

C₁

Weitgespannte Wölbbrücken

Von Professor Spangenberg, München

1. Statistische Angaben

Um den Begriff „Weitgespannte Wölbbrücken“ festzulegen, muß man eine untere Grenze für die Spannweite annehmen. Wählt man hierfür, in willkürlicher aber zweckmäßiger Weise, das Maß von 80 m, so ergibt sich, daß zur Zeit etwa 35 solche Brücken auf der Erde vorhanden sind.¹ Hiervon besitzen Amerika, Frankreich und die Schweiz je eine größere Anzahl, während sich in anderen Ländern nur vereinzelte Beispiele finden. Die Leistung eines Landes im Bau weitgespannter Wölbbrücken ist bedingt durch den Stand seiner Ingenieurbaukunst, durch die Entwicklung seiner Materialtechnik und durch den Geist seiner staatlichen Berechnungsvorschriften. Sie hängt aber auch sehr wesentlich von den Möglichkeiten ab, die durch die Bodengestaltung des Landes, durch seinen Wohlstand und durch die Wettbewerbsverhältnisse zwischen Massivbau und Eisenbau gegeben sind.

Die bisherigen Höchstleistungen sind durch folgende sieben Brücken gekennzeichnet, deren Spannweite $l \geq 100$ m ist:

	Spannweite in m	Pfeilverhältnis
1. Tiber-Brücke in Rom 1911	100,0	1 : 10,0
2. Talbrücke bei Langwies (Schweiz) 1914	100,0	1 : 2,38
3. Cappelen-Brücke in Minneapolis 1923	121,9	1 : 4,45
4. Seine-Brücke bei St. Pierre-du-Vauvray 1923	131,8	1 : 5,27
5. Hundwilertobel-Brücke (Schweiz) 1925	105,0	1 : 2,92
6. Tweed-Brücke bei Berwick (England) 1928	110,0	1 : 7,92
7. Caille-Brücke bei Cruseilles (Hoch-Savoyen) 1928	139,8	1 : 5,2

Die beiden letztgenannten Brücken sind zur Zeit noch nicht ganz vollendet; außerdem wird jetzt eine gewaltige Brücke mit drei Öffnungen von 180 m Weite über den Elorn bei Brest gebaut, und eine Brücke von 167 m Spannweite über den Menai-Meeressarm in England steht unmittelbar vor der Ausführung.

Die überwiegende Mehrzahl aller weitgespannten Wölbbrücken dient dem Straßenverkehr; nur vier sind Eisenbahnbrücken (zwei Brücken der Chur-Arosa-Bahn, die Isonzo-Brücke bei Salcano und die Öre-Elv-Brücke in Schweden). Als Baustoff für große Gewölbe ist heute Eisenbeton die Regel, vereinzelt finden sich Gewölbe aus Stampfbeton ohne Bewehrung (zwei amerikanische Brücken, die Lot-Brücke bei Villeneuve und die Caille-Brücke bei Cruseilles). Gewölbe aus Mauerwerk, die bei drei Brücken (Syratal-Brücke in Plauen i. Sachsen, Valserine-Brücke

¹ Vergleiche Spangenberg „Die gewölbten Brücken über 80 m Spannweite“ in „Beton und Eisen“ 1928, S. 335, wo sich eine ausführliche statistische Zusammenstellung findet.

in Frankreich und Isonzo-Brücke bei Salcano) ausgeführt worden sind, werden in Zukunft der hohen Kosten wegen für große Spannweiten nicht mehr in Frage kommen.

Bei den meisten weitgespannten Wölbbrücken haben die Gewölbe ein Pfeilverhältnis $\frac{f}{l} \geq \frac{1}{7}$. Nur fünf von ihnen besitzen flachere Bogen (Tiber-Brücke Rom, Aare-Brücke Olten, Rhone-Brücke bei Yenne, Lechbrücke bei Augsburg und Tweed-Brücke bei Berwick). Bei steilen Gewölben wächst die Schwierigkeit der Ausführung sehr stark mit der Höhe des Gewölbescheitels über der Erdoberfläche. Für die Kühnheit flacher Bogen ist der Wert $\frac{l^2}{f}$ ein guter Maßstab; bis jetzt ist die Zahl $\frac{l^2}{f} = 1000$ m außer bei der Tiber-Brücke in Rom nur bei der 95 m weit gespannten Rhone-Brücke bei Yenne erreicht worden. Die große Mehrzahl der Gewölbe sind eingespannte Bogen, sechs sind als Dreigelenkbogen ausgebildet und bei zwei Brücken findet sich das System des Zweigelenkbogens mit aufgehobenem Horizontalschub.

Zur Ergänzung dieser statistischen Angaben wären in der Diskussion Mitteilungen darüber erwünscht, ob zur Zeit neue weitgespannte Wölbbrücken gebaut oder vorbereitet werden.

2. Statische Überlegungen

Über das zweckmäßigste statische System für weitgespannte Wölbbrücken herrscht in Deutschland die folgende Anschauung. Bei ganz zuverlässigem Baugrund ist der eingespannte Bogen für die steilen Gewölbe bis herab zu etwa $\frac{1}{7}$ Pfeilverhältnis zweckmäßig. Bei flacheren eingespannten Gewölben entstehen durch die Verkürzung des Bogens infolge der Wirkung der ständigen Lasten, durch Temperaturänderungen und durch das Schwinden des Betons so erhebliche Zugspannungen, daß nicht nur eine sehr starke und daher unwirtschaftliche Bewehrung erforderlich wird, sondern auch trotz der Bewehrung die Gefahr der Ribbildung vorhanden ist. Deshalb wählt man in Deutschland bei solchen Gewölben den Dreigelenkbogen, den man auch bei steileren Gewölben dann zur Anwendung bringt, wenn mit einer gewissen Nachgiebigkeit des Baugrundes, also mit kleinen Widerlagerbewegungen, zu rechnen ist. Eine Erweiterung des Anwendungsgebietes der eingespannten Bogen auf Gewölbe mit kleineren Pfeilverhältnissen ist möglich durch die Anordnung provisorischer Gelenke, die erst nach Beendigung des Baues geschlossen werden, sowie vor allem durch die Anwendung des Bauverfahrens mittels hydraulischer Pressen. Durch beide Maßnahmen können die Grenzwerte der Randspannungen sehr günstig beeinflußt werden; bis zu einem gewissen Grade ist dies übrigens auch durch eine entsprechende Formgebung der Bogenachse möglich.

Zu diesen Erwägungen sind folgende Fragen aufzuwerfen:

1. In welchem Maße wird in anderen Ländern der Einfluß von Temperaturänderungen und vom Schwinden des Betons bei der Spannungsberechnung von statisch unbestimmten Gewölben berücksichtigt?

2. Ist es gelungen, provisorische Gelenke nachträglich so zu schließen, daß auf die Dauer eine steife Verbindung an den Gelenkstellen gewährleistet ist?

3. Wie haben sich flache Gewölbe, die ohne das Hilfsmittel der provisorischen Gelenke und ohne das Verfahren mit hydraulischen Pressen gebaut worden sind, in bezug auf die Ribbildung verhalten (z. B. Tiber-Brücke Rom, Rhone-Brücke bei Yenne)?

Andere statische Systeme, wie der Eingelenk- und Zweigelenkbogen, scheinen nach den bisherigen Erfahrungen keine wirtschaftlichen oder statischen Vorteile

für weitgespannte Gewölbe zu bieten. Der Zweigelenkbogen kommt bei ihnen bis jetzt nur in der Sonderform des Bogens mit aufgehobenem Horizontalschub in Frage.

Bei der Ermittlung der äußeren Kräfte ist zu beachten, daß mit Rücksicht auf den überwiegenden Einfluß der ständigen Lasten eine genaue Feststellung der Raumgewichte der Baustoffe unerlässlich ist, um sichere Rechnungsgrundlagen zu schaffen. Insbesondere ist bei stark bewehrten Bogen für das Raumgewicht des Eisenbetons der übliche Wert von 2,4 t/cbm nicht ausreichend, sondern es muß mit 2,5 bis 2,6 t/cbm gerechnet werden.

Hinsichtlich der Verkehrslasten besteht zwischen weitgespannten Eisenbahn- und Straßenbrücken insofern ein Unterschied, als bei jenen das Auftreten der rechnungsmäßigen Verkehrslast in vollem Umfange sehr wohl möglich, bei diesen dagegen meist sehr unwahrscheinlich ist. Hierin liegt eine Sicherheitsreserve für Straßenbrücken, die wohl bei der Festsetzung der zulässigen Beanspruchungen Berücksichtigung finden könnte.

Der Stoßzuschlag zu den Verkehrslasten kann bei gewölbten Brücken wegen ihres großen Eigengewichtes erheblich kleiner als bei eisernen Brücken gleicher Spannweite angenommen werden, bei sehr weitgespannten Gewölben wohl überhaupt unberücksichtigt bleiben. Beträgt doch das Verhältnis des Eigengewichtes zur Verkehrslast bei größeren Gewölben mindestens 4:1. Allerdings darf nicht übersehen werden, daß ein Stoßzuschlag gleichzeitig auch eine gewisse Reserve für künftige Laststeigerungen bildet. Es wird von großem Interesse sein, die Anschauungen kennen zu lernen, die in den verschiedenen Ländern über die Frage des Stoßzuschlages bei weitgespannten Wölbbrücken herrschen.

Von Einfluß auf das Ergebnis der statischen Berechnung ist auch die Wahl der Zahl n ; man sollte sie mit Rücksicht auf die gesteigerten Elastizitäts- und Festigkeitseigenschaften des für große Gewölbe verwendeten zementreichen Betons nicht zu hoch, etwa $n = 10$, annehmen.

Für die Lösung mancher statischen Sonderfragen, z. B. nach der versteifenden Wirkung der Aufbauten auf dem Gewölbe, erscheint der Modellversuch (Methode BEGGS) sehr zweckmäßig. Eine wichtige Rolle spielt die versteifende Wirkung des Überbaues für die Knicksicherheit der Bogen in vertikaler Richtung, die bei großen Spannweiten geprüft werden muß. Dabei ist hervorzuheben, daß bezüglich dieser Knicksicherheit der eingespannte Bogen gegenüber dem Zweigelenkbogen und noch mehr gegenüber dem Dreigelenkbogen im Vorteil ist. Bei Eisenbetonbogen mit angehängter Fahrbahn, bei denen die versteifende Wirkung auf den Bogen meist sehr gering sein wird, kann diese Knicksicherheit von erheblicher Bedeutung für die Konstruktion werden.

Eine besondere Beachtung verdient bei großen Gewölben die statische Berechnung der Widerlager; beruht doch auf der Zuverlässigkeit der Gründung in erster Linie die Sicherheit des ganzen Bauwerkes. Hier ist es vor allen Dingen die Frage der Gleitsicherheit bei verschiedenen Bodenarten, die noch der Klärung durch Reibungsversuche, womöglich in größerem Maßstabe, bedarf. Etwa zu erwartende geringe Widerlagerverschiebungen sind bei statisch unbestimmten Bogen für die Spannungsberechnung, bei allen Bogen für die richtige Bemessung der Überhöhung des Lehrgerüstes zu berücksichtigen.

3. Baustoffe und zulässige Beanspruchungen

Der gegebene Baustoff für große Gewölbe ist heute der Eisenbeton; bietet er doch ganz andere konstruktive Möglichkeiten als Mauerwerk und unbewehrter Beton. Die Eiseneinlagen erhöhen nicht nur in weitgehendem Maße die Sicherheit der Gewölbe gegenüber Zufälligkeiten bei der Ausführung und gegenüber künftigen

Laststeigerungen, sondern sie gestatten auch, die Bogen schlanker und leichter auszubilden, was große wirtschaftliche und konstruktive Vorteile bietet. Die leichtere Ausbildung der Bogen erhöht überdies die Sicherheit der Lehrgerüste und der Widerlager und vermindert deren Kosten.

Die künftige Entwicklung der weitgespannten Wölbbbrücken ist in erster Linie von der Erhöhung der zulässigen Druckspannung des Betons abhängig. Deshalb sind die hochwertigen Zemente hierfür von größter Bedeutung. Mit ihnen läßt sich eine so weitgehende Steigerung der Druckfestigkeit des Betons erreichen, daß es für eine nahe Zukunft möglich erscheint, die zulässige Druckspannung in großen Gewölben unter Berücksichtigung aller Zusatzkräfte bis etwa 100 kg/qcm zu erhöhen, wobei man eine mindestens 3,5fache Sicherheit, gemessen an der Würfelfestigkeit im Alter von 28 Tagen, zugrunde legen sollte. Voraussetzung ist hierfür eine strenge Baukontrolle in bezug auf Kornzusammensetzung, Konsistenz und Festigkeit des Betons. Außerdem müssen vor Baubeginn systematische Versuche mit den zur Verfügung stehenden Betonmaterialien vorgenommen werden. Ferner ist es denkbar, daß sich mit Hilfe der hochwertigen Zemente vielleicht ein Leichtbeton von so großer Festigkeit herstellen läßt, daß er für weitgespannte Gewölbe verwendet werden kann und auf diesem Wege eine weitere Verminderung des Eigengewichtes zu erzielen ist.

Die starke Wärmeentwicklung der hochwertigen Zemente beim Abbinden spricht dafür, möglichst gegliederte Bogenquerschnitte anzuwenden. In besonderem Maße gilt dies vom Schmelzzement, mit dem allerdings in Deutschland noch keine Erfahrungen bei weitgespannten Gewölben vorliegen.

Auch die Steigerung der Zugfestigkeit des Betons ist für alle weitgespannten Gewölbe sehr wertvoll, bei denen größere Zugspannungen auftreten. Ist doch von ihr auch bei Anordnung einer Bewehrung die Reißsicherheit in erster Linie abhängig. Deshalb erscheint es auch ratsam, für die zulässige rechnermäßige Biegezugspannung σ_{bz} einen Wert bei Gewölben vorzuschreiben, je nach der Betonqualität etwa 25 bis 35 kg/qcm. Besonders wichtig ist dies für die Gewölbe mit steifer Bewehrung und voller Anhängung der Schalung nach System MELAN, da hier in den Verbundquerschnitten die Grundspannungen aus dem Bogeneigengewicht fehlen und deshalb leicht größere Zugspannungen im Beton auftreten können.

Für die vorstehend erörterten Fragen ist es von hohem Interesse, welche Vorschriften und Anschauungen in den verschiedenen Ländern über die zulässigen Beanspruchungen des Gewölbebetons bei großen Spannweiten bestehen, sowie auch, welche praktischen Erfahrungen mit der Verwendung der hochwertigen Zemente im Gewölbebau gemacht worden sind.

Die Gütesteigerung des Stahles ist für die gewöhnlichen Eisenbetongewölbe ohne besondere Bedeutung. Dagegen ist eine weitgehende Ausnutzung des hochwertigen Stahles bei steifbewehrten Gewölben möglich, weil man hier die als Gitterträger ausgebildete Bewehrung durch Anhängung der Schalung mit dem Gewölbebeton belasten und dadurch eine Vorspannung erzielen kann. Die Höhe dieser Vorspannung ist in der Regel von der Knicksicherheit der eisernen Gitterbogen in vertikaler Richtung abhängig. Man wird allerdings hiebei den Sicherheitsgrad gegenüber dem sonst üblichen Wert etwas herabsetzen dürfen, da es sich nur um einen Bauzustand handelt. Einen besonders geeigneten Baustoff für die steife Bewehrung weitgespannter Gewölbe besitzen wir jetzt im Silicium-Baustahl mit seiner hohen Quetschgrenze und Bruchfestigkeit.

4. Konstruktive Fragen und Architektur

Für die Steigerung der Spannweiten ist die Verminderung des Eigengewichtes der gewölbten Brücken von ausschlaggebender Bedeutung. Daher ist die Ausbildung

des Bogenquerschnittes die wichtigste konstruktive Aufgabe. Volle Tonnengewölbe kommen bei steilen Bogen bis etwa 100 m Weite noch in Betracht, weil sich bei diesen die Beanspruchungen noch in mäßigen Grenzen halten. Zumeist wird aber auch hier bei breiteren Brücken die Aufteilung wenigstens in zwei Gewölberinge zweckmäßig sein. Bei flacheren Bogen ist zur Verringerung des Eigengewichtes die Auflösung des Querschnittes in einzelne Rippen mit Querversteifungen notwendig. Dadurch wird bei städtischen Brücken auch die Durchführung der zahlreichen Leitungen in der Gegend des Bogenscheitels sehr erleichtert. Gegenüber den rechteckigen Rippen haben I-förmige Rippen ein größeres Widerstandsmoment, ihre Ausbildung ist in Eisenbeton einwandfrei möglich. Zuweilen sucht man durch Anordnung von Umschnürungen die Bruchsicherheit der Rippenquerschnitte zu erhöhen; nur ist es fraglich, ob nicht durch eine enge Umschnürung die Güte des Betons bei der Ausführung, namentlich in großen Querschnitten, beeinträchtigt wird. Das größte Widerstandsmoment und die beste Seitensteifigkeit erzielt man mit hohlen Eisenbetonrippen in Kastenform, wie sie bei der Seine-Brücke von St. Pierre—du Vauvray, bei der Berwick-Brücke über den Tweed und bei der Lech-Brücke Augsburg angewandt worden sind. Allerdings ist die Herstellung solcher Querschnitte weniger einfach und es würde von Interesse sein, Näheres über die Betonierungsverfahren für die hohlen Rippen bei den genannten Brücken zu hören. Die weitgehendste Verminderung des Eigengewichtes läßt sich bei steifbewehrten Rippenbogen nach System MELAN erreichen, weil durch die Vorspannung in der Bewehrung der Verbundquerschnitt entlastet wird. Gegen eine fachwerkartige Ausbildung von Eisenbetonbogen besteht in Deutschland Abneigung, da man die Nebenspannungen infolge der steifen Fachwerksknoten bei dem spröden Betonmaterial fürchtet.

Den Aufbau über den großen Gewölben wird man heute immer möglichst leicht in Eisenbetonkonstruktion ausführen, indem man Säulen oder Wände anordnet, welche die als Plattenbalkendecke ausgebildete Fahrbahn tragen. Bei steilen Gewölben kann man den durchbrochenen Aufbau auch nach außen zeigen, während es bei flachen Gewölben in der Regel architektonisch günstiger wirkt, wenn man geschlossene Stirnwände anordnet. Auskragungen für die Fußwege bieten stets wirtschaftliche Vorteile; eine gute architektonische Wirkung läßt sich damit aber nur bei Gewölben erzielen, die nicht zu flach sind und eine genügende Konstruktionshöhe im Scheitel besitzen. Eine nicht leichte Aufgabe ist bei geschlossenen Stirnwänden die einwandfreie Herstellung der großen zusammenhängenden Betonflächen und die geeignetste Art ihrer Bearbeitung. Hierzu wäre es erwünscht, die Erfahrungen mit dem Kontexverfahren kennen zu lernen. Eine Steinverkleidung der Sichtflächen ist nicht grundsätzlich abzulehnen, dagegen eine Nachahmung der Steinarchitektur, etwa durch Fugenschnitt im Beton.

Eisenbetonbogen mit angehängter Fahrbahn wird man nur anwenden, wenn eine geringe Bauhöhe zwischen Kämpfer und Fahrbahn dazu zwingt; sie sind in architektonischer und konstruktiver Hinsicht gegenüber den Bogen mit oben liegender Fahrbahn zweifellos im Nachteil.

Die besonderen konstruktiven Aufgaben beim Dreigelenkbogen sind heute, namentlich durch die Entwicklung in Deutschland, weitgehend gelöst. Als Gelenke kommen für große Gewölbe ausschließlich solche aus Stahlguß, entweder als Wälzelenke mit Kupillensicherung oder als Bolzengelenke, in Frage. Herstellung und Versetzen dieser Gelenke bietet auch bei sehr großen Abmessungen keine Schwierigkeiten. Um die Gelenke ordnet man zweckmäßig gut zugängige Gelenkkammern an, die nach oben und unten durch Eisenbetonplatten und an den Stirnen durch Eisenbetonwände abgeschlossen werden. Die Kosten der Gelenke gleichen sich in der Regel mit den Kosten der stärkeren Bewehrung aus, die sonst in dem gelenklosen Bogen nötig sein würde. Auch für provisorische Gelenke wird man bei großen

Spannweiten zumeist Stahlgelenke anwenden; eine einfachere Ausführung durch Verkleinerung des Eisenbetonquerschnittes, also in Form von unvollkommenen Gelenken, findet sich z. B. bei der Vesubie-Brücke in Frankreich. Bei flachen Dreigelenkbogen lassen sich wirtschaftliche Vorteile erzielen, wenn man die Kämpfergelenke vor den Widerlagerfluchten vorkragt. Jedoch darf diese Maßnahme nicht zu weit getrieben werden, weil dabei die Pfeilhöhe der Bogen in stärkerem Maße als die Spannweite verkleinert wird.

Bei Strombrücken erscheint es als eine zu strenge Forderung, daß die Kämpfergelenke von dem höchsten Hochwasser nicht berührt werden sollen, namentlich wenn dieses selten auftritt und nur von kurzer Dauer ist. Es wird im allgemeinen genügen, wenn die Gelenke über den häufigen Hochwässern liegen.

5. Bauausführung, einschließlich Lehrgerüste

Die Bauausführung ist für die Sicherheit und für die Wirtschaftlichkeit weitgespannter Gewölbe außerordentlich wichtig. Die normale Ausführung mit hölzernen Lehrgerüsten erfordert nicht nur erhebliche Kosten, sondern schließt auch Gefahren und Unsicherheiten in sich, namentlich bei Strombrücken und hohen Talbrücken. Man wendet daher jetzt häufig, namentlich in Amerika, eiserne Lehrgerüste an, die allerdings in der Regel nur dann wirtschaftlich sein werden, wenn ihre mehrmalige Verwendung bei demselben Brückenbau möglich ist. Sonst erscheint es zweckmäßiger, die Eisenkonstruktion in den Bogen selbst zu legen und die Bogenschalung an sie anzuhängen (System MELAN). Die Gefahr der hölzernen Lehrgerüste beleuchtet die Tatsache, daß in den letzten sechs Jahren nicht weniger als fünf größere Brückenlehrgerüste in Europa eingestürzt sind; in Amerika ist im Jahre 1927 das Lehrgerüst eines 60 m weitgespannten Bogens durch Brand zerstört worden, wodurch ein Schaden von 75 000 Dollar entstanden ist. Es ist ein Vorteil des hochwertigen Zementes, daß wegen seiner raschen Erhärtung die Ausrüstungsfrist und damit der gefährliche Bauzustand wesentlich abgekürzt werden kann. Zur Verminderung der Lehrgerüstabmessungen und -Kosten dient das neuerdings wieder aufgenommene Verfahren, die Gewölbe in übereinanderliegenden Ringen herzustellen (Seine-Brücke bei St. Pierre—du-Vauvray, Caille-Brücke bei Cruseilles, Entwurf für die Menai-Brücke). Dabei erhält das Lehrgerüst nur die Last des ersten Ringes, der dann als Träger für die weiteren Ringe dient. Gegen dieses Verfahren bestehen ja die bekannten statischen Bedenken, daß die Ringe ungleichmäßig beansprucht werden. Es wird von Interesse sein, zu erfahren, wie sich dieser Bauvorgang bewährt hat und ob man ihn etwa durch besondere Maßnahmen, z. B. entsprechende Wahl der Bogenachse, verbessern kann.

Am größten ist die Sicherheit während der Bauausführung zweifellos bei den steifbewehrten Gewölben nach System MELAN mit voller Anhängung der Bogenschalung, weil das Lehrgerüst bei ihnen in Wegfall kommt und nur Montagegerüste für die Aufstellung der als Bewehrung dienenden Eisenkonstruktion nötig sind. Es wird eine wichtige Aufgabe sein, die Wirtschaftlichkeit solcher Gewölbe für große Spannweiten zu untersuchen und womöglich zu steigern. Damit die steife Bewehrung nicht zu stark und daher unwirtschaftlich wird, ist auch hier schon die Ausführung der Bogen in übereinanderliegenden Ringen angewandt worden (Grandfey-Viadukt in der Schweiz). Ein weiterer Vorteil der steifbewehrten Bogen mit voller Anhängung der Schalung ist der Wegfall des normalen Ausrüstungsvorganges; die Kämpferdrücke aus Bogeneigengewicht kommen bei ihnen ganz allmählich auf die Pfeiler und Widerlager zur Wirkung. Bei teilweiser Anhängung der Bogenschalung vermindern sich wegen des dann wieder nötigen Lehrgerüstes die Vorteile für die Bauausführung, jedoch kann dabei durch Verringerung des Querschnittes der steifen Bewehrung unter Umständen die Wirtschaftlichkeit erhöht werden.

Bei weitgespannten Gewölben mit steifer Bewehrung muß auch dafür Sorge getragen werden, daß der Beton des Bogens vorspannungsfrei eingebracht wird. Die Gefahr einer unzulässigen Vorspannung im Beton ist besonders groß bei Verwendung des rasch erhärtenden hochwertigen Zementes und bei einer hohen Eisenvorspannung. Man erreicht die einwandfreie Herstellung des Gewölbebetons, indem man eine ihm gewichtsgleiche Vorbelastung aus Kiesmaterial auf die angehängte Schalung aufbringt und allmählich durch Beton ersetzt. Bei Rippenbogen kann man die Kiesauflast zwischen die Rippen lagern. Man gewinnt dann noch den Vorteil, daß man in den stark bewehrten Rippen selbst keine Lamellenschalung braucht, sondern in einem Zuge von den Kämpfern nach dem Scheitel hin betonieren kann, weil ja bei diesem Bauverfahren die Gesamtbelastung des Bogens konstant bleibt.

6. *Schlußbetrachtung*

Fortschritte im Bau weitgespannter Wölbbrücken werden sowohl durch Verbesserungen der Gewölbebaustoffe wie durch neue konstruktive Gedanken, namentlich für die Querschnittsbildung, zu erwarten sein. Weitaus die wichtigste Aufgabe wird aber immer die Vervollkommnung der Baumethoden bleiben, um dadurch die Sicherheit bei der Bauausführung und die Wirtschaftlichkeit großer Wölbbrücken zu erhöhen. Die Steigerung der Spannweiten wird weniger durch das technische Können als durch den wirtschaftlichen Wettbewerb mit den eisernen Brücken bedingt sein. Die größere Lebensdauer und die geringeren Unterhaltungskosten der gewölbten Brücken müssen dabei natürlich entsprechend in Rechnung gestellt werden. Das Hauptgebiet der Entwicklung für große Wölbbrücken liegt zur Zeit bei den Spannweiten zwischen 80 und 150 m, und es wird die Aufgabe der nächsten Zukunft sein, für diese Abmessungen möglichst sichere und wirtschaftliche Ausführungsmethoden zu schaffen. Spannweiten über 150 m hinaus sind für größere Pfeilverhältnisse auch heute schon möglich und bereits in Angriff genommen. Sie werden jedoch bis auf weiteres wohl als sehr kühne und bewundernswerte Einzelleistungen anzusehen sein.