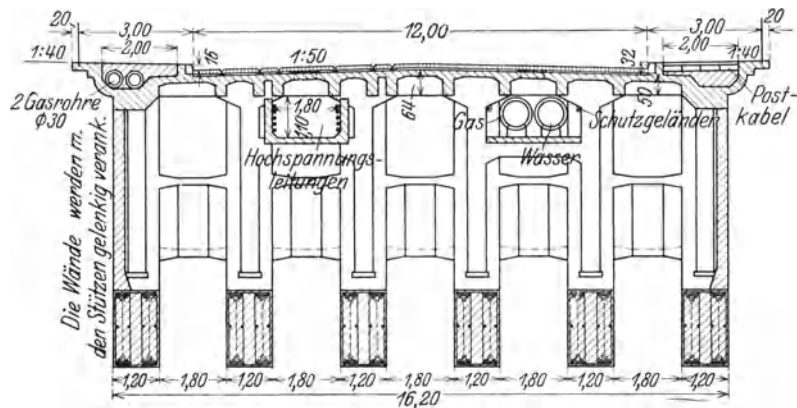


Abb. 19. Entwurf Hüser & Cie., Querschnitt der Mittelöffnung, 1. Ausbau.

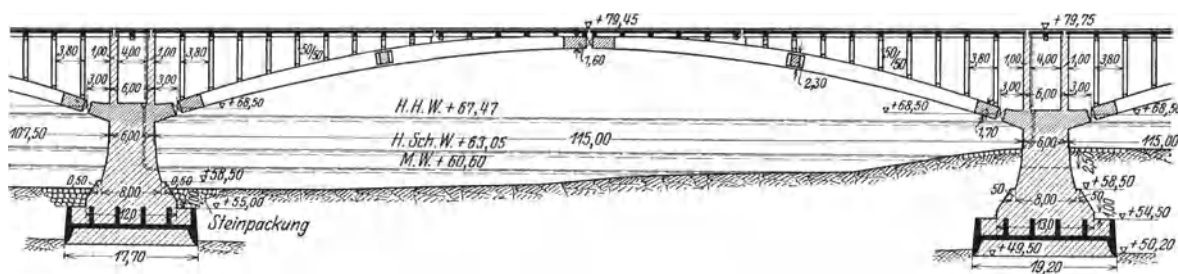


Abb. 20. Entwurf Hüser & Cie., Längenschnitt der Mittelöffnung.

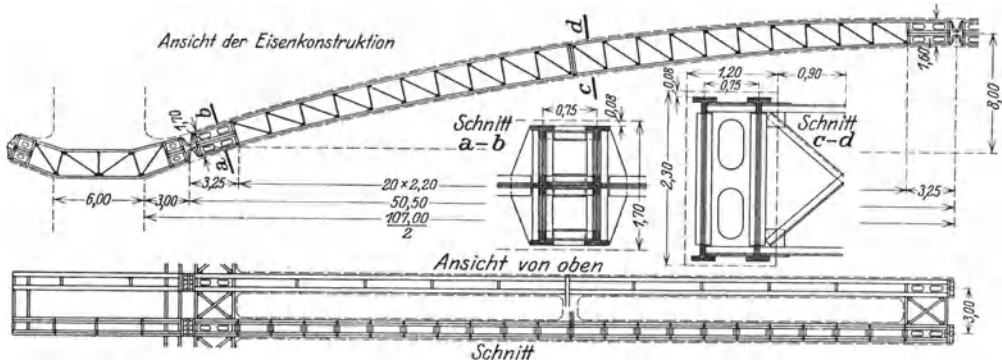


Abb. 21. Entwurf Hüser & Cie., steife Bewehrung der Hauptöffnungen.

spannte Eisenbetonbrücke der Erde hat die Anregung zu dem für die Koblenzer Moselbrücke vorgeschlagenen Querschnitt gegeben. Erst nachträglich habe ich aus der Zeitschrift „Concrete and Constructional Engineering“, London 1928 Nr. 1 erfahren, daß auch die größte Eisenbetonbrücke Englands, die im Bau begriffene Berwick-Brücke über den Tweed, Eisenbetonrippen in Kastenform besitzt. Sie hat 4 Öffnungen von 51 m, 76 m, 87 m und 110 m Spannweite. Der Querschnitt der 3 größten Öffnungen mit seinen 4 hohlen Eisenbetonrippen gleicht in geradezu überraschender Weise dem Grundgedanken unseres Koblenzer Entwurfes. Aber auch in Deutschland ist zur Zeit eine solche Brücke in Ausführung begriffen. Auf meine Anregung hin ist die am Schluß der Tabelle 1, Seite 114 genannte Lechbrücke in Augsburg der ursprünglich auf die volle

Rippen aufgelöst und die Gurtquerschnitte der steifen Bewehrung bestehen zumeist aus Stahl St 48. Die Vorspannung beträgt dabei 1100—1200 kg/qcm, die Höchstspannung im Stahl 1800 kg/qcm, was ja bei Belastung durch die Hauptkräfte allein für Straßenbrücken zulässig ist. Als Zusatzspannungen entstehen durch das Schwinden des Betons auch in statisch bestimmten Konstruktionen Eigenspannungen, die bei ca. 3% Bewehrung noch eine Druckspannung von etwa 250 kg/qcm im Stahl ergeben, so daß der für Haupt- und Zusatzkräfte bei Stahl St 48 zulässige Wert von 2080 kg/qcm eingehalten wird.

Als typisches Beispiel sei der sehr eingehend bearbeitete Entwurf der Firma Hüser & Cie. angeführt, dessen Anordnung im Quer- und Längsschnitt aus Abb. 19 und 20 zu ersehen ist. In jeder Bogenrippe sind hier 2 eiserne Fachwerkbinder angeordnet. Die Einzelheiten der steifen Bewehrung, die auch über den Pfeilern durchgeführt ist, sind in Abb. 21 dargestellt. Da die Gelenke hier nur die Breite der Rippen einnehmen, ist

³ Die Robert-Straßen-Brücke über den Mississippi in St. Paul, vergl. „Beton u. Eisen“ 1927, S. 174.

⁴ 1922 Seine-Brücke bei St. Pierre du Vauvrey, l = 132 m,
1923 Kymibrücke in Finnland, l = 70 m,
1924 Pont Butin in Genf, l = 42 m,
1925 Piave-Brücke bei Belluno, l = 71 m
1927 Hengstey-Brücke über die Ruhr, l = 70 m.

die Durchführung der Leitungen auch im Scheitel sehr gut möglich; eine Vermehrung der Querversteifungen zwischen den Rippen dürfte sich empfehlen (siehe Längsschnitt Abb. 20). Sehr geschickt ist bei diesem Entwurf der zweite Ausbau auf 24 m Brückenbreite durchgebildet. Da der Rippenabstand hier 3,0 m ist, ergibt sich auch nach der Verbreiterung wieder eine zur Brückenlängsachse vollkommen symmetrische Anordnung der Rippen (Abb. 22).

Wichtig ist bei diesen steif bewehrten Eisenbetonbögen, daß der Beton der Rippen vorspannungsfrei eingebracht wird. Gerade bei Verwendung des rasch erhärtenden, hochwertigen Zementes werden die zuerst hergestellten Betonlamellen an der Spannungsübertragung bei der Belastung des Bogens durch die folgenden Lamellen teilnehmen, wenn man nicht besondere Maßnahmen dagegen trifft. Durch eine einfache Rechnung⁵ läßt sich zeigen, daß bei den hier angewandten Eisenvorspannungen und Bewehrungsverhältnissen in den ersten Betonlamellen infolge des Bogeneigenen Druckspannungen bis zu 30 kg/qcm auftreten können, sodaß sich zusammen mit der später in der Verbundkonstruktion noch zugelassenen Druckspannung von 70 kg/qcm eine Spannungsüberschreitung von über 40% ergibt. Bei dieser Rechnung ist angenommen, daß der Beton aus hochwertigem Zement schon bald nach der Herstellung ein Elastizitätsmaß $E = 210\ 000\ \text{kg/qcm}$ besitzt, was durch Versuche bestätigt worden ist, die neuerdings in meinem Laboratorium an 3 Tage alten Prismen aus solchem hochwertigen Beton vorgenommen wurden.

Zur Vermeidung dieser unerwünschten Vorspannung im Beton wird von einer Firma vorgeschlagen, jede Rippe in ihrer gesamten Ausdehnung innerhalb acht Stunden zu betonieren. Dieser Bauvorgang erscheint aber bedenklich, denn der Gitterträger der Rippe biegt sich bei einer Vorspannung von 1200 kg/qcm infolge der Belastung durch den Beton sehr stark durch — im Scheitel z. B. 20 cm —, sodaß die Querverbände mit den noch unbelasteten und nur etwa 2,0 m entfernten Nachbarrippen vollkommen deformiert würden. Die meisten Firmen haben daher das Verfahren vorgesehen, über das ich im Jahre 1924 auf der Hauptversammlung des Deutschen Betonvereins berichtet habe. Hiernach wird die Vorbelastung zuerst in Form von Kiesmaterial zwischen den Rippen aufgebracht und dann allmählich unter Konstant-erhaltung der Gesamtbelastung durch den Beton der Rippen ersetzt. Sehr eingehend und geschickt ist der Bauvorgang nach diesem Verfahren in dem Entwurf der A.-G. für Hoch- und Tiefbauten durchgearbeitet worden. Dabei ist der An- und Abtransport des Kieses und die Anfuhr des Betons mittels Gurtbandförderung auf Längs- und Querbändern vorgesehen, sodaß die Mehrkosten infolge der Anwendung dieses Verfahrens sehr gering werden. Übrigens hat das Verfahren mit der Kiesvorbelastung noch den großen Vorteil, daß man in den starkbewehrten Rippen keine Zwischenschalung für Lamellenteilung braucht, denn man kann hier jede Rippe vom Kämpfer nach dem Scheitel hin in einem Zuge betonieren, da ja die Gesamtbelastung der Gitterträger dabei unverändert bleibt.

Eine von den fünf anderen Entwürfen etwas abweichende Querschnittsanordnung besitzt der Entwurf mit steifer Be-

⁵ Vergl. Spangenberg, Eisenbetonbogenbrücken für große Spannweiten, Julius Springer, Berlin 1924, S. 10.

wehrung, den ich zusammen mit der Firma Butzer als Variante zu unserem Hauptentwurf bearbeitet habe. Wie Abb. 23 zeigt, haben hier nur die beiden Randrippen Rechtecksquerschnitt, dagegen sind die fünf mittleren Rippen mit Doppelt-förmigem Querschnitt ausgebildet, um das Widerstandsmoment zu erhöhen. Das ist bei solchen steifbewehrten Bögen vorteilhaft, weil im Verbundquerschnitt die Grundspannungen aus dem Bogeneigenen Gewicht fehlen und daher der Einfluß der Momente aus der Verkehrslast fühlbarer ist. Aus dem Querschnitt in der Nähe des Scheitels (Abb. 24) und aus dem Längsschnitt (Abb. 25) ist zu ersehen, daß die Anordnungen der Gelenke, der Leitungen, der Querversteifungen und des Aufbaues ganz ähnlich wie bei dem Hauptentwurf sind. Die Bogenstärken konnten dagegen etwas geringer gehalten werden, weil die Materialausnutzung infolge der Vorspannung des Eisens besser und

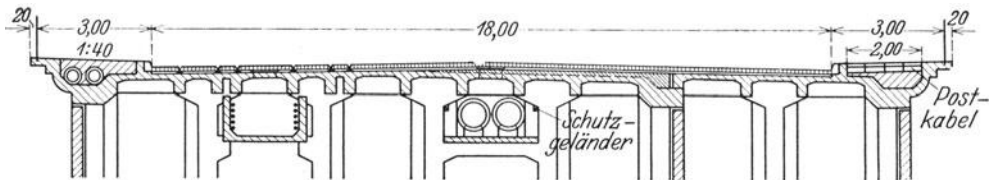


Abb. 22. Entwurf Hüser u. Cie., Fahrbahnquerschnitt mit Verbreiterung für den 2. Ausbau.

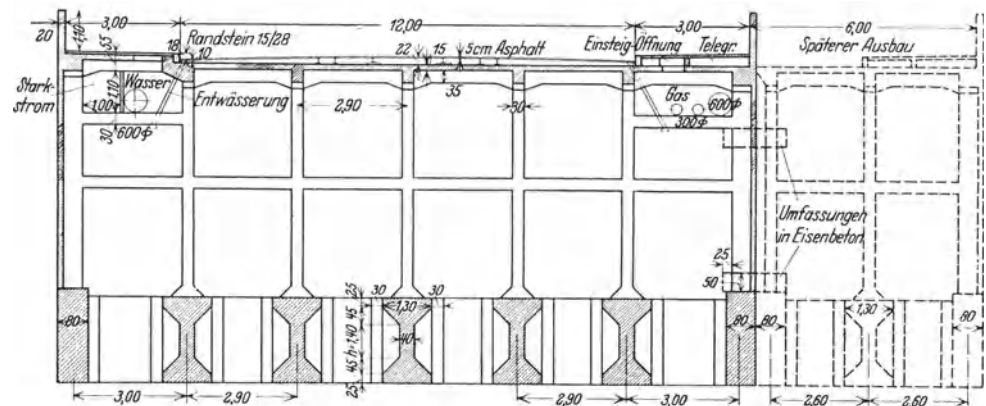


Abb. 23. Melan-Entwurf Butzer-Spangenberg, Querschnitt der Hauptöffnung.

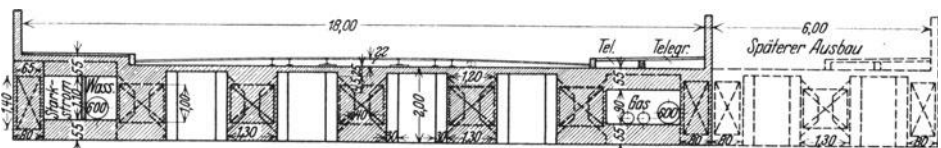


Abb. 24. Melan-Entwurf Butzer-Spangenberg, Querschnitt der Hauptöffnung, 3,5 m vom Scheitel entfernt.

damit die ganze Tragkonstruktion leichter wird. Der Horizontal-schub aus Eigengewicht beträgt für die Mittelöffnung hier 490 t/m gegenüber 650 t/m bei dem Hauptentwurf von Grün & Bilfinger A.-G. Dabei ist aber zu beachten, daß der Belastungsgleichwert unter Berücksichtigung der Schnellbahnlasten mit 0,865 t/m² eingeführt ist, während Grün & Bilfinger A.-G. nur mit 0,64 t/m² gerechnet haben. Die Gurte der Gitterbögen bestehen hier aus Siliciumstahl, wobei eine Vorspannung im Stahl von 1430 kg/qcm und eine Höchstspannung von 2070 kg/qcm angewandt ist, letztere entsprechend dem für Siliciumstahl bei Straßenbrücken zugelassenen Wert von 2100 kg/qcm. Für die Schwindspannungen bleibt hier noch eine Reserve von rund 300 kg/qcm bis zu dem für Haupt- und Zusatzkräfte festgesetzten Höchstwert von 2400 kg/qcm. Bei der Vorspannung ist die Knicksicherheit der einzelnen Stäbe der Eisenkonstruktion sowie der Gitterträger selbst nach der Normvorschrift DIN 1073 voll gewahrt. Die steife Bewehrung beträgt 2,53% des Querschnitts, die Gurte bestehen aus Winkeln mit vertikalen Beilagen, ohne Gurtplatten, damit die Betonüberdeckung einwandfrei ausgeführt werden

kann (Abb. 26). Außerdem ist noch eine reichliche, sekundäre Rundeseisenbewehrung im Beton vorgesehen, die gleichzeitig wie eine Umschnürung wirkt. Die Kiesbelastung zwischen den Rippen ist in Abb. 26 maßstäblich richtig dargestellt. Übrigens sieht auch der Entwurf der Siemens Bauunion für die steife Bewehrung Siliciumstahl vor, beansprucht ihn jedoch nur mit den für Baustahl St 48 vorgeschriebenen Werten. Für den Eisenbetonfachmann ist an unserem Entwurf wohl von besonderem Interesse, daß damit die Möglichkeit einer vollständigen Ausnutzung des modernsten Baustahls in einer Verbundkonstruktion gezeigt wird.

5. Allgemeine Betrachtungen zu den Entwürfen in wirtschaftlicher, konstruktiver und statischer Hinsicht.

An die Besprechung der verschiedenen Entwurfstypen seien noch einige allgemeine Betrachtungen angeschlossen. In wirtschaftlicher Hinsicht wäre bei diesem Wettbewerb der Vergleich zwischen Massivbrücken und Brücken mit eisernen Überbauten von besonderem Interesse gewesen. Wegen der Nichtbeteiligung der Firmen des Deutschen Eisenbauverbandes ist diese Gegenüberstellung leider nicht möglich; der einzige in Eisenkonstruktion eingereichte Entwurf, ein über vier Öffnungen durchlaufender vollwandiger Blechträger, ist nach dem Urteil des Preisgerichtes mit verschiedenen Mängeln behaftet und kostet rund 5 Mill. M. Um aber wenigstens einen ungefähren Überblick über die wirtschaftliche Auswirkung der einzelnen Vorschläge für die Konstruktion der großen Gewölbe zu gewinnen, sind in der Tabelle 2 die Endsummen der Angebote für die Massivbrücken-Entwürfe zusammengestellt. Freilich können hieraus keine weitergehenden Schlüsse gezogen werden, denn einmal machen die drei Hauptöffnungen kaum die Hälfte der Angebotssummen aus und sodann sind die Entwürfe in sehr verschiedener Weise mit Kosten für den zweiten Ausbauzustand wie auch mit Aufwendungen für eine gute architektonische Erscheinung belastet. Schließlich muß beachtet werden, daß jede Unternehmerkalkulation, namentlich für große Tiefbauarbeiten, sehr auf Schätzungen, sowie auf persönlicher Auffassung über die Bauschwierigkeiten und das Risiko beruht, so daß hieraus viel größere

Unterschiede in den Angeboten entstehen können als aus der verschiedenen Gestaltung der Entwürfe. Bei Einholung von Angeboten auf einen festliegenden Entwurf wären vielleicht die Differenzen der Endsummen nicht viel geringer gewesen. Mit diesen Vorbehalten läßt sich folgendes sagen:

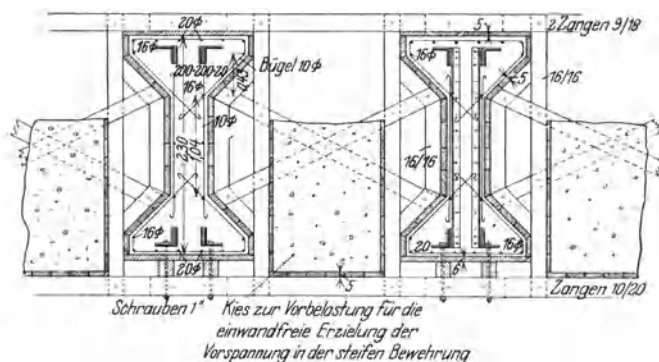


Abb. 26. Melan-Entwurf Butzer-Spangenberg, Querschnitt der Mittelrippen mit Bewehrung und angehängter Schalung.

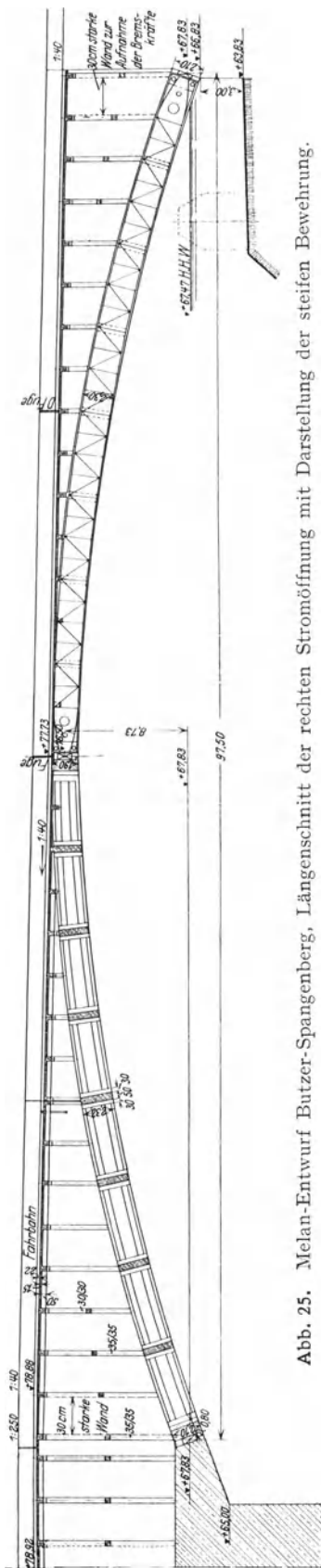


Abb. 25. Melan-Entwurf Butzer-Spangenberg, Längenschnitt der rechten Stromöffnung mit Darstellung der steifen Bewehrung.

Tabelle 2.

Endsummen der Angebote in Millionen-Mark.

A. Volle Tonnengewölbe:	
1. Grün & Bilfinger A.-G., Mannheim	3,70
2. Hanebeck u. Dipl.-Ing. Baumstark, Dortmund	6,50
3. Ph. Holzmann A.-G., Düsseldorf	6,65 ¹
i. M.	
5,62	
B. Aufgelöste Bogenkonstruktionen in Eisenbeton unter Verwendung von Lehrgerüsten:	
4. Jager G. m. b. H., Trier	3,09
5. Grün & Bilfinger A.-G., Entwurf III	3,64
6. A.-G. für Beton- und Monierbau, Essen	3,88
7. Grün & Bilfinger A.-G. - Emperger	3,93
8. Dyckerhoff & Widmann A.-G., Wiesbaden-Bieberich	4,20 ²
9. Heinrich Butzer, Dortmund, u. Prof. Spangenberg, München, Entwurf I	4,33
i. M.	
3,85	
C. Rippenbogen mit steifer Bewehrung ohne Lehrgerüste:	
10. Sandvoss A.-G., Düsseldorf, u. Lautmann, Koblenz	4,33
11. Heinrich Butzer, Dortmund, u. Prof. Spangenberg, München, Entwurf II	4,44
12. Hüser & Cie., Obercassel	4,87
13. A.-G. für Hoch- und Tiefbauten, Essen	5,52 ¹
14. Siemens-Bauunion, Berlin	5,56
15. Franz Schlüter A.-G., Dortmund	6,19
i. M.	
5,15	

¹ für die Lasten von 24 m Breite,
² für 24 m Breite.

Unter den Vollbögen ist nur ein Entwurf billig, die beiden andern sind sehr teuer, der Mittelwert beträgt 5,62 Mill.

Bei den gegliederten Bögen mit Lehrgerüsten sind alle Angebote in niedriger oder mittlerer Preislage; der Mittelwert ist 3,85 Mill.

Die Bögen mit steifer Bewehrung sind im Durchschnitt teuer, nur die Hälfte hält sich in mittlerer Preislage; Mittelwert 5,15 Mill.

Überraschend ist die Tatsache, daß der Entwurf mit Vollgewölben der Firma Grün & Bilfinger A.-G. sich in den Kosten nur unwesentlich von den beiden Entwürfen mit gegliederten Bogenkonstruktionen derselben Firma unterscheidet. Von besonderem Interesse ist auch der Kostenvergleich bei den beiden Entwürfen der Firma Heinrich Butzer, da diese sich

nur in der Konstruktion der drei Hauptöffnungen unterscheiden und auf ganz gleicher Grundlage kalkuliert sind. Bei dem geringen Mehrpreis von 2,5% der Konstruktion mit steifer Bewehrung ist zu berücksichtigen, daß die Pfeiler und Widerlager für die kleineren Kämpferdrücke dieses Entwurfes nicht nochmals bemessen worden sind und daß es schwer ist, für die eisernen Gitterträger bereits bei einem Wettbewerb günstige Angebote von Eisenkonstruktionsfirmen zu erhalten. Unter diesen Umständen kann man sehr wohl die beiden Entwürfe als gleich teuer bezeichnen. Dies ist eine Feststellung von allgemeinem Interesse, denn dann sprechen allerdings die baulichen Vorteile, namentlich die größere Sicherheit während der Bauausführung, für den Entwurf mit steifer Bewehrung.

Auch in konstruktiver Beziehung lassen sich einige allgemeine Gesichtspunkte hervorheben. Während bei dem Preisgericht zweifellos eine Wertschätzung der Vollgewölbe zu erkennen ist, haben sich die Entwurfverfasser in ihrer überwiegenden Mehrzahl für gegliederte Bogenkonstruktionen entschieden, durchaus im Einklang mit den Anschauungen des Auslandes und mit der modernen Entwicklung des Wölbbrückenbaues. Ist doch die Verminderung des Eigengewichts der Tragkonstruktion der wichtigste Gesichtspunkt bei weitgespannten, flachen Wölbbrücken. Der Effekt der Massensparnis durch die Gliederung läßt sich mit einigen Zahlen anschaulich darstellen. Ein Vollgewölbe in der ganzen Brückenbreite von 18,2 m würde bei reichlicher Bewehrung mindestens 2 m Stärke der Bruchfuge erfordern. Denkt man sich nun bei verschiedenen Entwürfen den Querschnitt der Bruchfuge in einen vollen Rechtecksquerschnitt von 18,2 m Breite umgewandelt, so ergibt sich als Vergleichswert folgende ideale Stärke der Bruchfuge:

1. Bei dem um 20% der Breite reduzierten Vollgewölbe von Grün und Bilfinger A.-G.: $d = 1,60$ m.
2. Bei dem Entwurf Butzer-Spangenberg mit hohlen Eisenbetonrippen: $d = 1,18$ m.
3. Bei dem Entwurf Butzer-Spangenberg mit steifer Bewehrung aus Siliciumstahl: $d = 0,89$ m.

Dabei sind für die beiden letztgenannten Entwürfe die Massen der sehr reichlich bemessenen Querversteifungen mit berücksichtigt.

Als weiteren Vorteil der gegliederten Bogen erkennt man die günstigere Durchführung der Versorgungsleitungen am Scheitel und die klarere Lastverteilung bei streifenweiser Mehrbelastung, z. B. durch Schnellbahnen. Besonders überlegen sind sie aber den Vollbogen durch ihre größeren Querschnittshöhen, wodurch sie unempfindlicher gegen unvorhergesehene Exzentrizitäten der Stützlinie und gegen zufällige Abweichungen der tatsächlichen Bogenform von der berechneten sind. Außerdem wird aber bei ihnen die Knicksicherheit der Bögen in vertikaler Richtung erhöht, die bei Vollgewölben großer Spannweite mit der jetzt zugelassenen Druckbeanspruchung von 70 kg/cm^2 schon ziemlich gering wird. Unter Zugrundelegung der Eulerformel und eines Elastizitätsmaßes $E = 210\,000 \text{ kg/cm}^2$ ergibt sich bei dem Vollgewölbe von Grün & Bilfinger A.-G., das einen Schlankheitsgrad $\lambda = 116$ hat, ohne Berücksichtigung der versteifenden Wirkung des Fahrbahnaufbaus eine Knickspannung von nur $\sigma_K = 157 \text{ kg/cm}^2$. Unter den gleichen Voraussetzungen wird bei dem steifbewehrten Entwurf der Firma Butzer mit $\lambda = 80$ der Wert $\sigma_K = 328 \text{ kg/cm}^2$, bei dem Entwurf mit hohlen Eisenbetonrippen ($\lambda = 70$) sogar $\sigma_K = 427 \text{ kg/cm}^2$. Ich glaube, daß allein mit Rücksicht auf die Knicksicherheit stark auf Druck beanspruchte flache Dreigelenkbogen als Vollgewölbe etwa bei 100 m Spannweite ihre Grenze finden werden. Unter den gegliederten Querschnitten ist der hohle Kastenquerschnitt den Rippen in Rechtecks- oder Doppel-T-Form an Steifigkeit in vertikaler und horizontaler Richtung überlegen. er braucht daher auch weniger Querversteifungen, ist allerdings in der Herstellung etwas schwieriger. Sehr zweckmäßig sind die Kastenquerschnitte für die Randträger, wenn man von Auskragungen der Gehwege absehen und die Brüstung mit den Stirnwänden in eine Flucht legen will. Auskragende Fußwege

verbilligen allerdings immer die Gewölbekonstruktion, beeinträchtigen aber bei flachen Wölbbrücken mit kleiner Bauhöhe im Scheitel zumeist die gute architektonische Erscheinung. Vorteilhaft sind im allgemeinen auch Vorkragungen der Kämpfergelenke vor den Pfeilerfluchten, wenn sie sich in mäßigen Grenzen halten, damit der Stich der Bogen nicht zu klein wird. Bei zuverlässigem Baugrund bestehen gegen solche Kragarme keine statischen oder konstruktiven Bedenken.

Ein besonderer Vorzug der Rippengewölbe mit steifer Bewehrung und Anhängung der Schalung ist die vollkommene Ausnutzung der Bewehrung. Dadurch wird bei ihnen die Massensparnis am größten, sodaß die Kämpferdrücke und damit die Pfeiler und Widerlager am kleinsten werden. Außerdem kommt bei steifbewehrten Bögen nicht nur das Lehrgerüst mit seinen Gefahren, sondern auch der normale Ausrüstungsvorgang in Wegfall, der doch mit manchen Unvollkommenheiten behaftet ist und die Kämpferdrücke aus Eigengewicht mit einem Male, beinahe stoßweise, auf die Pfeiler und Widerlager zur Wirkung bringt. Bei den steifbewehrten Gewölben dagegen werden diese Kämpferdrücke nur ganz allmählich ansteigend auf die Pfeiler und Widerlager übertragen. Das ist ein besonderer Vorteil bei gewölbten Brücken mit mehreren großen Öffnungen, denn bei diesen bleibt das sonst notwendige gleichzeitige Absenken aller Lehrgerüste immer ein kritischer und schwieriger Arbeitsvorgang, der mit aller Sorgfalt in sämtlichen Öffnungen gleichmäßig erfolgen muß, damit die Pfeiler nicht einseitig beansprucht werden. Voraussichtlich wird der Koblenzer Wettbewerb auch zur weiteren Beachtung der steifbewehrten Gewölbe in Deutschland beitragen, zumal wir jetzt im Siliciumstahl einen höchst wertvollen Baustoff für diese Konstruktionen haben.

Bei Durchsicht der statischen Berechnungen der verschiedenen Entwürfe kommt man durchaus zu der Erkenntnis, daß die „Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton“ für Brückenbauten nicht ausreichend sind. Besondere Vorschriften für massive Brücken sind eine Notwendigkeit und werden die weitere Entwicklung auf diesem Gebiete fördern. Es ist daher sehr zu begrüßen, daß jetzt ein Unterausschuß des Deutschen Normenausschusses und des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton zur Ausarbeitung von Bestimmungen für massive Brücken eingesetzt ist und seine Arbeiten bereits begonnen hat. Nachstehend sind auf Grund der Erfahrungen bei dem Koblenzer Wettbewerb einige Punkte herausgegriffen, die eine besondere Beachtung und Regelung erfordern.

1. Lastverteilung. Hier sind genaue Bestimmungen am Platze, da die Annahmen über die Lastverteilung oft von größerem Einfluß auf das wirtschaftliche und konstruktive Ergebnis eines Entwurfes sind, als Unterschiede in den zulässigen Spannungen. Bei dem Koblenzer Wettbewerb hat sich z. B. gezeigt, daß die Verteilung der Mehrbelastung durch die Schnellbahn in ganz verschiedener und zum Teil sehr optimistischer Weise vorgenommen worden ist, so daß eine Reihe Entwürfe in ihren Bemessungsgrundlagen gar nicht recht vergleichbar sind.

2. Stoßzuschlag. Für die Eisenbetonkonstruktionen des Fahrbahnaufbaues ist ja der Stoßzuschlag bei Festsetzung der zulässigen Beanspruchung in den „Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton“ bereits berücksichtigt. Für die Bogen selbst wird man mit Rücksicht auf das hohe Eigengewicht der massiven Brücken den Stoßzuschlag sehr gering halten dürfen, bei großen Gewölben vielleicht sogar ganz entbehren können. Bei dem Hauptentwurf der Firma Butzer beträgt z. B. der Anteil der ständigen Lasten 86% der Gesamtbelastung. Rechnet man hier mit einem Stoßzuschlag von 5%, d. i. die Hälfte des für eine eiserne Straßenbrücke von 100 m Spannweite nach DIN-Norm 1073 vorgeschriebenen Zuschlages, so ergibt sich eine Erhöhung der Randspannungen in den Bögen von nur $1,25 \text{ kg/cm}^2$, also ein belangloser Wert.

3. Eigengewicht. Bei Bögen mit hoher Bewehrung von 2—3% wird man das Raumgewicht des Eisenbetons nicht mehr

mit $2,4 \text{ t/m}^3$ rechnen können, sondern $2,5$ — $2,6 \text{ t/m}^3$ annehmen müssen.

4. Größe der Zahl n . Bei den gesteigerten Elastizitäts- und Festigkeitseigenschaften des hochwertigen Betons wird man die Zahl n für Eisenbetongewölbe im allgemeinen kleiner als 15 annehmen müssen. Will man die tatsächlich im Gewölbe auftretenden Spannungen berechnen, so hat man unter n das Verhältnis der Elastizitätsmaße von Eisen und Beton zu verstehen und wird dann diese Zahl höchstens zu 10 einsetzen dürfen. Dient die Spannungsermittlung zur Bestimmung der Bruchsicherheit, so ist unter n das Verhältnis der Quetschgrenze des Stahls zur Prismenfestigkeit des Betons zu verstehen. Berücksichtigt man, daß diese Prismenfestigkeit bei einem hochwertigen Gewölbebeton im allgemeinen über 200 kg/cm^2 liegen wird, so wird man bei Verwendung von Stahl St 37 etwa $n = 10$ annehmen können und nur bei Stahlsorten mit höher gelegener Quetschgrenze diese Zahl hinaufsetzen dürfen, bis zu $n = 15$ bei Siliciumstahl mit einer Quetschgrenze von 3600 kg/cm^2 .

5. Knicksicherheit. Die Frage des Sicherheitsgrades gegen Knicken, insbesondere in der Vertikalebene, bedarf bei sehr weitgespannten Bögen einer Regelung. Hierbei wird die geringe Zahl der vorhandenen Knickversuche mit Eisenbetonprismen die Entscheidung erschweren, so daß unter Umständen noch weitere Versuche, namentlich unter Verwendung von hochwertigem Zement, erforderlich sein werden.

6. Zulässige Druckspannung. Wenn die vorstehenden Fragen alle geregelt sind, dann wird man aber auch erwägen dürfen, ob man für große Gewölbe die zulässige Druckbeanspruchung des Betons nicht über 70 kg/cm^2 erhöhen kann. Diese Zahl war für die hier besprochenen Wettbewerbsentwürfe in konstruktiver und wirtschaftlicher Beziehung von ausschlaggebender Bedeutung. Bei Steigerung der Spannweiten oder Verminderung des Stiches kommt sehr bald eine Grenze, bei der unter Einhaltung dieser Höchstspannung eine Querschnittsvergrößerung nichts mehr hilft, weil die damit verbundene Steigerung des Eigengewichtes die Querschnittsvermehrung voll in Anspruch nimmt. Die künftige Entwicklung weitgespannter, flacher Gewölbe wird von der Erhöhung der zulässigen Druckbeanspruchung des Betons sehr wesentlich abhängen. Bei der Gütesteigerung des Betons, die heute infolge der hohen Zementfestigkeiten und infolge der für die Betonherstellung gewonnenen Erfahrungen erreicht ist, erscheint eine Erhöhung der zulässigen Druckbeanspruchung auf etwa 85 kg/cm^2 bei großen Gewölben möglich und vertretbar, wenn man zudem bedenkt, daß es sich hier um Konstruktionen handelt, die im wesentlichen auf Druck beansprucht sind und bei denen der Einfluß der ruhenden Lasten stark überwiegend ist. Voraussetzung ist natürlich eine strenge Baukontrolle in bezug auf Kornzusammensetzung, Konsistenz und Festigkeit des Betons. Man müßte dabei etwa eine 3,5fache Sicherheit in bezug auf die Würfel- W_{28} vorschreiben. In Frankreich geht man meines Wissens bis 90 kg/cm^2 und läßt 28% der Würfel- W_{28} nach 90 Tagen als Beanspruchung zu. Da wir hier nicht die Rücksicht auf die Zugspannungen wie bei der Beanspruchung auf Biegung zu nehmen haben, können wir die große Druckfestigkeit des hochwertigen Zementes für solche Konstruktionen entschlossen ausnutzen.

6. Architektonische Gestaltung der Entwürfe.

Zum Schluß seien noch einige Bemerkungen über die baukünstlerische Gestaltung des ganzen Brückenbauwerkes ge-

macht, die ja im engsten Zusammenhang mit der Ausbildung der drei Stromöffnungen steht.

Die meisten Firmen haben die Stirnflächen über den Gewölben geschlossen, nur drei Bewerber haben sich für durchbrochenen Aufbau entschieden. Wie die Abb. 27 des Entwurfes der A.-G. für Hoch- und Tiefbauten zeigt, wirkt der durchbrochene Aufbau vielleicht etwas unruhig, und das Mittelstück in der Scheitelgegend erscheint dann bei so flachen Bögen etwas schwer. Am günstigsten von diesen Entwürfen ist das Brückenbild bei dem Entwurf der Siemens-Bauunion, Abb. 28; allerdings befriedigt hier die Ausbildung der linken Rampe mit mehreren verschiedenen Durchlässen nicht vollkommen.

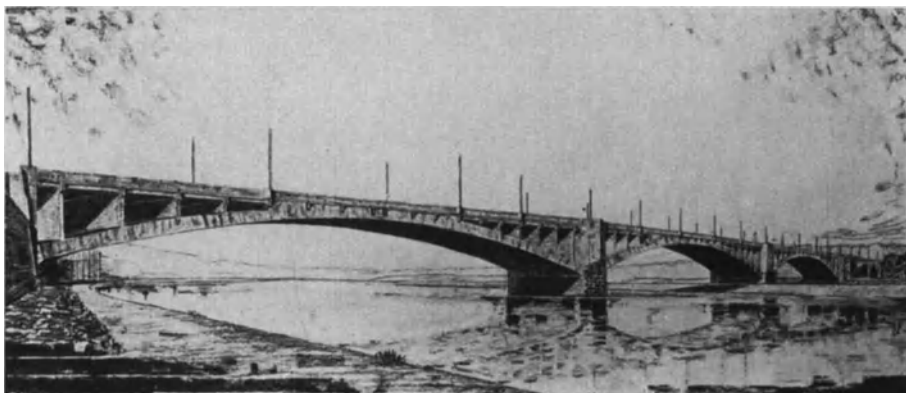


Abb. 27. Entwurf A.-G. für Hoch- und Tiefbauten. Ansicht von Unterstrom.

Geschlossene Sichtflächen hat z. B. der Entwurf von Hüser & Cie. (Abb. 29), doch zeigt er, wie auch die folgende Ansicht von Dyckerhoff & Widmann A.-G. (Abb. 30), daß schon eine kleine Auskragung der Fußwege in Verbindung mit einem eisernen Geländer die Scheitel der großen Bögen etwas dünn erscheinen läßt. An den Abb. 28 und 30 erkennt man die Schwierigkeiten, welche die Ausbildung der linken Rampe architektonisch bot. An sich wäre es erwünscht gewesen, als Gegensatz zu den großen Öffnungen der Strombrücke hier einen geschlossenen Baukörper zu schaffen. Leider mußte er aber durch drei Straßenunterführungen durchbrochen werden, wobei namentlich die Öffnung unmittelbar hinter dem Widerlager des linken Strombogens ungünstig wirkt. Das erkennt man auch an der geometrischen Ansicht des zur Ausführung empfohlenen Entwurfes von Grün & Bilfinger A.-G. und Baudirektor Abel. (Abb. 3 auf Seite 678) Die perspektivische Gesamtansicht dieses Entwurfes gibt Abb. 31, während Abb. 32 das rechte Widerlager mit dem Treppenaufgang an der Werftstraße zeigt. Den Ingenieur befremdet an dieser Architektur, daß die großen Bögen in der Ansicht nur in ihrer Scheitelstärke durchgeführt sind und daher unwahrscheinlich schwach wirken. Das Preisgericht sagt über die architektonische Gestaltung dieses Entwurfes:

„Der Verfasser sucht dem übergroßen Bauwerk möglichste Leichtigkeit zu geben durch hochgeführte, schlanke Pfeiler, durch Absetzen des Hauptbogens von den Zwickelflächen, durch eine Auskragung des Gehweges um $1,30$, wodurch eine starke Schattenwirkung erzielt wird, und durch Verwendung eines offenen Eisengeländers. Diese Mittel sind bewußt angewandt. Im starken Gegensatz zu der leichten Durchbildung der Strombrücke steht die hohe, geschlossene Wand der linken Vorlandbrücke, bei der eine weitere Durchbrechung mit gleichartigen Bögen vorzuziehen wäre. Ungelöst ist der Schräganschnitt des rechten Hauptbogens in der Futtermauer.“

Die vom Preisgericht empfohlene Auflösung der linken Rampe in Bogenstellungen haben die beiden Entwürfe von Ph. Holzmann A.-G. und von Heinrich Butzer. Auch gleichen sich die beiden Entwürfe darin, daß die Brüstungen bündig mit den Stirnmauern angeordnet sind, was den großen, flachen Bögen die erwünschte Stärke im Scheitel gibt. Die gesamte Gliederung des Holzmannschen Entwurfes, von dem Abb. 33



Abb. 28. Entwurf Siemens-Bauunion, Ansicht von Oberstrom.

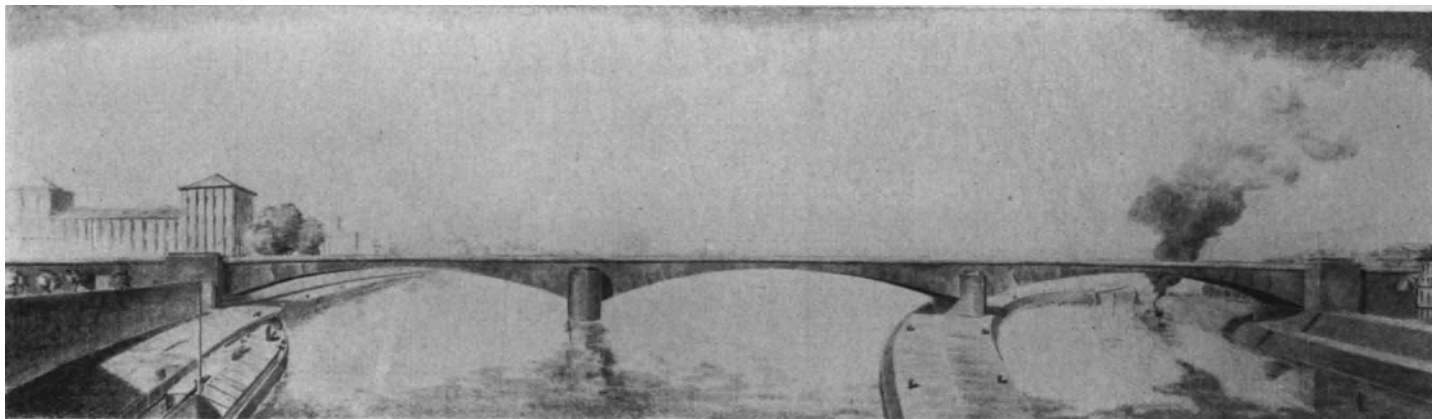


Abb. 29. Entwurf Hüser & Cie., Ansicht von Unterstrom.



Abb. 30. Entwurf Dyckerhoff & Widmann A.-G. und Prof. Meißner, Ansicht von Oberstrom.

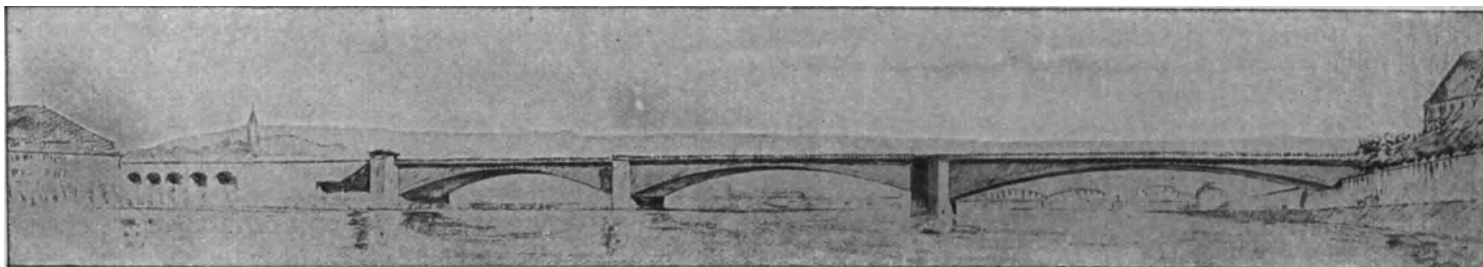


Abb. 31. Entwurf Grün & Bilfinger A.-G. und Baudirektor Abel, Ansicht von Oberstrom.

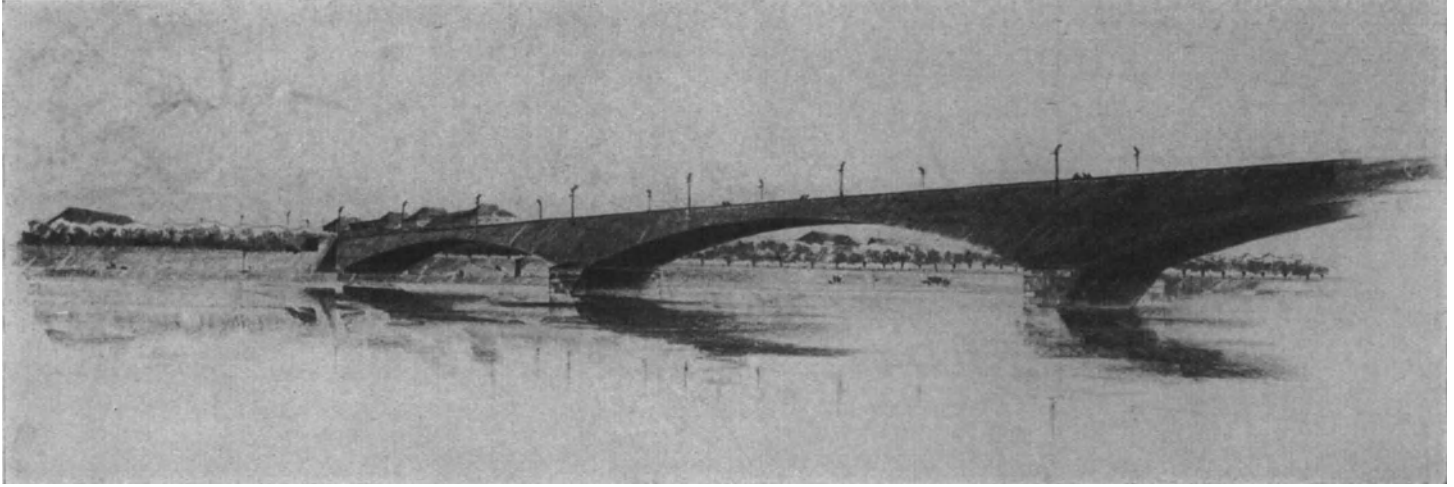


Abb. 33. Entwurf Ph. Holzmann A.-G., Ansicht von Unterstrom.

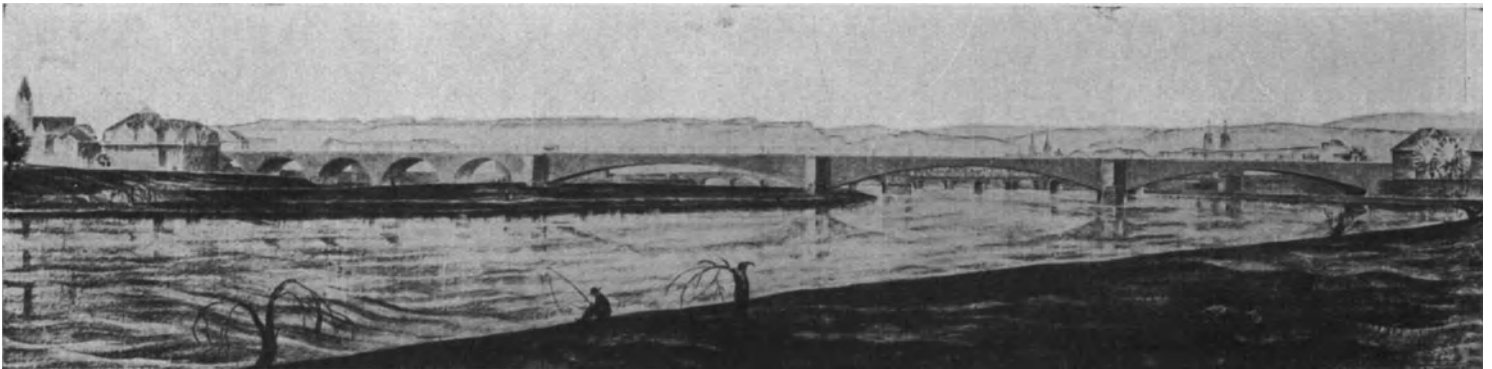


Abb. 34. Entwurf Butzer-Spangenberg mit Architekt Fuß, Köln, Ansicht von Oberstrom.

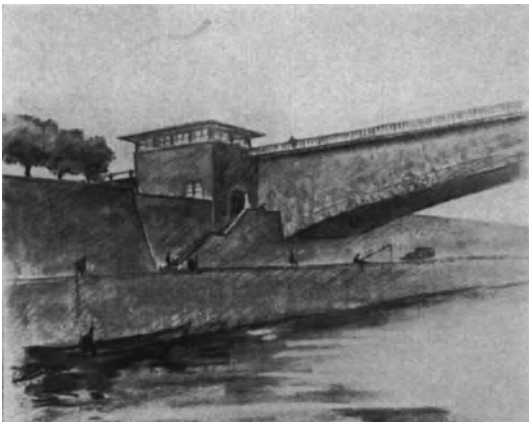


Abb. 32. Entwurf Grün & Bilfinger, A.-G., und Baudirektor Abel, rechter Brückenkopf.

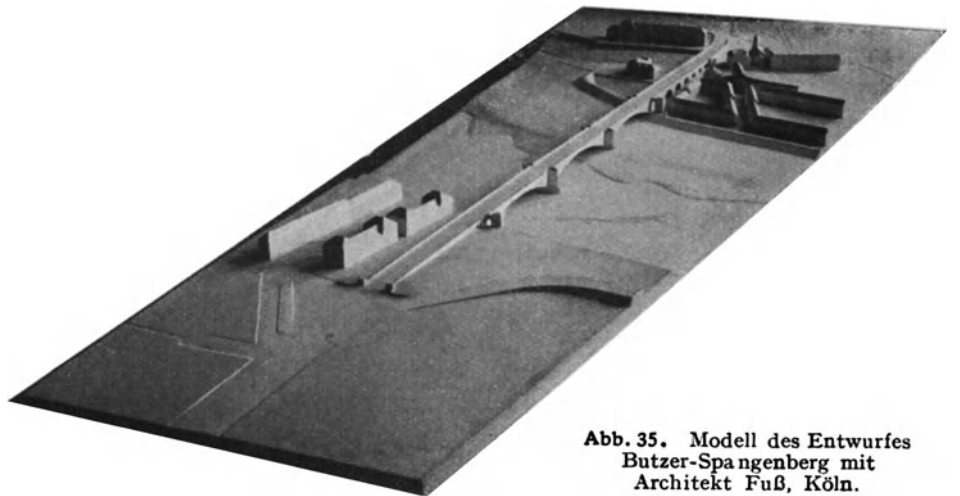


Abb. 35. Modell des Entwurfes Butzer-Spangenberg mit Architekt Fuß, Köln.

nur eine Teilansicht zeigt, ist nach dem Urteil des Preisgerichts vortrefflich gelöst. Über den von der Firma Butzer zusammen mit mir und dem Architekten Fritz Fuß in Köln bearbeiteten Entwurf (Abb. 34) sagt das Preisgericht:

„Dieser Entwurf ist der einzige, dessen Pfeiler größere Abmessungen zeigen, und zwar 9 m. Diese Pfeiler, die auch im Vorsprung kräftig entwickelt sind und durch einen weit vorgezogenen Sockel in Basalt die größte Schwere ausdrücklich auf die Kämpferhöhe hinunterlegen, gliedern das Gesamtbau-

werk in vortrefflicher Weise. Auch der Strombrücke fügt sich die linksseitige Landbrücke mit dem sehr glücklich gewählten Maßstab der Bogen, die dem Steigen des Geländes entsprechend sich allmählich verengen, sehr geschickt an. Das vortreffliche Bild der Strombrücke erhält stromab durch die Ausführung zweier geschlossener Treppentürme an den Ufern einen die Wirkung noch steigernden Abschluß. Die Gesamtanlage, wie die Durchbildung aller Einzelheiten, zeigt die Hand eines reifen Künstlers.“

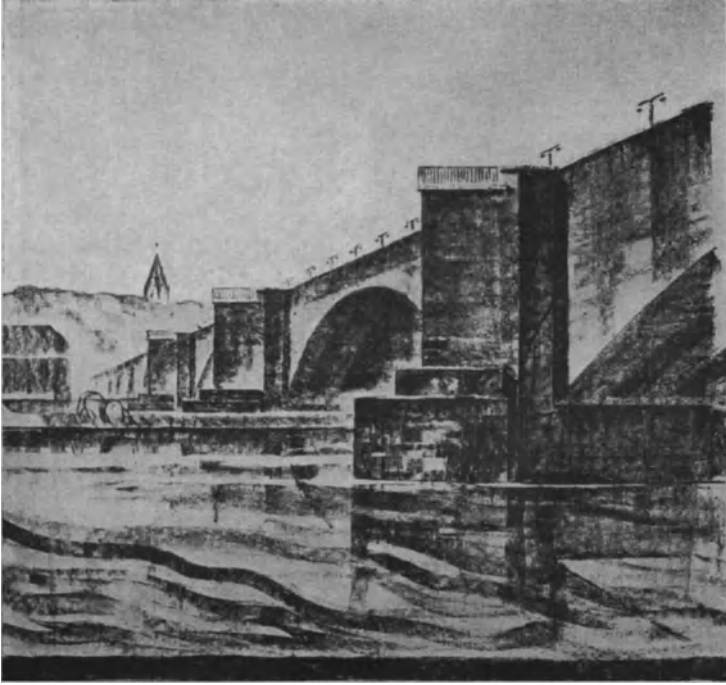


Abb. 36. Entwurf Butzer-Spangenberg mit Architekt Fuß, Köln, Seitenansicht von Oberstrom.

Recht anschaulich kommt die Gesamtwirkung an dem Modell Abb. 35 zum Ausdruck, das uns für das Studium der Massenverteilung und der Linienführung die wertvollsten Dienste geleistet hat. Die Seitenansicht, Abb. 36, zeigt die kräftigen Pfeiler und Vorköpfe. Als oberer Abschluß der Pfeiler

ist ein eisernes Geländer gewählt, um die Fahrbahnlinie in der Ansicht anzudeuten und einen Maßstab für die Größe des Bauwerks zu geben. Es darf erwähnt werden, daß gerade die vom Preisgericht hervorgehobenen Anordnungen, wie die große Pfeilerstärke, die kräftigen Vorköpfe zur Betonung des tragenden unteren Teils der Pfeiler sowie die Gliederung der Nebenöffnungen von den beteiligten Ingenieuren herrühren; der Architekt hat diesen Gedanken dann mit sicherer Hand die künstlerische Form gegeben. Die Gesamtwirkung des Entwurfes ist schon von Anfang an bei der konstruktiven Durchbildung bedacht und in stetem Zusammenarbeiten von Architekt und Ingenieur erzielt worden. Nur so scheint mir eine gute und einheitliche Gestaltung eines solchen Brückenbauwerks möglich, wie ja in diesem Zusammenarbeiten überhaupt die Grundlage für eine befriedigende Entwicklung auf vielen Gebieten der modernen Baukunst zu erblicken ist. —

Die Betrachtungen dieses Aufsatzes erstrecken sich nur ungefähr auf die Hälfte der bei dem Koblenzer Brücken-Wettbewerb eingereichten Entwürfe, und auch bei diesen konnten lediglich einzelne charakteristische Punkte in Wort und Bild behandelt werden. Man gewinnt daher aus diesem Bericht nur einen unvollkommenen Eindruck, welche Unsumme von wertvoller Ingenieurarbeit auch hier wieder ohne greifbaren Erfolg geleistet worden ist und welche großen Aufwendungen von den Baufirmen vergeblich gemacht worden sind. Wohl aber erkennt man, daß auch dieser Wettbewerb der Allgemeinheit und dem technischen Fortschritt zweifellos gedient hat. Der deutsche Eisenbetonbau hat bewiesen, daß er eine solche Aufgabe heute mit Sicherheit meistern kann; es sind eine ganze Reihe baureifer Lösungen gegeben worden.

So wird auch das Ergebnis dieses Wettbewerbes für die weitere Entwicklung des Massivbrückenbaues gute Früchte bringen und hoffentlich dazu beitragen, daß sich bald einmal ein gewölbter Bogen von mehr als 100 m Weite auch über einen deutschen Strom spannt.