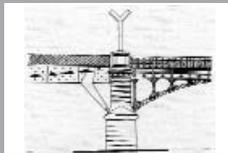


## Publikationen

### 3. Brückenbau Marschallbrücke Berlin

Pichler Gerhard, Guggisberg Roland  
"Marschallbrücke - Ersatzbau im historischen Kontext"  
Stahlbau 66 (1997), Heft 12, Seite 797 - 809  
Verlag Ernst & Sohn, Berlin



# Marschallbrücke – Ersatzbau im historischen Kontext

Die Marschallbrücke war 1882 eine der ersten einer Reihe von Brücken, die unter der Eigenverantwortlichkeit der Stadt Berlin ab 1876 entstanden sind. Sie stammt aus einer für Berlin entwicklungs-geschichtlich wichtigen Zeitepoche raschen Wachstums. Den damals bereits bestehenden engen Randbedingungen und Zwängen, wie Beeinträchtigung benachbarter Grundstücke durch lange Brückenrampen usw., konnten durch das neu aufkommende Baumaterial Schweißeisen, das geringste Konstruktionshöhen gestattete, Lösungen entgegengebracht werden. Auch von der Konstruktionsart mit drei Bogenöffnungen ist die Marschallbrücke ein typisches Beispiel, und das letzte noch existierende dieser Bauart. Daraus entstand der auch politisch untermauerte Wille der Denkmalpflege, die Brücke – wenn auch nur teilweise – zu erhalten. Mit einem Wettbewerb suchte man nach Lösungen für eine Verbindung des historischen nördlichen Brückenfeldes mit einer neuen Brücke, die die notwendige größere Durchfahrtsöffnung für die Schifffahrt bietet. Der hier vorgestellte Entwurf schlug als entscheidender Lösungsansatz eine Aufteilung der Brücke vor. Und dies führt zu einer spannenden Auseinandersetzung zwischen Alt und Neu, zwischen Tradition und Neuerung, welche zur Zeit gerade in Berlin kontrovers geführt, diskutiert und gelebt wird.

**The ‚Marschall‘ bridge, replacement in a historic context.**  
*The ‚Marschall‘ bridge was one of the first bridges built in 1882 under the responsibility of the municipal authorities of Berlin, established in 1876 by contract with the Prussian government. The bridge is named after field marshal Blücher, a well known Prussian commander of the Napoleonic wars. It has the character of years of rapid expansion, which was an important epoch especially for Berlin. Steel was the new material of this epoch, allowing reduction of structural dimensions. This type of arch-bridge with three openings is very typical for Berlin at that time. The ‚Marschall‘ bridge is the last existing of this generation. For this reason, political authorities decided to partly preserve the ancient monument. A competition was announced to find convincing solutions to combine the preserved north span with a new south span, providing the necessary large opening for the navigable waterway. The contribution presented in this paper proposed the partition of the bridge as main idea. A road bridge is flanked by two completely detached bridges for pedestrians. Some of the old arches of the north span are integrated in the pedestrian bridges. Old elements are transformed by the intelligent addition of new parts into a new structural system. The proposal awarded first prize develops within the narrow boundaries of the urban surrounding a tense dialogue between old and new, tradition and innovation, as it is currently nowhere discussed more extensively than in Berlin.*

## 1 Einleitung

Die großen Brückenbauwerke in Berlins Mitte dokumentieren nicht nur auf eindrucksvolle Weise die Geschichte der Ingenieurkunst zur Zeit ihres Entstehens im 19. Jahrhundert, sondern belegen gleichermaßen das Schicksal dieser durch Kriege zerstörten und lange geteilten Stadt.

Mit dem Wiederaufbau und der Erweiterung der Marschallbrücke wurde 1995 ein Wettbewerb ausgelobt,

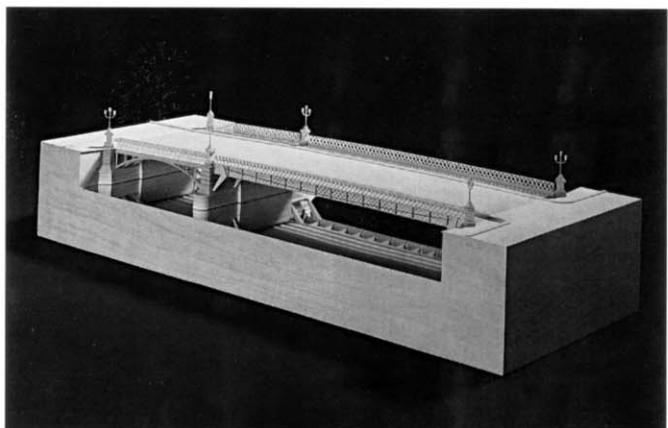
der den Erhalt alter Konstruktionsteile ebenso forderte wie eine zeitgemäße, neue Erweiterung. Aus diesem Grunde auch hieß das Thema der Aufgabe „Alt – Neu“, um bereits im Vorfeld die historische Dimension des Bauwerks zu sichern. Zu diesem beschränkten Realisierungswettbewerb, von der Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen getragen, wurden in zwei Gruppen acht Teams, bestehend aus Ingenieur und Architekt, eingeladen. Die Fachpreisrichter und Sachverständigen entschieden sich 1996 mit der Zuweisung des 1. Preises für die eingereichte Arbeit der Büros *Tonon/Pichler* (Bild 1).

## 2 Geschichte der Marschallbrücke

Seit der Fusion der mittelalterlichen Dörfer Berlin und Cölln zu einer gemeinsamen Stadt Berlin ist die Verbindung dieser beiden, durch die Spree getrennten Orte, ein ständig bearbeitetes städtebauliches Thema. Der erste Übergang über die Spree war ein bebauter Damm, „der Mühlendamm“, 1298 erstmals urkundlich erwähnt. Die „Lange-Brücke“ war die erste hölzerne Brücke, welche Berlin und Cölln verband. Diese Brücke wurde 1692 bis 1695 als erste massive Brücke mit fünf Steinbögen ausgestattet.

Am Spreebogen reichte bis Ende des 16. Jahrhunderts ein einfacher Holzsteg aus, um die Jagdgesellschaften in die nahegelegenen Auenwälder zu bringen.

Vor 1640, nach Errichtung einer Pulvermühle und einer Meierei, mußte dieser Holzsteg für Transportzwecke durch eine Holzklappbrücke (Unterbaumbrücke, spätere Kronprinzen-Brücke) ersetzt werden. Als dritte Spreebrücke entstand 1685 die Weidendammer Brücke als hölzerne Zugbrücke. Die Brückenbaugeschichte Berlins war bis 1740 durch hölzerne Zweckbauten einfachster Bauart geprägt.



**Bild 1.** Wettbewerbsmodell  
**Fig. 1.** Architectural model for the competition



**Bild 2.** Marschallbrücke im Jahre 1821 (aus [1])  
**Fig. 2.** View of the ‚Marschall‘ bridge in 1821

In der Periode 1740–1824, konnten von bekannten Baumeistern wie *Schinkel* mehrere teils sehr kunstvolle Steinbrücken mit einer mittleren klappbaren Öffnung errichtet werden. Gegen Ende dieser erfreulichen Phase entstand 1821, anstelle einer hölzernen Fußgängerbrücke die Marschallbrücke mit steinernen Pfeilern und einem Klappendurchlaß (Bild 2). Sie wurde benannt zu Ehren des Feldmarschalls *Blücher*.

Bis 1876 waren sämtliche Straßen und Brücken Berlins im Eigentum des Staates Preußen. Ab 1820 beteiligte sich die Gemeinde Berlin an den Kosten für Unterhalt und Ausbau des Verkehrsnetzes, besaß aber nur beschränktes Mitspracherecht. Dies führte zunehmend zu Meinungsverschiedenheiten. Die Stadt wuchs rasch und war auf ein gut funktionierendes Straßennetz angewiesen. Die vielen Klappbrücken, Holzbrücken mit ungenügender Tragfähigkeit und der teils schlechte bauliche Zustand waren ein Hindernis für die Entwicklung.

Mit dem Vertrag von 1876, welcher die Straßen und Brücken in das Eigentum der Stadt überführte, begann

eine rege Brückenbautätigkeit [1]. Gleichzeitig wurde der Bau von Holzbrücken für unzulässig erklärt. Als neues Material der Industrialisierung gewann Eisen im Brückenbau rasch an Bedeutung. Von 1876–1884 wurden gleich acht große Brücken in Berlin mit eisernen Bögen errichtet. Darunter war 1881/82 die Marschallbrücke (Bild 3). Vier der in diesem Zeitraum entstandenen Brücken waren als Bogenbrücken mit drei Öffnungen und etwas größerem Mittelfeld von ähnlicher Typologie: Jannowitz-, Michael-, Kronprinzen- und Marschallbrücke. Die Tabelle 1 zeigt einige Kenndaten dieser Brücken.

1894 wurde ganz in der Nähe der Marschallbrücke der bereits damals umstrittene Reichstagsbau des Architekten *Wallot* verwirklicht (Bild 4).

Im zweiten Weltkrieg wurde das südliche Brückenfeld zerstört (Bild 5) und später durch ein, das äußere Bild wiederherstellendes, Sprengwerk ersetzt. Alle vier auf die Marschallbrücke weisenden Bebauungsblöcke waren 1947 zerstört und wurden abgetragen. Zu DDR-Zeiten



**Bild 3.** Westansicht der Marschallbrücke um 1902 (Foto: Landesbildstelle Berlin)  
**Fig. 3.** View of the ‚Marschall‘ bridge looking east about 1902



**Bild 4.** Luftaufnahme der Marschallbrücke Richtung Westen mit Reichstag (Foto: Landesbildstelle Berlin)  
**Fig. 4.** Aerial view of the ‚Marschall‘ bridge looking west with the ‚Reichstag‘ in the back



**Bild 5.** Zerstörte Marschallbrücke um 1946 (Foto: Landesbildstelle Berlin)

**Fig. 5.** Destroyed ‚Marschall‘ bridge about 1946

wurde der gesamte Bereich entlang der Sektorengrenze städtebaulich vernachlässigt. Die Marschallbrücke ist, wenn auch nur teilweise, erhalten, eines der letzten Zeugnisse einer wichtigen Zeitepoche beginnender Industrialisierung und die letzte noch existierende Brücke einer für Berlin typischen Bauart.

Der Wiederaufbau und die Neuplanung der Marschallbrücke hat neben der architektonischen auch eine symbolische Komponente: das vorgegebene Thema „Alt – Neu“ fordert zu geschichtsbewußtem Handeln in mehrfacher Hinsicht heraus – einerseits in bezug auf die Berliner Situation der Spreebrückentradition, andererseits in Hinsicht auf die politische und psychologische Komponente „Brücken vereinen“. Das Motto verweist zudem deutlich auf eine Verbindung der konstruktiven Möglichkeiten von 1882 und 1997.

### 3 Der Wettbewerb

Der beschränkte einstufige Realisierungswettbewerb für einen Ersatzbau der Marschallbrücke in Berlin-Mitte wurde im November 1995 vom Land Berlin, vertreten durch die Senatsverwaltung für Bauen, Wohnen und Verkehr, als Bauherr, ausgelobt [2], [3]. Aufgefordert wurden insgesamt acht Arbeitsgemeinschaften aus Architekten und Beratenden Ingenieuren in zwei Gruppen (Gruppe 1: Alt – Neu; Gruppe 2: Neubau).

Anlaß des Wettbewerbs für das Land Berlin war die Tatsache, daß die Marschallbrücke in der derzeitigen Form weder konstruktiv noch funktionell den Anforderungen einer Stadtbrücke im Zentrum des zukünftigen Regierungsviertels entspricht.

Mit dem Wiederaufbau müssen zwei wichtige städtebauliche Komponenten vereint werden, einerseits soll die Marschallbrücke den Anforderungen der modernen Binnenschiffahrt genügen und muß daher technisch erneuert und erweitert werden, andererseits steht die Brücke aufgrund ihrer geschichtlichen und künstlerischen Bedeutung für das Stadtbild unter Denkmalschutz. Zusätzlich soll die Brücke als Stadtbrücke für Fußgänger, Radfahrer und für den Kraftfahrzeugverkehr geeignet sein.

**Tabelle 1.** Vergleich der von 1876 bis 1884 erbauten Spreebrücken (aus [1])

**Table 1.** Comparison of bridges built between 1876 and 1884 over the river Spree in Berlin

Name der Brücke	Lichtweiten (m)	Konstruktionshöhe im Scheitel (cm)	Steigung der Rampen
Michael	18,0 + 21,0 + 18,0 + 5,0 = 62,0	65	1 : 50
Jannowitz	18,5 + 21,0 + 18,5 = 58,0	61	1 : 47
Kronprinzen	15,48 + 18,68 + 15,48 = 49,64	56	1 : 48,5
Marschall	15,52 + 19,52 + 15,52 = 50,56	53	1 : 40

Daher entschloß man sich im Rahmen des Wettbewerbsverfahrens für zwei grundsätzlich unterschiedliche Lösungsansätze.

Die erste Gruppe der Teilnehmer erhielt die Aufgabe, eine Brücke im Dialog „Alt – Neu“ zu entwerfen. Hierbei wurde vorausgesetzt, daß das nördliche Brückengoch und die vorhandenen Kaimauern und Widerlager erhalten bleiben.

Der zweiten Teilnehmergruppe wurde, ausgehend vom Abriß der bestehenden Marschallbrücke, der Entwurf einer neuen Brücke übertragen.

Ziel dieses Realisierungswettbewerbes war es u.a., ein Brückenbauwerk zu entwerfen, das sowohl an die Tradition der Berliner Spreebrücken anknüpft, als auch den Anforderungen einer Hauptstadt des wiedervereinigten Deutschland gerecht wird.

Mit anderen Worten wurde vom Land Berlin durch die Planungsgemeinschaften ein Entwurf erwartet, der sich auf überzeugende Weise mit den städtebaulichen, architektonischen und landschaftsplanerischen Gegebenheiten im Zentrum der Stadt auseinandersetzt.

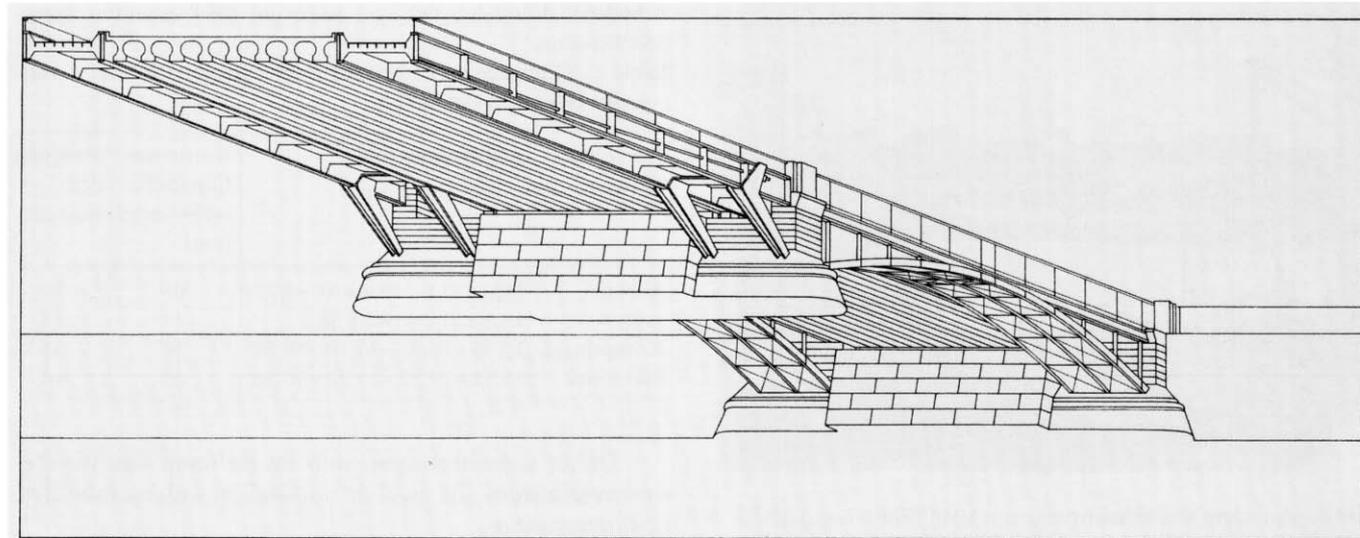
### 4 Entwurfsidee

Um den Erhalt eines historischen Brückenfeldes im Dialog mit einer weitgespannten Öffnung für die Schifffahrt, gemäß der Themenstellung „Alt – Neu“, zu gewährleisten, verstand die Planungsgruppe *Tonon/Pichler* ihre Aufgabe gleichzeitig als „Brückenschlag“ zwischen jener frühindustriellen und der aktuellen spätindustriellen architektonischen Entwicklungsphase.

Das Entwurfskonzept basierte auf folgenden vier zentralen Themen:

1. Zerlegung der Gesamtbrücke in drei Brücken
2. Erfahrbarkeit eines historischen Zusammenhanges im Stadtbild
3. Ablesbarkeit der Tragwirkung
4. Dialog Alt – Neu entwickelt am Pfeiler

Um für einen Lösungsansatz gemäß den Ausschreibungsbedingungen den entsprechenden konstruktiven und künstlerischen Freiraum zu erhalten, wurde die Gesamtbrücke als Baukonstruktion zerlegt. Eine fast unvereinbare Zielsetzung war es, trotz der Beibehaltung der historischen Brückenbögen, die Bereiche für die Fußgänger auf dem gleichen Niveau zu erstellen. Die Kompromißlösung ergibt hier eine zentrale Straßenbrücke mit niedrigstmöglicher Konstruktionshöhe, flankiert von Fußgängerbrücken (Bild 6).



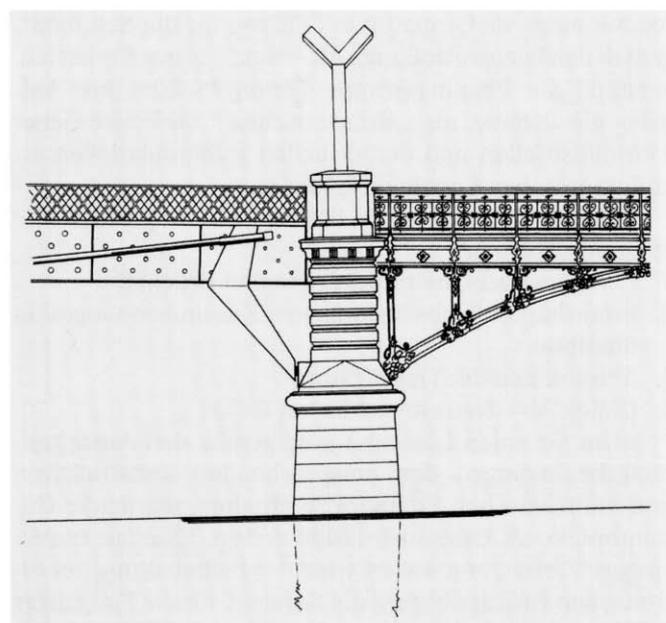
**Bild 6.** Axionometrische Darstellung des Wettbewerbsentwurfes  
**Fig. 6.** Axionometric view of the competition plan

Fußgänger- und Straßenbrücken sind im Überbaubereich vollständig getrennt, was letztendlich auch Vorteile im dynamischen Verhalten bietet. Ein Nachteil für den Brückenunterhalt ergibt sich durch den höheren Fugenanteil.

Der Erhalt der historischen Eisenbogen im Bereich der Straße wurde verworfen, da weder eine Verstärkung zur Ertüchtigung noch ein aufgesattelter Überbau im Sinne der Aufgabe gewesen wäre.

Die Lösung mit eingeschobener neuer Straßenbrücke und flankierenden Gehwegbrücken ergibt dagegen mehr Freiheit für die Gradientenführung der Straße.

Der Hochpunkt wurde schließlich in Flußmitte gewählt, nachdem zuvor der Scheitel noch mittig der großen Öffnung lag.



**Bild 7.** Pfeileransicht mit alter und neuer Brücke, Entwurfsplanung

**800 Fig. 7.** View of the pier with part of old and new bridge

Die Gehwege liegen – bedingt durch die historische Brücke – etwas tiefer als die Fahrbahn. Dieser Höhenunterschied beträgt gleichbleibend nur 30 cm, so daß eine Nähe der Höhenordinaten von Straße und Gehweg besteht, und der Unterschied als angenehme Bodenmodulation empfunden werden kann.

Durch denkmalgerechte Rekonstruktion des Geländers im Bereich der im Brückenfeld Nord praktisch unverändert erhaltenen Bogen, wird die historische Brücke als harmonische Einheit mit dem Pfeiler und den Widerlagern wiederhergestellt.

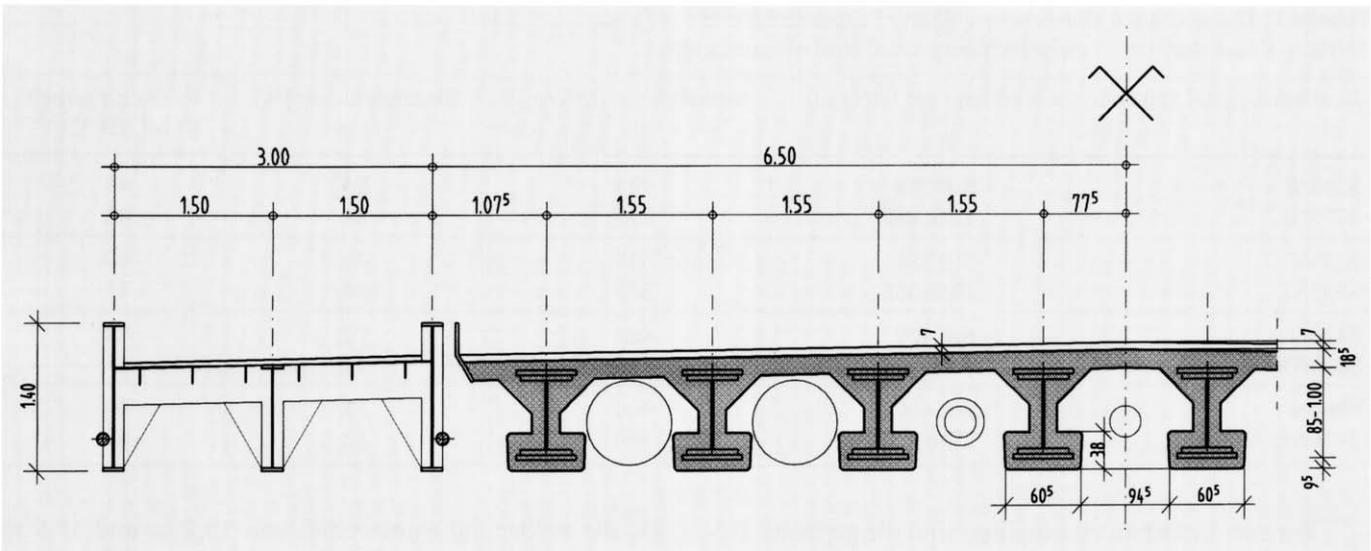
Für die neue große südliche Schiffsfahrtsöffnung wird für die Gehwegbrücken eine geschweißte Blechkonstruktion gewählt, um dem überladenen, schmiedeeisernen Zierrat der alten Brücke ein ruhiges Erscheinungsbild gegenüberzustellen. Hieraus ergibt sich ein Konflikt mit der Prämisse, die Tragwirkung nachvollziehbarer zu machen.

Die Eisenbogen entspringen, entsprechend frühindustriellem Verständnis, der Tradition des Mauerwerk Bogens, welcher in leicht lesbarer Form die Kräfte vorwiegend auf Druck abträgt und dessen Erscheinungsbild mit den Eisenkonstruktionen bisweilen sogar imitiert wurde, wie dies z. B. bei der historischen Kronprinzenbrücke der Fall war.

Der Entwurf greift diese Tradition auf und setzt sie, entsprechend der spätindustriellen Entwicklung, in eine der Parabel folgende Unterspannung um, welche aus hochfestem Spannstahl gefertigt wird und mittels Zugkräften arbeitet.

Wegen der freizuhaltenden Durchfahrtsöffnung befindet sich die Unterspannung nicht unterhalb, sondern seitlich am Blechträger.

Am Flußpfeiler werden diese beiden Elemente, alter Eisenbogen und neue Unterspannung, durch stählerne, massive Hebelarme kraftmäßig verbunden. Die einem Bumerang ähnliche Form der Hebelarme entspricht dem Kraftfluß, faßt den Verankerungspunkt der Unterspannung und den Fußpunkt der Eisenbogen und weist zur unteren Gurtung der Blechträger (Bild 7).



**Bild 8.** Querschnitt durch den Überbau, Hauptöffnung  
**Fig. 8.** Section through the bridge deck, main span

Dieses Veranschaulichen von Tragwirkung wird weiter unterstützt durch runde Öffnungen im Stegblech der Träger, welche entsprechend der Tragwirkung in Feldmitte am größten sind und zu den Auflagern hin, dem Querkraftverlauf folgend, kleiner werden.

Die Öffnungen haben zudem den gestalterischen Effekt, daß sie die Blechträger als eine Art Textur lebendiger und transparenter wirken lassen und dem historischen Erscheinungsbild der alten Brücke wieder etwas annähern. Die Straßenbrücke soll mit einem Überbau als Durchlaufsystem aus Verbundfertigteilträgern einen schlichten Erfahrungshintergrund für die flankierenden Gehwegbrücken bilden.

Aus den äußerst engen Randbedingungen der Straßenführung, Leitungstrassen und Durchfahrtsöffnung für die Schifffahrt entwickelt, steht die Straßenbrücke als Sinnbild für die Unanschaulichkeit moderner Bautechnik, welche statische Probleme im Versteckten bewältigt.

Der verbleibende Pfeiler und die Widerlager werden weitgehend original belassen oder, wo aus ausführungstechnischen Gründen Teilabbrüche notwendig werden, wiederhergestellt.

In der Wettbewerbsfassung war es beabsichtigt, die eingeschobene Straßenbrücke auch an Widerlagern und Pfeiler durch eine teilweise Neuerstellung abzuzeichnen. Dieser Gedanke wurde in der weiteren Entwurfsarbeit neu reflektiert.

## 5 Entwurfsgrundlagen

Wie nachfolgend ersichtlich, ergeben sich für den Entwurf sehr enge Randbedingungen. Die Wasserstraße der Klasse IV erfordert im innerstädtischen Bereich eine Durchfahrts Höhe von 4,5 m über dem oberen Bemessungswasserspiegel BWo mit + 31,15 mNN auf der ganzen nutzbaren Durchfahrtsbreite von 30,0 m. Dies läßt mit einer Höhenordinate der Fahrbahn im Scheitel von maximal 37,10 mNN nur eine Konstruktionshöhe von 1,26 m zu. Verschärft wird die Situation durch die bei der Ent-

wurfsaufgabe sich ergebende asymmetrische Anordnung der unterschiedlich großen Brückenfelder. Aus der Tradition der Berliner Brücken soll eine Unterdeckkonstruktion gewählt werden. Die sich aus der Entwurfsaufgabe „Alt – Neu“ ergebende Bedingung, beide Widerlager, den nördlichen Pfeiler und das nördliche Brückenfeld, zu erhalten, wurde bereits erwähnt.

Die Brückenbreite beträgt 19,80 m mit vier Fahrspuren zu je 3,0 m, d.h. einer totalen Fahrbahnbreite von 12,50 m und beidseitigen Gehwegen von 3,65 m. Der minimale Ausrundungsradius der Gradienten ist mit 750 m gegeben. Die Länge der Brücke zwischen den Widerlagern ergibt sich zu 55 m. Die Rampenneigungen sollen so gering wie möglich gehalten werden. Die Bemessung erfolgt nach der Brückenklasse 30/60 DIN 1072. Die tiefste Eigenfrequenz der Brücke soll über 2,6 Hz liegen.

Weiter erschwerend für die Entwurfsarbeit sind die vielen unterzubringenden Leitungen für Gas, Wasser, Elektrizität und verschiedene Medien der Kommunikation (Bild 8). Ferner sind auch zwei Fernwärmerohre mit Ummantelung (Durchmesser außen 770 mm) einzuplanen.

**Tabelle 2.** Bauwerksdaten des Ersatzbaues  
**Table 2.** Characteristic data of the building

Brückenklasse		60/30
Einzelstützweiten	$l_1, l_2$	39,2 m, 17,5 m
Gesamtlänge zw. Endauflagern	$l_{tot} = l_1 + l_2$	56,7 m
lichte Weite zw. den Widerlagern	$l_{LW}$	54,7 m
kleinste lichte Höhe	$h_{min}$ (über BWo)	4,36 m
Kreuzungswinkel	$\alpha$	90°
Breite zwischen den Geländern	$b_{LW}$	18,8 m
Brückenfläche	$A = l_{tot} \cdot b_{LW}$	1066 m <sup>2</sup>

**Tabelle 3.** Eigenschaften einiger schweißbarer Feinkornstähle EN 10113-2**Table 3.** Characteristics of weldable fine-grained steel of various types

Bezeichnung EN 10027-1	Bezeichnung DIN (alt)	Streckgrenze [MN/m <sup>2</sup> ]	Bruchdehnung [%]	Kerbschlagarbeit [J] bei -20 °C
S275N	StE 285	275	24	40
S275NL	TStE 285	275	24	47
S355N	StE 355	355	22	40
S355NL	TStE 355	355	22	47
S420N	StE 420	420	19	40
S420NL	TStE 420	420	19	47
S460N	StE 460	460	17	40
S460NL	TStE 460	460	17	47

Für den Unterbau zu beachten sind die geplante Tieferlegung der Flußsohle auf + 27,2 mNN und Schiffsanprall auf den Pfeiler und das südliche Widerlager. Leitwerke sind nicht vorgesehen. Wartungsfreundlichkeit, gute Zugänglichkeit und Einsehbarkeit aller Tragwerksteile ist selbstverständlicher Bestandteil wirtschaftlicher Planung.

Tabelle 2 gibt einige Kenndaten des Bauwerkes.

Auch 1881 beim Bau der historischen Marschallbrücke ergaben sich ähnlich kontroverse, schwierig zu vereinbarende Randbedingungen aus Wasserstraße, Straße, Leitungstrassen und städtebaulichen Aspekten. Interessant ist hierbei die nach 1876 geforderte minimale lichte Weite der mittleren Brückenöffnung von 16,0 m bis 20,0 m. Die geforderte Lichthöhe im Scheitelbereich betrug 3,20 m, mindestens aber 3,14 m gegenüber dem Höchsthochwasser von 1855. Dadurch wurde bei der alten Marschallbrücke die Konstruktionshöhe derart eingeschränkt, daß zu ungewöhnlicher konstruktiver Ausbildung der Tragstruktur gegriffen werden mußte. Zum Beispiel wurde, um Höhe einzusparen, der Streckbalken über dem Bogenscheitel nicht wie üblich durchgeführt, sondern unterbrochen. Trotzdem mußten, wie in [ 1 ] berichtet, wegen der langen Brückenrampe erhebliche Entschädigungen an Eigentümer angrenzender Grundstücke bezahlt werden.

## 6 Umsetzung in das Tragwerk

### 6.1 Straßenbrücke

Die Straßenbrücke soll gegenüber den alten Bogen und den neuen Gehwegbrücken eine schlichte, nüchterne, in den Hintergrund tretende Gestalt zeigen. Gewählt wurden deshalb parallelgurtige, vorgefertigte Träger nach dem System Preflex. Dieses System besteht aus geschweißten, vorgekrümmten Profilen aus Feinkornstahl S460N, welche nach einem patentierten Verfahren entgegen der Vorkrümmung durch Belastung gebogen („preflexiert“) und in diesem Zustand mit einem Betonuntergurt in B 55 versehen werden. Nach dem Erhärten des Betons bleibt ein Eigenspannungszustand zurück (vorgeprägter Zuggurt). Durch Ergänzen der Träger mit Ortbeton werden sie mit einer angevouteten Stahlbetonplatte in B 45 (Bild 8) monolithisch verbunden (Doppelverbundträger). Den Verbund mit dem Beton stellen Kopfbolzendübel her. Über die Eigenschaften schweißbarer Feinkornstähle gibt Tabelle 3 Informationen.

Über dem Pfeiler werden die Träger mittels geschraubtem Stoß zu einem Zweifeldsystem verbunden.

Da die Felder mit Stützweiten von 39,2 m und 17,5 m stark unterschiedlich sind, entstehen am Nordwiderlager abhebende Kräfte. Um aufwendige und anfällige Zugverankerungen zu vermeiden, werden die Träger am Mittelaufleger erhöht eingebaut und nach dem Erstellen der Stahlbetonplatte abgesenkt. Weiter kann die Platte im Feld vor dem Verbinden der Träger betoniert werden, wodurch ein Großteil der ständigen Last am Stützmoment keinen Anteil hat, d.h. auf Einfeldsysteme wirkt.

Acht – für sich einzeln gelagerte – Träger bilden den Überbau. Querträger sind nicht vorgesehen. Die sieben unten offenen Kammern zwischen den Trägern nehmen die vielen Leitungen auf. Da der Stahl durch die Betonummantelung und den vorgeprägten Zuggurt dauerhaft gegen Korrosion geschützt ist, genügt die Einsehbarkeit der Kammern zur gelegentlichen Kontrolle. Eine Zugänglichkeit der Kammern zur Wartung ist nicht erforderlich. Die Leitungen sind von unten und von den Widerlagern her zugänglich. Zur Verbesserung der optischen Wirkung der Brückenuntersicht und als Taubenschutz sind aufklappbare Lochblechabdeckungen der Leitungskammern vorgesehen.

In der Abstimmung mit den einzelnen Medienplanern zeigte sich, daß die Platzverhältnisse in den Kammern für die Montage der Leitungen nicht ausreichend sind. Nebst Veränderungen an den Leitungsaufhängungen mußte die Breite des unteren Flansches von 75 cm auf 65 cm reduziert werden. Dies konnte letztlich nur durch geringfügiges Abweichen von der Parallelgurtigkeit erreicht werden. Im großen Feld wird die Trägerhöhe der Straßengradiente und Durchfahrtsöffnung etwas angepaßt, so daß in Feldmitte 15 cm mehr Trägerhöhe resultieren. Die Anpassung darf aber nicht zu störenden optischen Verschneidungen mit den Untersichtkanten der Gehwegbrücken führen. Der Mehraufwand bei Trägern mit Abweichung von der Parallelgurtigkeit besteht weniger im Schweißen des Profiles, sondern vor allem bei der Herstellung des geknickten Stahlbetonuntergurtes.

Fahrbahnplatte und Träger wirken wie ein Rost zusammen, mit einer Verteilwirkung auf Einzellasten quer zur Brückenachse. Randträger können bei gleichmäßigem Trägerabstand weniger von der Querverteilwirkung der Platte profitieren. Sie werden somit für die Bemessung maßgebend. Am Rand steht wegen des Quergefalles der Fahrbahn auch am wenigsten Konstruktionshöhe zur Verfügung. Ein geringerer Abstand der Träger am Rand

**Tabelle 4.** Schweißstahl; Kerbschlagproben nach DIN EN 10045**Table 4.** Original steel from 1882: notched-bar impact test

Probe Nr.	KV 300/7,5 (J)	Bruchart
1.1	13	Sprödbbruch
1.2	14	Sprödbbruch
2.1	18	Sprödbbruch
2.2	15	Sprödbbruch
3.1	14	Sprödbbruch
3.2	18	Sprödbbruch
4.1	17	Sprödbbruch
4.2	15	Sprödbbruch
5.1	5	Sprödbbruch
5.2	6	Sprödbbruch
6.1	17	Sprödbbruch
6.2	15	Sprödbbruch

wäre zweckdienlich, verträgt sich aber nicht mit dem Raumbedarf für Leitungen. Ferner stehen gestalterische Gesichtspunkte dagegen, da angleichend an die historische Brücke ein gleichmäßiger Rhythmus der Trägerabstände beabsichtigt ist. Ungünstig für den Randträger wirkt sich weiter aus, daß er nicht ganz nach außen an den Fahrbahnrand gesetzt werden kann. Für die Zugänglichkeit zur Wartung der Gehwegbrücken ist ein gewisser Abstand erforderlich.

An der Längsfuge zu den Gehwegbrücken wird das Schrammbord aus entsprechend dickwandigen Stahlteilen gefertigt, welche zu Wartungszwecken demontierbar sind. Eine übergreifende Blechabdeckung mit Gummi-Dichtungsprofilen ist an den Gehwegbrücken befestigt.

Die Lagerung der Brücke wurde zuerst in üblicher Weise mit dem Festpunkt in Längsrichtung auf dem Pfeiler gewählt. Die Festpunkte quer befinden sich auf der Brückenachse. Optimal für die Fahrbahnübergänge sollen sich Verformungen nach allen Seiten möglichst gleichmäßig ausbreiten können. Vorgesehen sind bewehrte Elastomerlager nach DIN 4141. Zur Abtragung von Horizontallasten quer zur Brücke in die Lager wird über den Auflagern an der Brückenachse in zwei Kammern der Querschnitt um die Leitungen (Gas und Wasser) soweit wie möglich durch Stahlbetonscheiben geschlossen.

Zur Verbesserung der Schwingungseigenschaften wurde im Rahmen der weiteren Ausführungsplanung der Überbau der Straßenbrücke in das Südwiderlager eingespannt, wodurch der Festpunkt der Lagerung dorthin verlegt wurde. Fahrbahnübergänge befinden sich bei den Widerlagern; mit der Änderung der Lagerung nun nur noch am Widerlager Nord.

## 6.2 Alte Bogen im Gehwegbereich

Die zweimal drei Bogen der historischen Marschallbrücke, welche die Gehwege im nördlichen Brückenfeld mit einer lichten Weite von 15,5 m tragen, werden lediglich einer Restauration unterzogen. Kriegsschäden durch Geschoßeinschläge müssen dabei in Kauf genommen werden. Einige schwerere Schäden wurden nach dem

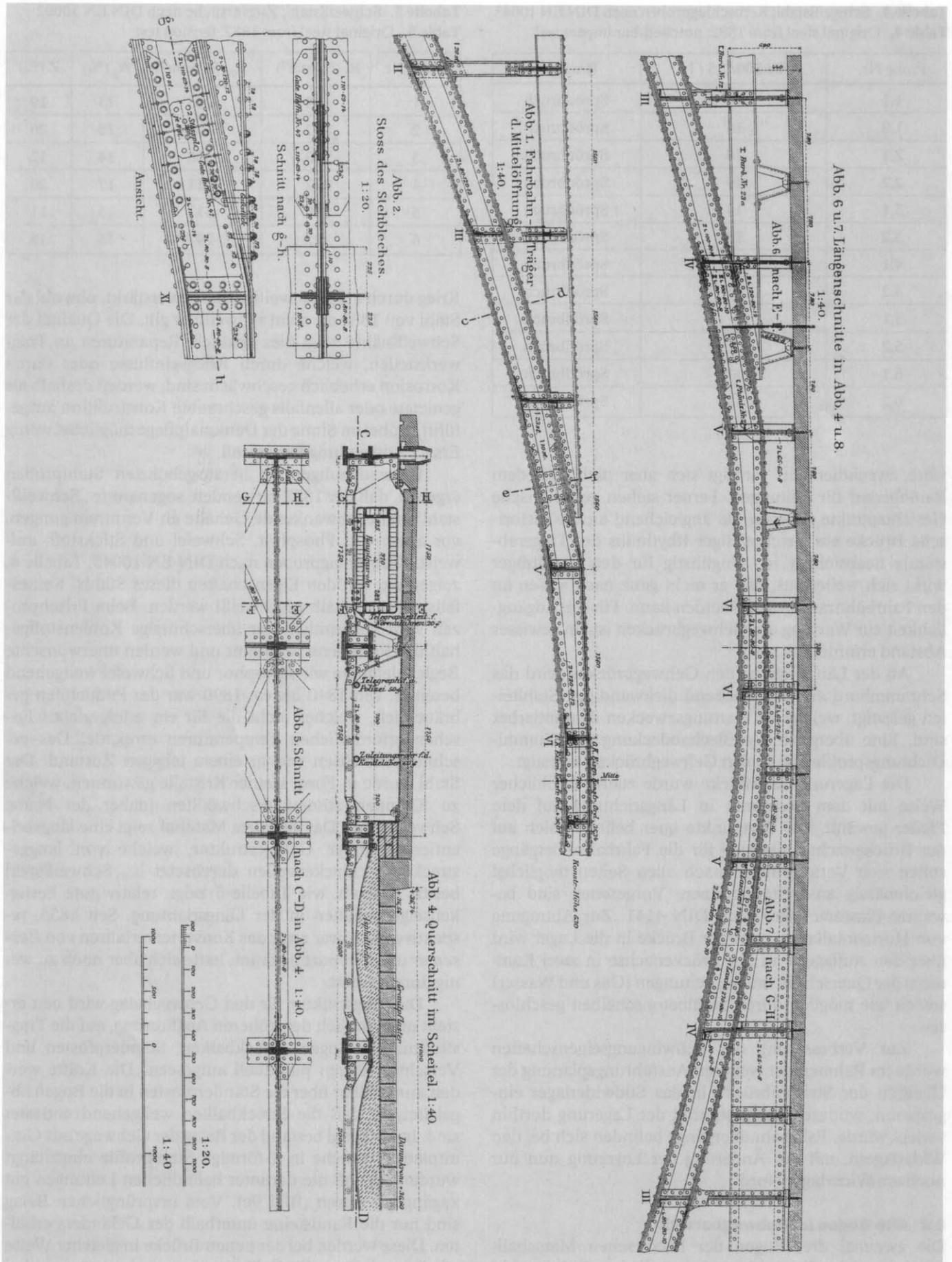
**Tabelle 5.** Schweißstahl; Zugversuche nach DIN EN 10002**Table 5.** Original steel from 1882: tension test

Probe Nr.	R <sub>r</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	R <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	A <sub>g</sub> (%)	Z (%)
1	189	283	13	19
2	297	378	15	26
3	240	308	14	12
4	222	311	17	20
5	218	317	13	11
6	223	297	13	16

Krieg durch aufgeschweißte Bleche verstärkt, obwohl der Stahl von 1882 als nicht schweißbar gilt. Die Qualität der Schweißnähte zeigt dies deutlich. Reparaturen an Tragwerksteilen, welche durch Kriegseinflüsse oder durch Korrosion erheblich geschwächt sind, werden deshalb als genietete oder allenfalls geschraubte Konstruktion ausgeführt, wobei im Sinne der Denkmalpflege möglichst wenig Ersatz Anwendung finden soll.

Untersuchungen an herausgebohrten Stahlproben ergeben, daß der 1882 verwendete sogenannte „Schweißstahl“ stark schwankende Gehalte an Verunreinigungen, vor allem von Phosphor, Schwefel und Stickstoff, aufweist. Kerbschlagproben nach DIN EN 10045, Tabelle 4, zeigen die spröden Eigenschaften dieses Stahls. Keinesfalls sollte deshalb geschweißt werden. Beim Frischprozeß wird bekanntlich der überschüssige Kohlenstoffgehalt des Roheisens verbrannt und werden unerwünschte Begleitelemente wie Phosphor und Schwefel weitgehend beseitigt. Um 1840 bis ca. 1890 war der Puddelofen gebräuchlich, welcher nicht die für ein erfolgreiches Frischen erforderlichen Temperaturen erreichte. Das geschmolzene Eisen war in einem teigigen Zustand. Der Stahl wurde in Form kleiner Kristalle gewonnen, welche zu Klumpen zusammenschweißten (daher der Name Schweißstahl). Das gewalzte Material zeigt eine längsorientierte sehnige Gefügestruktur, welche von langgestreckten Schlackenzeilen durchsetzt ist. Schweißstahl besitzt deshalb, wie Tabelle 5 zeigt, relativ gute Festigkeitseigenschaften in der Längsrichtung. Seit 1855, respektive 1878, war zwar das Konverterverfahren von *Bessemer* und *Thomas* bekannt, hatte sich aber noch zu wenig durchgesetzt.

Die Tragstruktur für den Gehwegbelag wird neu erstellt und, ähnlich der früheren Ausführung, auf die Tragstruktur aus Bogen, Streckbalken, Ständerpfosten und Verschwertungen punktuell aufgesetzt. Die Kräfte werden unmittelbar über die Ständerpfosten in die Bogen abgeleitet, so daß die Streckbalken weitgehend entlastet sind. Im Original bestand der Belag der Gehwege aus Granitplatten, welche in T-förmige Stahlprofile eingehängt wurden, so daß die darunter befindlichen Leitungen gut zugänglich waren (Bild 9c). Vom ursprünglichen Belag sind nur die Randsteine unterhalb des Geländers erhalten. Diese werden bei der neuen Brücke in gleicher Weise wieder zwischen die Geländerpfosten eingesetzt, wobei auf sorgfältige Abdichtung im Anschluß zum neuen Belag zu achten ist. Der neue Belag – gesägtes Kleinsteinpflaster – wird auf ein durchgehendes Blech von 10 mm Stärke, versehen mit längs- und quer-aussteifenden Rippen, auf-



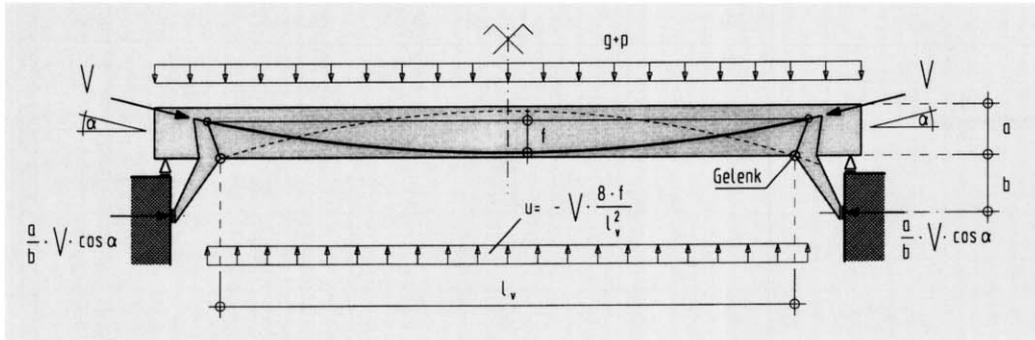
**Bild 9.** Alte Brückenkonstruktion aus dem Jahre 1882

a) Bogen, Aufständerung und Streckbalken, b) Keil aus Gußstahl, c) Querschnitt im Scheitel

**Fig. 9.** Historic bridge structure in 1882

a) arch, post and girder, b) cast iron wedge, c) section through the arches at the crown





**Bild 11.** Externe Vorspannung der Gehwegbrücken, Prinzipskizze

**Fig. 11.** Conceptual sketch of the external post-tensioning of the pedestrian bridges

Eigenspannungszustand handelt, werden auch Spannungsumlagerungen bewirkt.

Um die volle Höhe der Blechträger für die gekrümmte Führung der Spannkabel nutzen zu können, ist an beiden Trägerenden ein Hebelarm zur Erzeugung eines konstanten Moments angebracht. An dessen oberem Ende ist das Spannkabel in einem dickwandigen Rohrstück verankert. In einer frühen Fassung waren die Hebelarme über Gelenkbolzen mit den Blechträgern verbunden. Die Drehpunkte waren nahe der Untergurte vorgesehen. Es wurden verschiedene Varianten gelenkiger Ausführung untersucht, die aber alle technisch aufwendig und vor allem wenig wartungsfreundlich waren. Die Hebelarme, aus 70 mm dickem Blech bestehend, werden deshalb rahmenartig an die Blechträger geschweißt. Die Hebelarme mit der Form des Bumerangs stützen sich unten vertikal verschieblich über Elastomerlager gegen die ehemaligen Bogenaufleger ab (Bild 7). Am Pfeiler entsteht dadurch horizontal ein Kraftschluß zwischen dem Bogenschub aus dem historischen Brückenfeld Nord und der aus der Vorspannung über den Hebelarm resultierenden Kraft.

Mit der rahmenartigen Verbindung der Hebelarme mit den Hauptträgern verliert die Vorspannung an Effizienz. Die Verformung des Balkens überträgt sich auf die Hebelarme. Schon beim Vorspannen geht durch die axiale Verkürzung der Träger ein Teil der Wirkung verloren. Um dies zu verbessern, sind Flachpressen vorgesehen, welche unten in die Lager am Pfeiler und Widerlager eingebaut werden. Dadurch kann bei der Montage Kraftschluß hergestellt und eine gewünschte Lagerkraft eingestellt werden. Temperaturverformungen der Träger beeinflussen die Lagerkraft, können jedoch keinesfalls zu einem Abheben des Lagers führen.

Umgekehrt verfügen die Träger durch die rahmenartige Ausbildung vorteilhaft über eine elastische Einspannung. Dies wirkt sich auch günstig auf das dynamische Verhalten aus. Dazu weiteres im Abschnitt 6.6. Um mehr Steifigkeit zu erlangen, wurde in der Mitte der Hauptträger unterhalb des Gehwegbleches ein dritter 99,5 cm hoher Längsträger ohne Vorspannung eingeführt. Auch dieser erhielt an den Enden Hebelarme. In gestalterischer Hinsicht wird dadurch der Rhythmus der drei alten Bogen aufgenommen.

Wie in Abschnitt 4 bereits ausführlich erläutert, wird das Stegblech der Längsträger mit runden Öffnungen verschiedener Größe versehen. In Feldmitte haben die Öffnungen einen Durchmesser von 120 mm und nehmen zu den Auflagern hin auf 80 mm ab.

Um ein symmetrisches Verformungsverhalten zu erzielen, sind die Gehwegbrücken in Längsrichtung schwimmend gelagert, d.h. nur die Bewegung in Querrichtung ist blockiert. Die Hebelarme halten die Brücken in Längsrichtung fest. Wie erwähnt, sind die Hebelarme nur in horizontaler Richtung gelagert. Vertikal sind sie frei beweglich.

#### 6.4 Unterbau

Die Aufgabenstellung bedingt den Erhalt des Pfeilers Nord und der Widerlager. Die Beanspruchung des Unterbaus wird aber durch den veränderten Überbau, durch Veränderungen der Uferbereiche (Aufschüttungen) und durch Schiffsstoß maßgeblich vergrößert. Verstärkungsmaßnahmen sind somit unumgänglich.

Die Gründungskörper bestehen aus ca. 1,5 m mächtigen Stampfbetonplatten, auf denen die Pfeiler und Widerlager im Mauerwerk ausgeführt wurden. Es handelt sich dabei um Klinkermauerwerk, welches teilweise mit Steinquadern aus Schlesischem Granit verkleidet wurde. Äußerlich wirken die Pfeiler und Widerlager wie massiv aus Naturstein ausgeführt. Lediglich unter den Bogen – kaum sichtbar im Schatten der Brücke – wurde der Klinker sichtbar gelassen. Befürchtungen, daß Pfeiler und Widerlager im Inneren mit Schutt aufgefüllt worden sein könnten, wie früher praktiziert, bestätigten entnommene Bohrproben nicht.

Die hier knapp wiedergegebenen Kenntnisse über die Baugrundverhältnisse stammen aus einem Vorgutachten vom November 1995. Ungefähr ein bis zwei Meter unter der derzeitigen Flußsohle beginnt eine 10 bis 15 m mächtige Schicht aus Sand/Kies lockerer bis mitteldichter Lagerung. In diese Schicht wurden 1881 die Pfeiler und Widerlager gegründet. Merkwürdigerweise allerdings ist das Widerlager Nord in einer mit organischen Beimengungen, Bauschuttresten und Müll durchsetzten, locker gelagerten Schicht aus Mittel- und Grobsand gegründet. Die verbleibende Schichtstärke unter dem Fundament bis zur gründungsgerechten Sand/Kies-Schicht beträgt im Mittel 0,6 m. Dies ist eine mögliche Erklärung für die Verlängerung des Stampfbetonfundaments zum Fluß hin, wie sie aus alten Originalzeichnungen zu entnehmen ist.

Der Entwurf war von einer Verstärkung des Unterbaus mittels Kleinbohrpfählen ausgegangen. Dieses Verfahren hat sich im Hochbau bei Gründungsverstärkungen von denkmalgeschützten Objekten bereits bewährt und wurde von den Entwurfsverfassern in Zusammenarbeit mit dem geotechnischen Berater Erdbaulabor Hannover Ingenieure GmbH bereits mehrmals mit Erfolg ange-

wandt. Mit Kleinbohrpfählen, Außendurchmesser 25 cm, kann das Mauerwerk auch schräg durchbohrt werden. Bei Gefügauflockerung wird das Mauerwerk verpreßt und danach erneut aufgebohrt. Im Brückenbau ist dieses Verfahren jedoch relativ neu.

Der Pfeiler und die Widerlager werden bis 80 cm über dem Höchsthochwasser abgebaut. Von dieser Abbruchkante aus werden die Bohrarbeiten durchgeführt. Da mit kleinem Bohrgerät gearbeitet wird, können vom Pfeiler aus die Bohrungen niedergebracht werden. Es ist weder eine Umspundung noch ein Gerüst erforderlich.

Beim Widerlager Nord tritt zwar eher eine Entlastung durch den Überbau ein, im Zusammenwirken mit dem Erddruck führt dies jedoch zu größerer Exzentrizität der Last.

Das Widerlager Süd hat durch die größere Spannweite und den schwereren Überbau wesentlich mehr Last zu tragen. Hinzu kommt wegen der Anpassung der Brückentrampen eine Geländeerhöhung von ca. 0,8 m. Hier ist zudem das Entfallen des Bogenschubes als entgegenhaltende Kraft zu beachten, wie etwas geringfügiger auch beim Widerlager Nord. Die Kipptendenz zum Fluß wird durch Einspannung der Straßenbrücke in das Widerlager Süd im Ausführungsprojekt noch verstärkt. Dadurch werden Zugpfähle mit besonderem doppelten Korrosionsschutz erforderlich.

Der Pfeiler erhält wesentlich größere Last aus dem Überbau durch das größere Brückenfeld und die Durchlaufwirkung. Maßgebend für den Pfeiler wird aber der Schiffsstoß, der im Ausführungsprojekt zu einer neuen Lösung mit komplettem Abbruch und Neuerstellung des Pfeilers mit gleichem Erscheinungsbild zwang.

Da beabsichtigt ist, die Flußsohle tiefer zu legen, bestand das Schiffsahrtsamt auf einer Spundwand als Kolk-schutz vor allem beim Widerlager Süd. Der Fluß verläuft im Bereich der Brücke in einer leichten Kurve, weshalb die Schiffsschrauben Strömungen zum Widerlager hin erzeugen. Die Fließströmung der Spree selbst ist unbedeutend. Die Fortsetzung der nahe an der Brücke bereits bestehenden Spundwand, sichtbar über der Wasserlinie vor dem Widerlager, war gestalterisch unbefriedigend und hätte die denkmalpflegerische Absicht beeinträchtigt. Es wurde eine Lösung gefunden, die Spundwand unterhalb des niedrigsten Wasserspiegels enden zu lassen und zur Sicherheit der Schifffahrt Markierungen in Form von kleinen Pollern anzubringen.

### 6.5 Schiffsanprall

Zwei Schiffsstoßarten müssen unterschieden werden: Frontalstoß, wenn das Schiff den Pfeiler in Flußrichtung in spitzem Winkel rammt und Flankenstoß, wenn das Schiff seitlich am Pfeiler entlangschrammt. Ersterer ist energiereicher, aber mit kürzerer Einwirkungszeit und stärkerer Deformation des Schiffsrumpfes verbunden, wie in [4] dargestellt wird. Die statische Ersatzlast beträgt bei vollbeladenem Schiff 7,6 MN (Wettbewerbsvorgabe). Der Flankenstoß erfolgt mit weniger Energie, hat aber die längere Einwirkungszeit. Die statische Ersatzlast beträgt hier 3,9 MN bei vollbeladenem Schiff. Für die Bemessung des Pfeilers ist der Frontalstoß weniger bedeutend, da der Pfeiler in dieser Richtung viel Widerstand entgegenzusetzen kann. Dem Flankenstoß können die

schmalen Pfeiler der Marschallbrücke hingegen wenig entgegenhalten.

Da der Flankenstoß auf einer Höhe von 6,2 m über der Gründungssohle wirkt (vollbeladenes Schiff), wird er von den mit 7,9° leicht geneigten Pfahlpaaren wie ein steifer Bock als Kräftepaar auf Zug und Druck aufgenommen. Der Pfeilerschaft wird als vergleichsweise starr angenommen. Aus [4] wurde die Einwirkungslänge am Pfeiler abgeschätzt, d.h. wieviele Pfahlpaare beim Stoß mobilisiert werden können. Es wurde weiter angenommen, daß bei der kurzzeitigen Belastung die Schubverformung der Kleinpfähle von untergeordneter Bedeutung ist. Die quantitative Erfassung dieses Sachverhalts ist sehr komplex. Schwer zu beurteilen ist ferner die Schwere des allfälligen entstehenden Schadens und dessen Reparierbarkeit. Für das Ausführungsprojekt wurden ferner die anzusetzenden Stoßlasten erhöht. Die Entscheidung des Bauherrn tendierte letztendlich zu einer anderen Lösung, welche den kompletten Neubau des Pfeilers erforderlich macht.

Da die Hebelarme durch Schiffsstoß gefährdet sind, sind sie derart konzipiert, daß sie ohne Beeinträchtigung der Tragfunktion weggeschlagen werden können. Sie bestehen aus 70 mm dickem Blech, so daß sie in Flußrichtung wenig Biege-widerstand entgegenzusetzen. Die dazu notwendige Energie muß auch in Bezug zur großen Masse eines Schiffes gesehen werden. Zusätzlich werden die Hebelarme am oberen Ende, nahe am Längsträger, eingekerbt. Die Lager am unteren Ende sind in einer Weise ausgebildet, daß das Wegschlagen nicht behindert wird. Durch die Untersichtsbeleuchtung wird zudem das Risiko eines Anpralls minimiert.

### 6.6 Dynamisches Verhalten

Für die Straßenbrücke beträgt die Eigenfrequenz 1,6 Hz. Damit ist die Zielvorgabe von 2,6 Hz nicht erreicht. In der Entwurfsphase wurden deshalb verschiedene Möglichkeiten zur Erhöhung der Steifigkeit des Tragwerks der Straßenbrücke geprüft. Wie schon in Abschnitt 6.1 dargestellt, sind aber die Möglichkeiten sehr eingeschränkt. Eine Verbesserung wird durch Abweichen von der Parallelgurtigkeit erreicht. Eine Anvoutung zum Mittelpfeiler fällt allerdings aus gestalterischen Gründen außer Betracht. Deshalb wurde im Ausführungsprojekt die nicht unstrittige Einspannung des Überbaus in das Widerlager Süd beschlossen.

Störkräfte ergeben sich aus der dynamischen Radlast, d.h. aus der gefederten Masse eines Lastkraftwagens, welcher durch Unebenheiten der Fahrbahn in Schwingungen versetzt wird. Nach [5] ergeben sich zwei ausgeprägte Frequenzbereiche: im Bereich 2 bis 5 Hz die Schwingungen des Lastwagenaufbaus und im Bereich 10 bis 15 Hz die Schwingungen der Lastwagenachsen. Resonanzerscheinungen am Tragwerk können anhand des dynamischen Inkrementes (Schwingbeiwert) beurteilt werden. Der Schwingbeiwert wird mit  $\varphi = (1,4 - 0,008 \cdot 17,5) = 1,26$  nach DIN 1027 ermittelt. Die Resonanzgefahr ist folglich nicht groß. Eine synchrone Erregung durch mehrere auf der Brücke fahrende Lastwagen ist unwahrscheinlich.

Wie *Menn* in [5] darstellt, sind Schwingungen bei massiven Straßenbrücken meist von untergeordneter Bedeutung. Schwingungen werden deshalb bei gemischter

Nutzung eher wegen der physiologischen Empfindlichkeit von Fußgängern in bezug auf Schwingungen maßgebend.

Sehr günstig ist in diesem Zusammenhang hier die konsequente Trennung zwischen Straßenbrücke und den beiden Gehwegbrücken, sowohl neue als alte, zu bewerten. In Berlin gibt es ein historisches Beispiel für diese Problematik. Wie in [6] berichtet wird, wurden bei der Weidendammer Brücke schon bald nach dem Bau – durch Fußgänger als unangenehm empfundene – Schwingungen wahrgenommen. Auch in [1], Seite 173, wurde schon 1902 von elastischen Schwingungen gesprochen, welche sich ungünstig von der Fahrbahn auf die Gehwege übertragen, vor allem, wenn leichte schnelle Fuhrwerke die Brücke befuhren. Aus der besonderen Lage der Weidendammer Brücke in einer starken Flußkrümmung wurde 1895 bis 1897 die Flußeisenerkonstruktion als Gerberträger mit großer Mittelöffnung und kleinen Randöffnungen erstellt. Dadurch mußte das Tragwerk wegen abhebender Kräfte an den Widerlagern aufwendig rückverankert werden. Beim 1923 beendeten umfassenden Umbau mit Verbreiterung der Fahrbahn wurden die Gehwegbereiche statisch vollständig durch Längsfugen von der Straßenbrücke abgetrennt und dadurch das Schwingungsproblem aus der Welt geschafft.

Bei Fußgängerbauwerken läßt sich die Anregung aus der Schrittfrequenz eines gehenden Menschen recht genau herleiten; sie beträgt für 100 bis 120 Schritte je Minute  $\omega = 10,5$  bis  $12,5 \text{ s}^{-1}$  (Kreisfrequenz). Brücken mit Eigenfrequenzen in diesem Bereich können beträchtliche Resonanzerscheinungen aufweisen, insbesondere bei einer im Gleichschritt marschierenden Gruppe. Hinzu kommt, daß bei geschweißten Stahlkonstruktionen die Dämpfung klein ist.

Die erste Eigenfrequenz für die Gehwegbrücken beträgt ca.  $\omega_1 = 19,8 \text{ s}^{-1}$  und liegt damit deutlich über dem zu meidenden Bereich. Trotzdem wurden im Entwurf Maßnahmen zur Frequenzabstimmung geprüft. Durch einen dritten Längsträger wurde die Steifigkeit erhöht, gleichzeitig aber auch die verteilte Masse vergrößert. Maßnahmen zur Frequenzabstimmung können mit nachfolgender Formel aus [7] anschaulich diskutiert werden.

$$\omega_m = \left( \frac{\alpha_m}{l} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{EI}{\mu}}$$

$\alpha_m$  Faktor zur Berücksichtigung des statischen Systems  
 $l$  Stützweite  
 $EI$  Biegesteifigkeit  
 $\mu$  Masse je Längeneinheit  
 Index  $m$  : Eigenwert

Aus der Formel ist ersichtlich, daß Abstimmungsmaßnahmen durch Veränderung des statischen Systems am effizientesten sind, da sie im Quadrat in die Formel eingehen. Hier bei der Fußgängerbrücke erfolgt dies durch elastische Einspannung über die Hebelarme mit  $\alpha_1 = 4,09$  (zum Vergleich: einfacher Balken mit  $\alpha_1 = \pi$ , voll eingespannter Balken mit  $\alpha_1 = 4,73$ ). Eine weitere Möglichkeit besteht – wie erwähnt – in der Vergrößerung der Steifigkeit. Die Effektivität ist hier allerdings geringer, da die Steifigkeit mit der Wurzel eingeht. Ferner sind Vergrößerungen der Stei-

**Tabelle 6.** Vergleich der dynamische Werte der neuen Gehwegbrücken

**Table 6.** Comparison of dynamic characteristics of the pedestrian bridges

		zwei Längsträger	drei Längsträger
Trägheitsmoment $I$	[m <sup>4</sup> ]	0,0180	0,0244
verteilte Masse $\mu$	[kg/m]	1360	1610
statisches System $\alpha_1$		4,09	4,09
Stützweite $l$	[m]	38,8	38,8
Eigenkreisfrequenz $\omega_1$	[s <sup>-1</sup> ]	18,5	19,8

figkeit nur dann effizient, wenn sie mit geringer Zunahme der verteilten Masse einhergehen.

Diese grundsätzlichen Überlegungen finden sich durch die Berechnungen bestätigt (vergleiche Werte in Tabelle 6).

Verursacht durch die rahmenartige Verbindung der Hebelarme mit dem Längsträger wird, wie schon in Abschnitt 6.3 erwähnt, die Einspannwirkung durch Temperaturänderungen beeinflusst. Eine Veränderung der Einspannwirkung geht mit einer Veränderung der Eigenfrequenz einher. Zur Abschätzung dieses Einflusses wurde als Ersatzsystem ein einfacher Balken mit Drehmomentfedern an beiden Enden untersucht. Bei einer Abkühlung der Brücke um 35 K nimmt die Eigenfrequenz ca. mit dem Faktor 0,8 ab ( $\alpha_1 = 3,7$ ), und bei Erwärmung um 35 K nimmt sie ca. mit dem Faktor 1,38 zu ( $\alpha_1 = 4,7$ ). Es konnte auf diese Weise gezeigt werden, daß durch die Hebelarme eine dauernde elastische Einspannung der Gehwegbrücken gewährleistet ist.

Auf zwei der drei wichtigsten Kennwerte für das Schwingungsverhalten, die Charakteristik der Störkraft (Anregung) und die Eigenfrequenzen (oft genügt die Grundfrequenz) wird vorangehend näher eingegangen. Die dritte wichtige Kenngröße, die Dämpfung, bestimmt, wie rasch eine Schwingung abklingt. Sie wird mit dem logarithmischen Dämpfungsdekrement  $\delta$  angegeben. Für geschweißte Stahlkonstruktionen liegt das Dämpfungsdekrement im Bereich  $\delta = 0,02$  bis  $0,06$ . Die Vorspannung trägt im dynamischen Sinn zwar nicht zur Erhöhung der Eigenfrequenz bei, kann aber, da es sich um verbundfreie Vorspannung handelt, ganz erheblich zur Dämpfung des Systems beitragen. Dämpfung steht in Zusammenhang mit Energiedissipation, d.h. Umsetzung kinetischer Energie in Reibung, respektive Erwärmung. Deshalb weisen zum Beispiel geschraubte Stahlkonstruktionen höhere Dämpfung auf.

Es wird geschätzt, daß die Vorspannung das Dämpfungsdekrement auf bis  $\delta = 0,15$  verbessern kann. Da Abschätzungen der Dämpfung jedoch sehr ungenau sind, werden darüber erst Messungen an den fertigen Gehwegbrücken definitiv Aufschluß geben.

Die Dämpfung des Systems kann weiter durch Schwingungstilger verbessert werden. Diese mechanische Ausrüstung, welche aus Federn, Dämpfungselementen und einer Masse besteht, wird in Feldmitte am Tragwerk befestigt. Die Elemente müssen durch vorgängige Messungen auf das Bauwerk abgestimmt werden. Das Dämpfungs-

dekrement kann mit Tilger von der Masse bis 1000 kg auf  $\delta = 0,35$  gesteigert werden. Es werden deshalb Befestigungspunkte für Schwingungstilger an den Gehwegbrücken vorgehalten.

## 7 Schluß

Die hier beschriebene Entwurfsaufgabe ist kein alltägliches Beispiel. Aus der Herausforderung einer raschen Entwicklung Neues zu schaffen, ohne den Zusammenhang und den Halt im historisch Gewachsenen zu verlieren, führt zu einem Resultat, welches nach Fertigstellung vielleicht zu kontroversen Diskussionen Anlaß geben wird. Das Experiment, wenn es denn als solches empfunden wird, entspringt einem politischen Willen, der im Moment gerade in Berlin besonderen Niederschlag findet. Nach dem fast bedingungslosen Fortschrittsglauben und Modernismus der sechziger und siebziger Jahre und der Orientierungslosigkeit der achtziger Jahre besinnt man sich wieder auf dauerhaftere Werte. In Berlin, vor dem Krieg eine lebhaft, polymorphe Stadt, durch den Krieg zerstört und auseinandergerissen und danach für Jahrzehnte getrennt, stellt sich die schwierige Aufgabe, den verlorenen Zusammenhang wiederherzustellen. Da man aber das Rad der Geschichte nicht zurückdrehen kann, gilt es einen Weg zu finden, durch gezielte, adäquate städtebauliche Eingriffe den Organismus Stadt wiederherzustellen.

Der Ersatzbau der Marschallbrücke ist ein Mosaikstein dieser großen Aufgabe. Die besonderen Randbedingungen des Vorhabens verlangen eine gewisse Sensibilität, die ihren Nährboden nicht in einem Arbeitsumfeld findet, welches vor allem von technischen Lösungen geprägt ist.

Wie Jörg Schlaich [8] aufzeigt, hat die starke Spezialisierung im Brückenbau zu einem beschränkten Formenkanon geführt (einfache Balken, Schrägseilbrücken usw.), welcher zwar dauerhafte und pflegeleichte Bauwerke ergibt, aber für das Erlebnisumfeld, sprich bezüglich städtebaulicher und landschaftlicher Aspekte, wenig hergibt. Meist wird ein Architekt als Berater zur Ausformung von Tragwerksteilen und zur Gestaltung des Geländers beigezogen. Ein eigentlicher interdisziplinärer Entwurfsprozeß findet selten statt. Lösungen werden vorwiegend auf technischer Ebene gesucht. Das Hinzuziehen eines Architekten entspringt mehr einer Verlegenheit. Der notwendige Dialog zwischen den Disziplinen entwickelt sich nicht.

Gewissen Entwurfsaufgaben kann aber nur eine breitgefächerte Erfahrungsbasis gerecht werden, wie sie der einzelne Planer allein nicht besitzen kann. Der Beitrag versucht, diese Vielschichtigkeit der Aufgabe darzustellen und zu zeigen, daß eine Beschränkung auf isolierte Aspekte nicht zum Ziel führen kann. Brücken sind nicht nur Bestandteil der Straßenplanung, sondern auch eine städtebauliche Aufgabe und eine besondere Herausforderung

an den Tragwerksentwerfer, wie an alle anderen Beteiligten.

## Am Bau Beteiligte:

Bauherr:	Senatsverwaltung für Bauen, Wohnen und Verkehr, Abteilung HXI
Entwurf und konstruktive Prüfung:	Arbeitsgemeinschaft Prof. B. Tonon, Dipl.-Ing. Architekt, Berlin Pichler Ingenieure GmbH, Berlin
Prüfingenieur:	WKP König, Stief & Partner GmbH, Berlin
Bodengutachter:	Geotechnik und Dynamik Consult GmbH
Bauausführung:	Arge Marschallbrücke Porr Technobau GmbH, Berlin Krupp Stahlbau Berlin GmbH
Ausführungsplanung:	Schmitt Stumpf Frühauf und Partner, München
Baudurchführung:	Senatsverwaltung für Bauen, Wohnen und Verkehr, Abteilung HXI C1

## Literatur

- [1] Magistrat von Berlin (Hrsg): Die Strassenbrücken von Berlin. Band 1 und 2, J.-Springer Verlag, 1902.
- [2] Beschränkter Realisierungswettbewerb: Ersatzbau der Marschallbrücke in Berlin-Mitte. Ausschreibung, Senatsverwaltung für Bauen, Wohnen und Verkehr, Abteilung IIC, Berlin, November 1995. Reg.-Nr. B-95-26.
- [3] Beschränkter Realisierungswettbewerb: Ersatzbau der Marschallbrücke in Berlin-Mitte, Ergebnisprotokoll. Senatsverwaltung für Bauen, Wohnen und Verkehr, Abteilung IIC, Berlin, Januar 1996.
- [4] Grob, J., Hajdin, N.: Schiffsanprall. Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 30/31, 25. Juli 1995, S. 696–702.
- [5] Menn, Ch.: Stahlbetonbrücken. 2. Aufl. Springer Verlag, Wien, 1990, S. 541.
- [6] Schlotke, W., König, G.: Grundinstandsetzung der Weidendammer Brücke. Stahlbau 65 (1996), Heft 12, S. 495–500.
- [7] Bachmann, H., Ammann, W.: Schwingungsprobleme bei Bauwerken. Internationale Vereinigung für Brücken und Hochbau IVBH, Structural Engineering Documents, Zürich, 1987, S. 193, ISBN 3-857-48051-3.
- [8] Schlaich, J., Bergemann, R.: Fußgängerbrücken 1977 bis 1992: Katalog zur Ausstellung an der ETH-Z. Gestaltung H.-J. Oster, Institut für Baustatik und Konstruktion, Ch. Menn Editor, ETH-Z, Zürich, März 1992.

## Autoren dieses Beitrages:

Prof. Dipl.-Ing. Gerhard Pichler, Beratender Ingenieur VBI, Universitätsprofessor für Tragwerklehre an der Hochschule der Künste HDK Berlin, Geschäftsführer der PICHLER Ingenieure GmbH, Giesebrechtstraße 13, 10629 Berlin  
Dipl.-Ing. ETH/SIA Roland Martin Guggisberg, Projektleiter bei PICHLER Ingenieure GmbH, Giesebrechtstraße 13, 10629 Berlin