

Matthias Schüller

# Konzeptionelles Entwerfen und Konstruieren von Integralen Betonbrücken

## Entwicklung, Bedeutung und Beispiele

Meinen verehrten Lehrern Prof. Dr.-Ing. *Jörg Peter* und Prof. Dr.-Ing. Drs. h. c. *Jörg Schlaich* gewidmet

Bei Betonbrücken werden heute oft Fugen und Lager angeordnet. Die damit verbundene Trennung von Über- und Unterbauten hat sowohl funktionale als auch gestalterische Nachteile. Im folgenden wird versucht, die Vorteile der in Vergessenheit geratenen monolithischen Bauweise anhand von neuen Beispielen aufzuzeigen. Dabei werden der konstruktiven Durchbildung und der Formgebung des Tragwerks unter dem Aspekt der Dauerhaftigkeit besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

### Design and Engineering of Integral Bridges. Development, Meaning and Examples.

*It is common practice, in current concrete bridge design, to include joints and bearings. The associated separation of superstructure and substructure elements has both functional and aesthetic drawbacks. This article illustrates some of the recently forgotten advantages of monolithic bridges with examples of new structures. Both the proportioning of elements as well as design details will be discussed with special focus on durability.*

### 1 Einleitung

Der Gedanke, Betontragwerke vor Ort in einem Guß zu betonieren oder zumindest nur durch Arbeitsfugen zu untergliedern, ist schon so alt wie die Bauweise selbst. Bereits vor über 100 Jahren erkannten die „Eisenbeton-Pioniere“ *François Hennebique* (1842–1921) und *Eduard Züblin* (1850–1916), daß sich aus dem feuersicheren Beton nicht nur sehr preiswerte und robuste Konstruktionen errichten lassen, sondern daß dieses Material auch hervorragend geeignet ist, sehr effiziente Tragwerke zu konstruieren [1]–[4].

*Integrale Brücken kommen ohne Fugen und Lager aus.*

Der Plattenbalken (in der Funktion eines Biegestabes) oder die Kassettendecke (als Flächentragwerk) sind Beispiele für solche Konstruktionen, bei denen die Tragglieder Platte und Balken nicht einfach additiv gestapelt werden, sondern miteinander zu einem leistungsfähigen Tragwerk verschmelzen. Vertreter dieser Epoche sind die Eisenbetonbogenbrücken über die Vienne bei Châtelerault (1899) von *Hennebique* und der Langwieser Viadukt (1912/13) über das Plessur-Tobel von Ed. Züblin & Cie. (Bild 1), [5]–[7].



*Bild 1. Langwieser Viadukt der Rhätischen Bahn im Streckenabschnitt Chur-Arosa, Kanton Graubünden, Schweiz [6]*

*Fig. 1. Viaduct near Langwies on the Chur-Arosa line of the Rhaetian Railway, Canton Graubunden, Switzerland [6]*

Ein Meister seines Fachs war *Robert Maillart* (1872–1940). Er war seiner Zeit weit voraus. Als einer der ersten betrachtete er Gestalt und Tragwerk als Ganzes. Das damals noch teure Material verwendete auch er sehr sparsam, aber er löste seine Betontragwerke nicht in Stäbe und Fachwerke auf, sondern viel sinnvoller in Platten, Scheiben und Faltwerke. Er entwickelte den Plattenbalken weiter zum Hohlkasten, einer Querschnittsform, die heute aus dem Brückenbau nicht mehr wegzudenken ist, weil sie sich praktisch für jede Beanspruchungsart als sehr

zweckmäßig erwiesen hat. Im Gegensatz zu *Maillart*, der von dieser geschlossenen Form nur örtlich und mit viel technischer Phantasie Gebrauch gemacht hatte, so zum Beispiel bei seiner berühmten Salginatobelbrücke bei Schiers (1929/30) oder bei seinem nicht ausgeführten Entwurf für die Rhône-Brücke zwischen Aire-la-Ville und Peney (1939), wird heute der Hohlkasten i. d. R. über die gesamte Brückenlänge monoton mit konstanter Bauhöhe durchgezogen.

*Integrale Brücken haben Traglastreserven und in gestalterischer Hinsicht ein enormes Entwurfspotential.*

Eine weitere, besonders geistreiche Idee *Maillarts* geht auf die Minimierung der Lehrgerüstkosten zurück. Seine extrem dünnen und damit sehr leichten Stabbögen, die im Bauzustand durch das Gerüst und im Endzustand durch den Fahrbahnträger versteift werden, sicherten ihm nicht nur einen Preisvorteil im Wettbewerb, sondern ermöglichten ihm kühne Bögen in monolithischer Bauweise, wie etwa die Val Tschiel-Brücke bei Donath (1925) oder sein Meisterstück, die Schwandbach-Brücke bei Hinterfulingen (1933) [8]-[10].

*Maillart* hatte damit einen großen Schritt in Richtung der Integralen Brücken getan: Brücken, die sich dadurch auszeichnen, daß sie ohne Fugen und Lager auskommen, bei denen die Konstruktion sozusagen ein zusammenhängendes Ganzes ausmacht [11]. Ihm selbst war dieser Fortschritt wahrscheinlich noch gar nicht bewußt, weil er bei seinen letzten Bogenbrücken in Vessy (1936), Garstatt (1939/40) und Lachen (1940) wieder das Stabbogenprinzip verließ und zum Dreigelenkbogen mit Fugen zurückkehrte.

*Maillarts* Entwürfe und Bauwerke haben viele Ingenieure begeistert und beeinflusst. Aber nur wenige, wie *Christian Menn* (geb. 1927), haben es verstanden, *Maillarts* Ideen aufzugreifen und konsequent weiterzuentwickeln. *Menn* steigerte bei seinen großen Stabbögen nicht nur die Spannweiten, sondern erkannte auch die enormen Vorteile, die mit der Vorspannung des Versteifungsträgers einhergehen. Bei der Rheinbrücke Tamins (1963) in der Nähe von Reichenau und den Zwillingen Ponte Nanin (1966/67) und Ponte Cascella (1967/68) bei Mesocco verwirklichte *Menn* im Vergleich zu *Maillart* sehr schlanke Versteifungsträger, obwohl er die Anzahl der Aufständierungen auf den Bogen reduzierte [12].

## 2 Konventionelle Betonbrücken versus Integrale Betonbrücken

Heute werden bei Bahnbrücken aber auch bei Straßen- und Fußgängerbrücken meist Fugen und Lager angeordnet, um Zwängen z. B. aus Temperatur, Kriechen, Schwinden und Stützensenkung zu entgehen. Hochwertige Fahrbahnübergänge und Lager verbinden dabei einzelne Tragwerkskomponenten, wie Widerlager, Pfeiler und Überbauten, zu einer Brücke.

Wegen der Bewegungen und Lastwechsel sind Übergangskonstruktionen und Lager Verschleißteile, die nicht

nur regelmäßig gewartet, sondern möglicherweise auch ausgewechselt werden müssen. Diese speziellen Anforderungen prägen Gestalt und Tragverhalten einer Betonbrücke entscheidend:

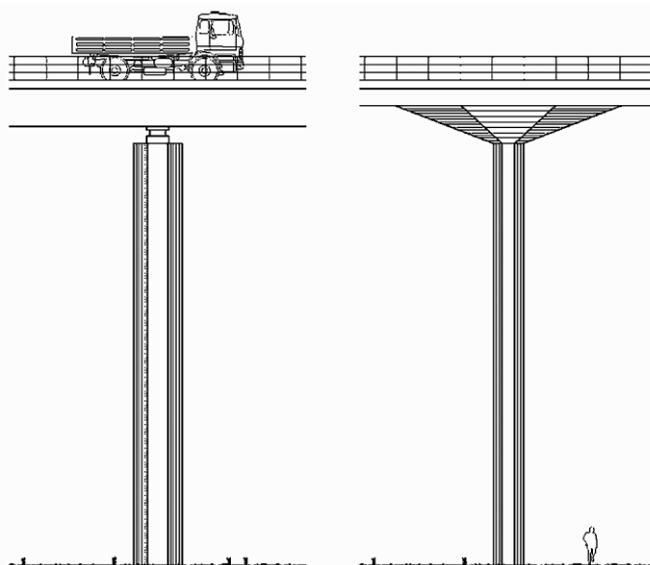
### 2.1 Zur Gestalt

Die Begehbarkeit zur Wartung bedingt oft bei Widerlagern, Hohlpfeilern und Hohlkastenüberbauten viel größere Dimensionen als zur Lastabtragung erforderlich. Speziell die Pfeilerköpfe müssen bei Anordnung von Lagern wegen der Verschiebewege und der Pressenstellplätze entsprechend großzügig ausgebildet werden. Dies ist besonders auffällig, wenn eine „Einfeldträgerkette“ anstelle eines Durchlaufträgers vorgesehen wird, weil nun doppelt so viele Lager auf jedem Pfeiler benötigt werden.

Zwischen dem Überbau und den Pfeilern ergibt sich aufgrund konstruktiver Erfordernisse wie Lagersockel, Ausgleichsplatten und dem Lager ein mehr oder weniger großer Spalt, der das Erscheinungsbild der Brücke nachteilig beeinflusst, weil er die Trennung von Überbau und Pfeiler und damit das Aufsplitten der Brücke in einzelne Tragwerkskomponenten unterstreicht (Bild 2). Dies gilt besonders bei der Verwendung von Elastomer-Verformungslagern, die bei großen Verschiebewegen dicker als Gleitlager sind. Gerade die kurzen Pfeiler sind problematisch, weil hier die Proportionen nicht mehr gewahrt werden können und das Auge den „Bruch“ zwischen Überbau und Pfeiler aus unmittelbarer Nähe noch deutlicher wahrnimmt [13].

### 2.2 Zum Tragverhalten

Fugen trennen! Die Lager übertragen bei der üblichen Lageranordnung keine Längsbiegemomente des Überbaus.



*Bild 2. Übergang Pfeiler/Überbau bei Anordnung von Lagern (links) und bei monolithischer Ausbildung (rechts) in Anlehnung an Beispiele aus [13]*

*Fig. 2. Column to superstructure transition, with bearings (left) and for a monolithic structure (right), based on examples from [13]*



Bild 3. Sunnibergbrücke, Klosters, Kanton Graubünden, Schweiz [18]

Fig. 3. Sunniberg Bridge near Klosters, Canton Graubunden, Switzerland [18]

Dies beeinflusst nicht nur das Tragverhalten der Überbauten, sondern auch die Knicklänge der Pfeiler. Ein günstiges Zusammenwirken oder anders ausgedrückt ein „sich gegenseitiges Helfen“ – man denke z. B. an *Maillarts* versteifte Stabbögen – wird durch Fugen und Lager unterbunden. Die Trennung erschwert Schnittgrößenumlagerungen und damit die Aktivierung von Lastreserven. Werden z. B. Einfeldträger in Reihe angeordnet, dann sorgt dies zwar für stets klare statische Verhältnisse, aber eine Schnittgrößeninteraktion benachbarter Felder bzw. zwischen Überbau und Pfeiler ist praktisch ausgeschlossen.

Integrale Brücken haben Traglastreserven und in gestalterischer Hinsicht ein enormes Entwurfspotential. Sehr zweckmäßig konstruierte Pfeiler und Überbauten, die zusammen eine konstruktive Einheit bilden, bereichern nicht nur den Formenkanon, sondern lassen auch individuelle Brücken entstehen, die sich aus den jeweiligen Randbedingungen (u. a. Baugrund, Umfeld, Nutzungsanforderungen) heraus entwickeln und nicht einem Katalog entnommen sind [14].

Ein ausgezeichnetes Beispiel hierfür ist die Sunnibergbrücke bei Klosters (1998), die nach dem Konzept von *Christian Menn* realisiert und 2002 vom Verlag Ernst & Sohn mit dem Ingenieurbau-Preis ausgezeichnet wurde (Bild 3) [15]–[18]. Die extrem schlanken und sich nach unten hin verjüngenden Pfeiler gehen direkt auf die fugen- und lagerlose Bauweise zurück. Aufgrund der Einspannung der Pfeiler in den Überbau wird nicht nur die Pfeilerknicklänge reduziert, sondern zusätzlich in Brückenlängsrichtung eine Rahmentragwirkung aktiviert, die Verformungen und Schnittgrößen von Überbau und Pfeiler günstig beeinflusst. Temperaturzwängen weicht der im Grundriß gekrümmte Überbau aus, weil sich seine in Brückenquerrichtung vierendeelartig ausgebildeten Pfeiler verformungsfreundlich verhalten. Die Konstruktion bildet ein untrennbares Ganzes, typisch für Integrale Brücken.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, daß sich im Fall der Sunnibergbrücke das Entwurfskonzept nicht willkürlich

in einem „Designprozeß“ ergeben hat, sondern zielgerichtet in Abstimmung mit einem günstigen Tragverhalten unter Berücksichtigung ästhetischer Werte [19], [20] (u. a. Leichtigkeit, Transparenz, Ordnung) ermittelt wurde. Diese Vorgehensweise, die man als „Konzeptionelles Entwerfen und Konstruieren“ bezeichnen kann, setzt viel Wissen und Erfahrung voraus, vor allem aber auch den Willen und den Mut neue Wege zu gehen. Letzteres gilt für alle am Bau Beteiligten!

### 3 Beispiele für Integrale Brücken

In chronologischer Reihenfolge werden sechs Betonbrücken vorgestellt (Tabelle 1), die zwischen 1999 und 2003 im Stuttgarter Ingenieurbüro Peter und Lochner entworfen wurden.

#### 3.1 La-Ferté-Steg in Stuttgart-Zuffenhausen

Der Entwurf dieser Fuß- und Radwegbrücke (zusammen mit den Architekten Arat – Siegel und Partner aus Stuttgart (Bild 4)) ist aus einem Wettbewerb hervorgegangen [21]. Die im Grundriß gleichmäßig gekrümmte Brücke besteht aus einem schlaff bewehrten Plattenbalken, der von sechs dünnen Stahlstützen entlang seiner Schwerachse gestützt wird (Bild 5). Die fugen- und lagerlose Bauweise bedingt eine Einspannung des Überbaus in die Widerlager. Dieser Effekt wird hier genutzt, um zum einen die Haldenrainstraße stützenfrei zu überspannen und um zum anderen Traglastreserven bereitzustellen, die es ermöglichen, den Ausfall der Stütze in Achse 1 ohne Einsturz zu verkräften.

Um Temperaturzwänge klein zu halten, darf das seitliche Ausweichen des Überbaus nicht behindert werden. Beim La-Ferté-Steg sind daher die Stahlstützen so geformt, daß sie sich praktisch wie Pendelstützen verhalten. Sie erhalten im wesentlichen nur Normalkräfte, auch dann, wenn sich der Überbau infolge Temperaturschwankungen ausdehnen oder zusammenziehen will. Ein „Stahl-

Tabelle 1. Kenndaten der vorgestellten Beispiele  
Table 1. Characteristics of presented examples

<b>La-Ferté-Steg, Stuttgart</b>	
Bauherr	Landeshauptstadt Stuttgart, vertreten durch das Tiefbauamt
Ingenieure	Peter und Lochner, Stuttgart
Architekten	Arat – Siegel und Partner, Stuttgart
Bautechnische Prüfung	Dipl.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Reiner Saul, Stuttgart
Entwurf	1999
Fertigstellung	2001
Länge	119 m
max. Spannweite	28,50 m
Gehwegbreite	3,50 m

**Bauwerk 5, Winnenden**

Bauherr	Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Regierungspräsidium Stuttgart
Ingenieure	Peter und Lochner, Stuttgart
Bautechnische Prüfung	Dipl.-Ing. Roland Wetzels, Stuttgart
Entwurf	2000
Fertigstellung	2003
Länge	44 m
Spannweite	38,90 m
Regelbreite	13,75 m

**Bauwerk 1, Winnenden**

Bauherr	Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Regierungspräsidium Stuttgart
Ingenieure	Peter und Lochner, Stuttgart
Bautechnische Prüfung	Dipl.-Ing. Roland Wetzels, Stuttgart
Entwurf	2001
Fertigstellung	2004
Länge	44,50 m
Hauptspannweite	31 m
Gesamtbreite	29 m

**Bauwerk 3, Sersheim**

Bauherr	Landkreis Ludwigsburg, vertreten durch das Regierungspräsidium Stuttgart
Ingenieure	Peter und Lochner, Stuttgart
Entwurf	2003
Fertigstellung	2004
Länge	31 m
Spannweite	23 m
Breite	6 m

Tabelle 1. Fortsetzung  
Table 1. Continued

<b>Bauwerk 1, Sersheim</b>	
Bauherr	Landkreis Ludwigsburg, vertreten durch das Regierungspräsidium Stuttgart
Ingenieure	Peter und Lochner, Stuttgart
Entwurf	2003
geplante Fertigstellung	2005
Länge	34,32 m
Spannweite	17,50 m
Breite	12 m

**Bauwerk 2, Sersheim**

Bauherr	Landkreis Ludwigsburg, vertreten durch das Regierungspräsidium Stuttgart
Ingenieure	Peter und Lochner, Stuttgart
Entwurf	2003
geplante Fertigstellung	2005
Länge	75,60 m
max. Spannweite	18,50 m
Breite	12 m



Bild 4. La-Ferté-Steg, Stuttgart, Photo: Dietmar Strauß, Besigheim  
Fig. 4. La-Ferté-Steg in Stuttgart, photo: Dietmar Strauss, Besigheim

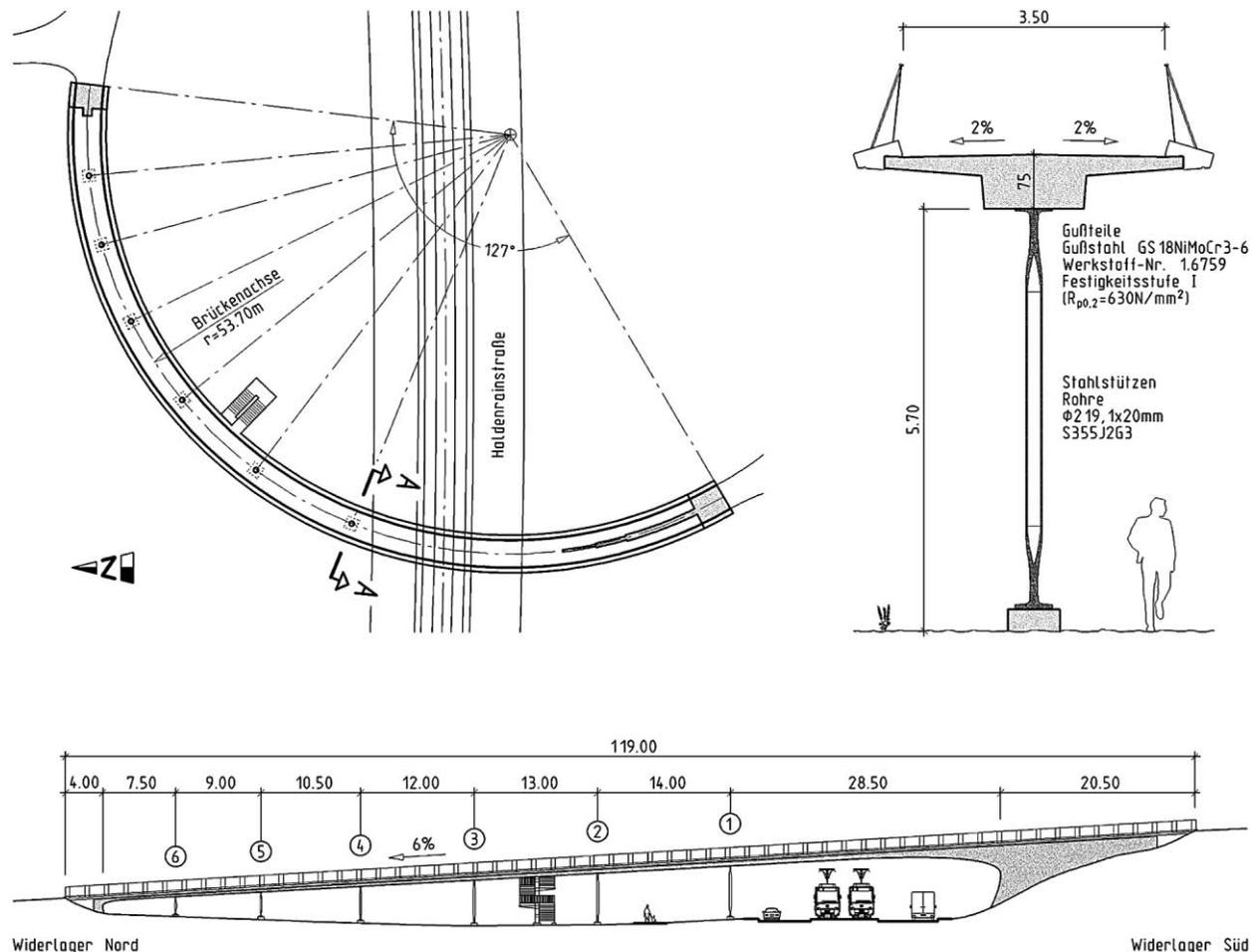


Bild 5. La-Ferté-Steg, Stuttgart: Grundriß, Querschnitt A-A und Abwicklung  
Fig. 5. La-Ferté-Steg in Stuttgart: plan, section A-A and developed elevation

gelenk“ (in Anlehnung an den Begriff „Betongelenk“) wurde deshalb an den Stützenenden vorgesehen. Die kelchförmigen Gußteile sind aus einem hochfesten Stahlguß mit guter Schweißreignung gefertigt und machen ein aufwendiges Kugelgelenk mit Pfanne (wie beim menschlichen Oberschenkelknochen) überflüssig. Dies vereinfacht Details und kommt der Wartung zugute.

In bezug auf das Tragverhalten hat die Sunnibergbrücke den Entwurf des La-Ferté-Steges nachhaltig beeinflusst. Trotzdem entstand eine individuelle Brücke, die zeigt, daß die Neuinterpretation einer geistreichen Idee nicht zwangsläufig zu einer Kopie führen muß.

### 3.2 Bauwerk 5

Die geplante Anschlußstelle Winnenden-Mitte stellt die Verbindung der neuen B14 mit der bestehenden Landesstraße 1127 Marbach-Winnenden her. Zur Überführung der Landesstraße über die B14 wurde der Neubau einer Straßenbrücke mit einem kombinierten Fuß- und Radweg erforderlich. Der Entwurf (Bild 6) ist stark von den geometrischen Randbedingungen geprägt. Zwei Verkehrskreisel, die vom Straßenplaner unterschiedlich weit vor bzw. hinter der Brücke angeordnet wurden, bedeuten für die Brücke eine über die Länge veränderliche Fahrbahnbreite. Im Schnittpunkt der beiden gekrümmten Straßenachsen

bilden die Tangenten einen schiefen Winkel. Beide Straßen haben im Brückenbereich ein konstantes aber nicht unerhebliches Längs- und Quergefälle. Dies erwies sich hier allerdings als gut verträglich, da das Längsgefälle der B14 in die gleiche Richtung wie das Quergefälle der L1127 weist und umgekehrt.

Entwurfziel war ein Rahmentragwerk ohne Stützen, dessen Geometrie vom B14-Nutzer schnell erkannt und verstanden werden kann (Bild 7). Gleichzeitig sollte der Entwurf den nicht ganz alltäglichen Randbedingungen gerecht werden, indem er auf die Schiefwinkligkeit der Kreuzung und die veränderliche Fahrbahnbreite sensibel reagiert.

Für den vorgespannten Überbau, den Rahmenriegel, wurde ein trapezförmiger Massivquerschnitt gewählt. Über die Länge verändert sich stetig seine Höhe, aber auch seine obere und untere Breite, so daß seine Flanken verwundene Flächen bilden. Die Formfindung gehorcht folgenden Gesetzen:

1. Alle Querschnitte verlaufen im Grundriß parallel zur Schnittpunkt tangente der B14, um die Schiefwinkligkeit konsequent in der Geometrie zu berücksichtigen.
2. Abgesehen von der Querneigung sind die Querschnitte stets symmetrisch ausgebildet (Bild 8).
3. Die beiden Brückenunterkanten schwingen nicht nur im Längsschnitt sondern auch im Grundriß, um der



Bild 6. Bauwerk 5 im Zuge der neuen B14 bei Winnenden  
 Fig. 6. Bridge No. 5 for the new highway B14 near Winnenden

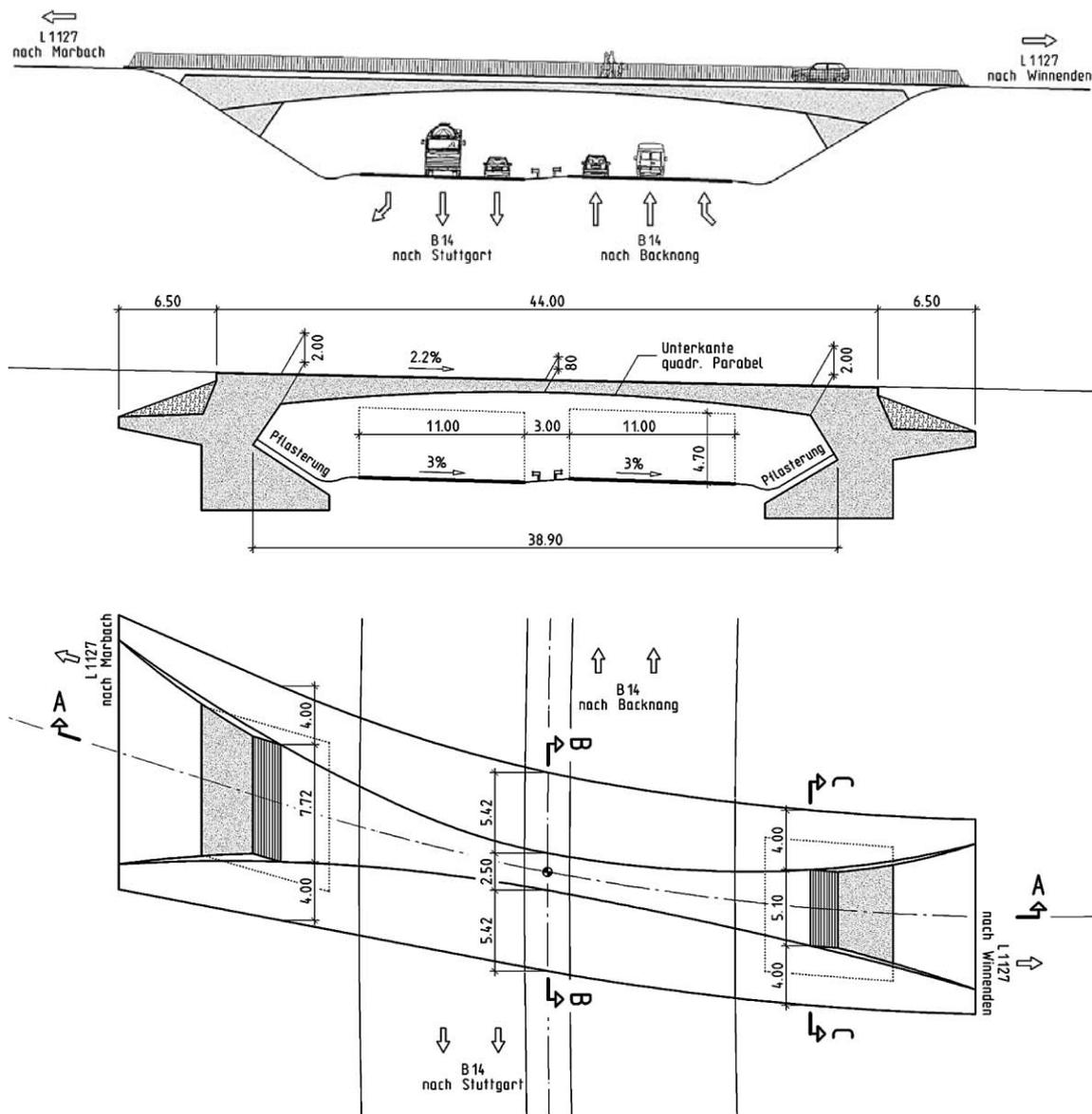


Bild 7. Bauwerk 5, Winnenden: Längsansicht, Längsschnitt A - A und Grundriß  
 Fig. 7. Winnenden Bridge No. 5: elevation, longitudinal-section A - A and plan

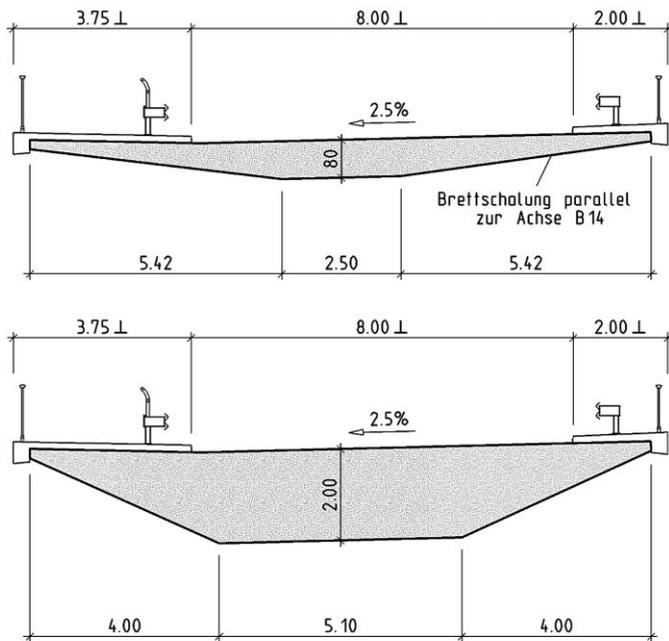


Bild 8. Bauwerk 5, Winnenden: Querschnitte B-B und C-C  
 Fig. 8. Winnenden Bridge No. 5: cross-sections B-B and C-C

veränderlichen Fahrbahnbreite Rechnung zu tragen. Dabei spannen sie eine seitlich konkav berandete, einseitig gekrümmte Fläche auf.

Auch die Rahmenstiele respektieren die schiefwinklige Ausrichtung der Konstruktion. Der Betrachter nimmt sie als „Keile“ wahr, die im Widerlagerbereich unter den Riegel „geklemmt“ sind. Sie stören nicht die konkave Form der bis zur Böschung fortgeführten Brückenunterkanten, vielmehr übernehmen sie an ihrem oberen Ende deren Schwung.

Um eine einfache Herstellung zu gewährleisten, muß bei der Formgebung beachtet werden, daß alle Flächen mit einer konventionellen Schalung hergestellt werden können. Betrachtet man die geschwungenen Überbaukanten als Leitlinien und die Kanten der trapezförmigen Querschnitte als Erzeugende, dann wird verständlich, warum geradlinig verlaufende Schalnhölzer entlang der Erzeugenden genügen, um die einseitig und zweiseitig gekrümmten Flächen des Schalungstrokes für den Überbau exakt abzubilden.

Im Längsschnitt (Bild 7) erkennt man, daß die Widerlager an ihrem hinteren Ende auskragen, um mit Hilfe einer schleppplattenartigen Konstruktion einen sanften Fahrbahnübergang von der Brücke auf den gewachsenen Boden zu ermöglichen. Diese als Trog ausgebildeten Kragarme reduzieren zusätzlich das Moment in der Sohlfuge, weil sie als Gegengewichte fungieren.

Eine von der Überbaugeometrie her sehr ähnliche Brücke haben im Jahre 2001 Jürg Conzett (geb. 1956) und Ginasranco Bronzini (geb. 1967) im schweizerischen Ibach in der Nähe von Brunnen fertiggestellt. Hier wurde eine alte Maillart-Brücke durch einen beidseitig eingespannten Balken mit einem „hydrodynamischen Querschnitt“ (ebenfalls mit der Form eines Trapezes) ersetzt, um für den Gebirgsfluß Muota ein möglichst großes und strömungsgünstiges Durchflußprofil freizuhalten. Interessant ist der Vergleich deshalb, weil diesmal bei sehr unterschiedlichen Randbedingungen und ohne gegenseitige Beeinflussung der konzeptionelle Entwurfsprozeß zur gleichen Idee geführt hat.

### 3.3 Bauwerk 1 im Zuge der neuen B14 bei Winnenden

Bei der Anschlußstelle Winnenden-Süd bestand die Aufgabe darin, die Ab- und Zufahrtsrampen unter der B14 hindurchzuführen. Im Gegensatz zum Bauwerk 5, bei dem

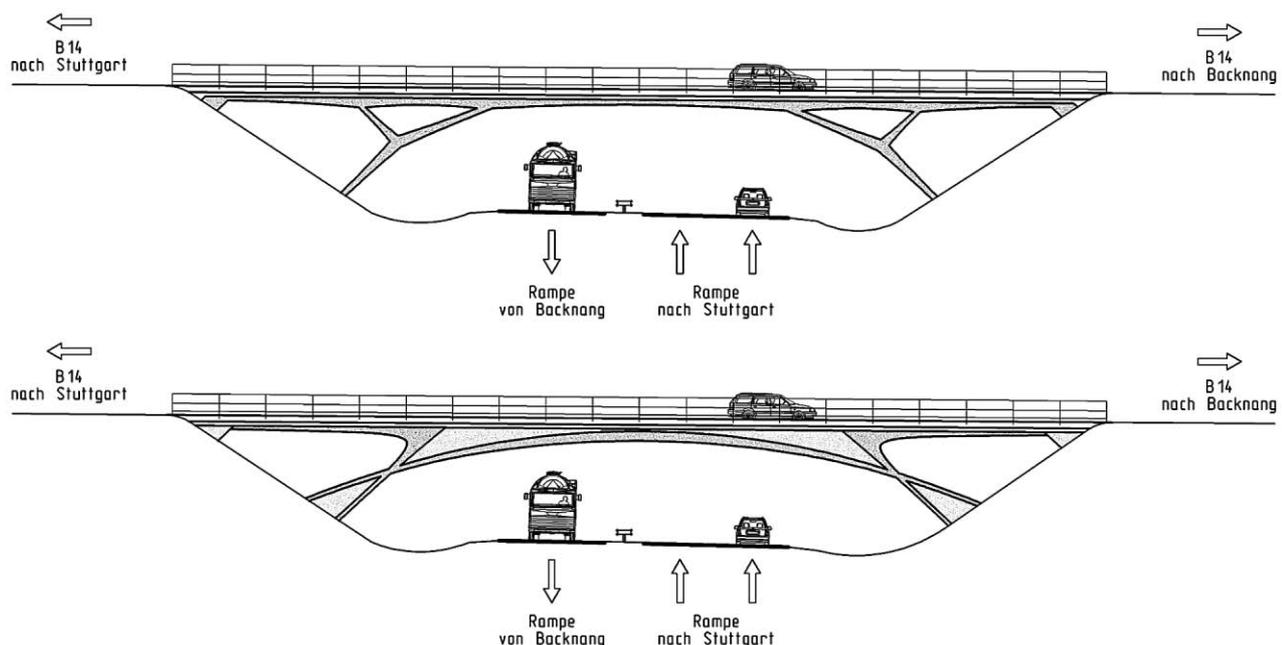


Bild 9. Bauwerk 1, Winnenden: Stabbogenbrücke und Bogenbrücke mit hochgesetzten Kämpfergelenken  
 Fig. 9. Winnenden Bridge No. 1: deck-stiffened arch and arch with elevated hinges

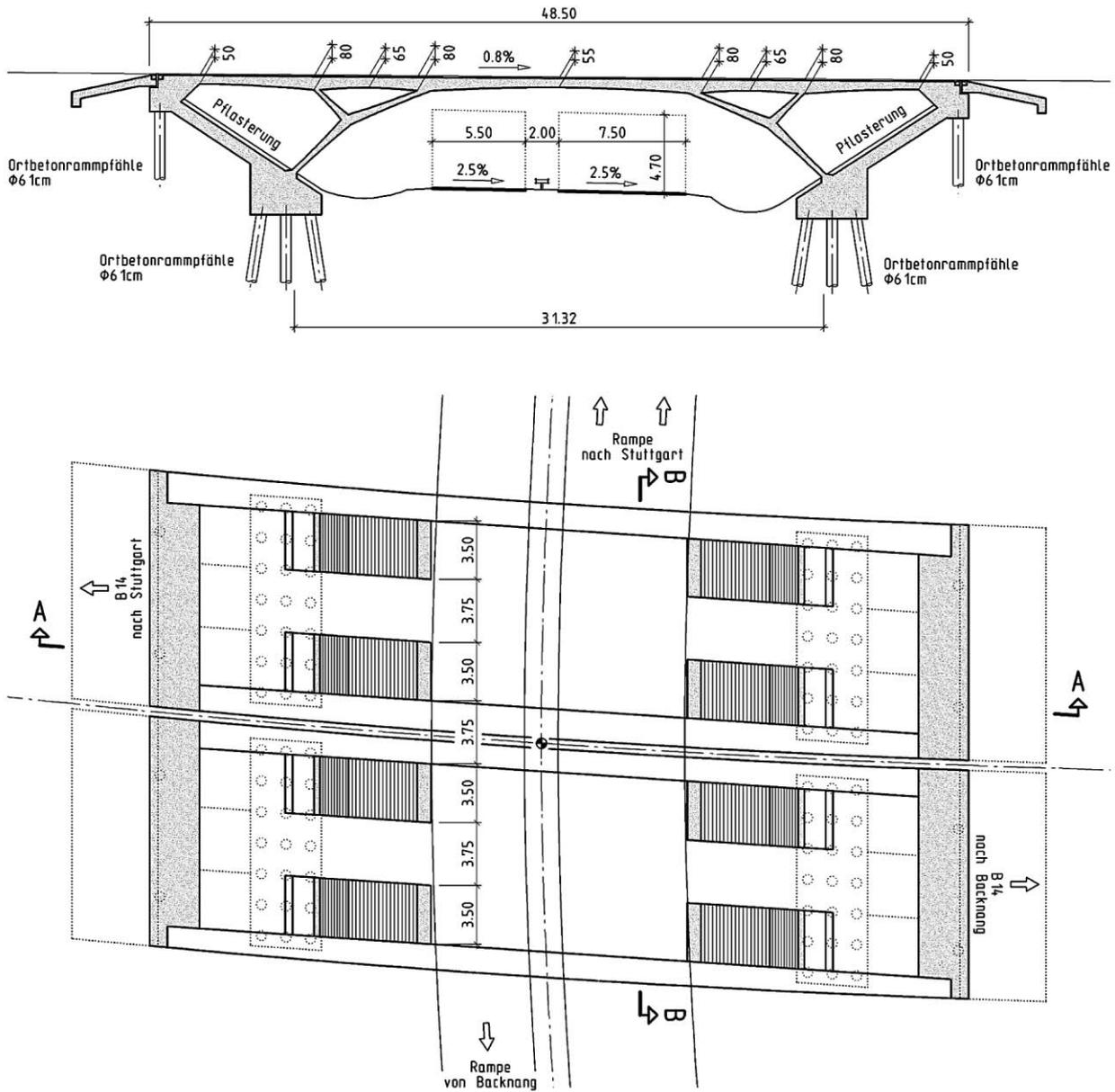


Bild 10. Bauwerk 1, Winnenden: Stabbogenbrücke, Längsschnitt A-A und Grundriß  
 Fig. 10. Winnenden Bridge No. 1: deck-stiffened arch, longitudinal-section A-A and plan

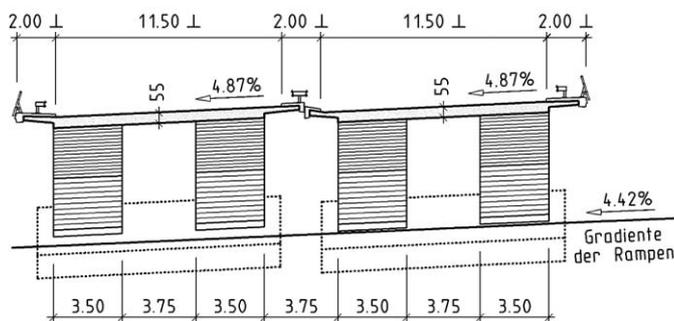


Bild 11. Bauwerk 1, Winnenden: Stabbogenbrücke, Querschnitt B-B  
 Fig. 11. Winnenden Bridge No. 1: deck-stiffened arch, cross-section B-B



Bild 12. Bauwerk 1, Winnenden: Stabbogenbrücke, Modell M 1:100, Photo: Dietmar Strauß, Besigheim  
 Fig. 12. Winnenden Bridge No. 1: deck-stiffened arch, model scale 1:100, photo: Dietmar Strauß, Besigheim

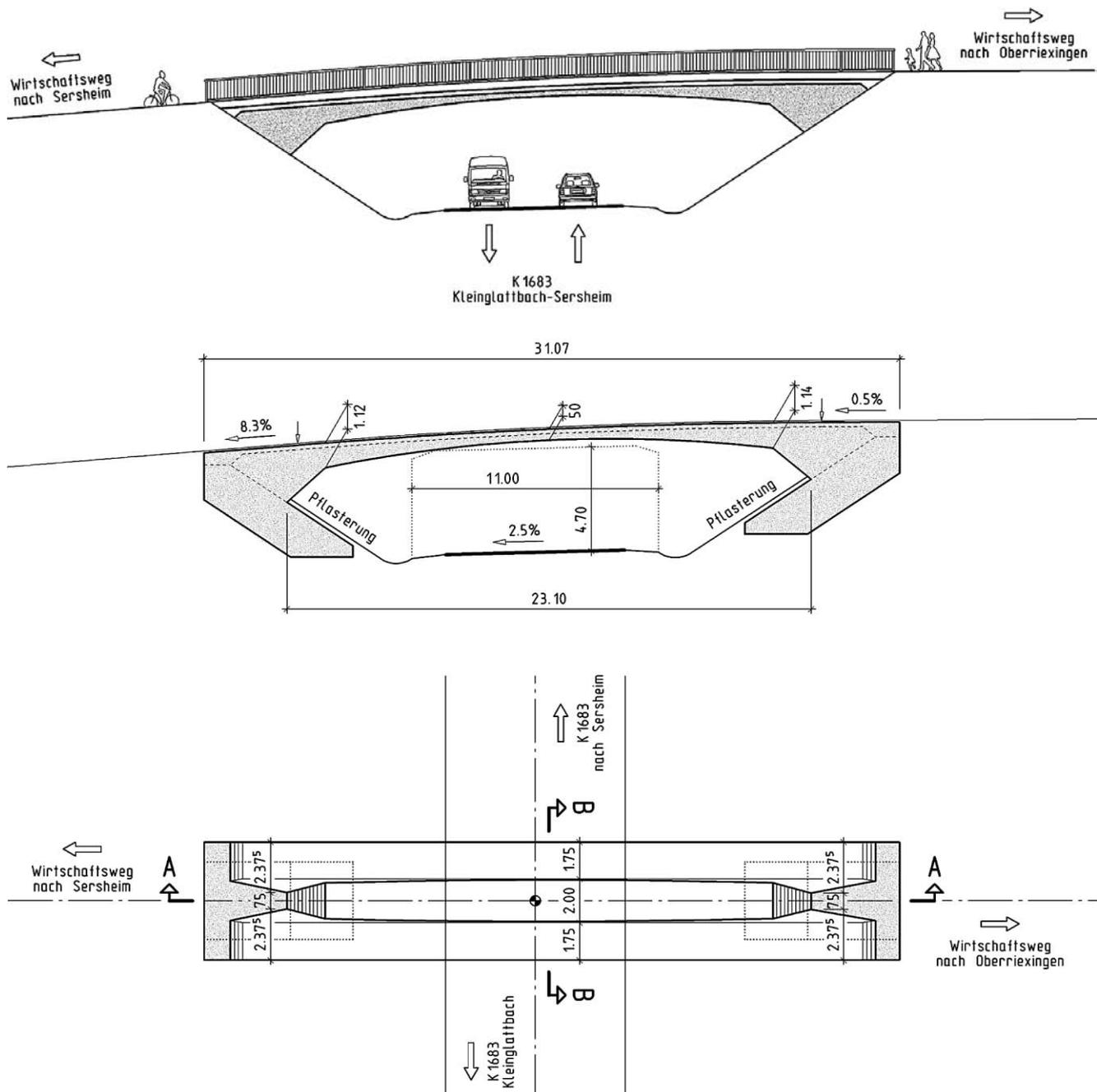


Bild 13. Bauwerk 3, Sersheim: Längsansicht, Längsschnitt A-A und Grundriß  
 Fig. 13. Sersheim Bridge No. 3: elevation, longitudinal-section A-A and plan

noch ein zweispuriger Querschnitt genügte, mußte nun ein Tragwerk gefunden werden, das je Richtungsfahrbahn zwei Fahrstreifen plus Standspur aufnehmen kann.

Wegen des Höhenversatzes der beiden Richtungsfahrbahnen sollten zwei getrennte Brücken nebeneinander gestellt werden (Bild 11). Um bei diesen Verhältnissen (kurze Brückenlänge bei großer Brückenbreite) einen Tunnelleffekt für die Rampenbenutzer zu vermeiden, wurde ein aufgelöstes Tragwerk angestrebt.

Schon beim Bauwerk 5 wurden Untersuchungen angestellt, die massiven Widerlagerbereiche aufzulösen. Einfache Löcher oder Aussparungen befriedigten jedoch nicht. Schnell wurde klar, daß der Wunsch nach zurückhaltenden Widerlagern und einer schlanken Konstruktion

nur durch einen vollständig überarbeiteten Entwurf realisiert werden konnte. Um in der Formensprache an Bauwerk 5 anzuknüpfen, wurden mehrere Bogentragwerke untersucht (Bild 9). Wegen des freizuhaltenden Lichtraumprofils kamen aber nur sehr flache Bögen in Frage. Diese hätten den relativ großen Horizontalschub über ihre Kämpferfundamente in den dafür ungeeigneten Baugrund aber nicht einleiten können.

Es lag darum nahe, ein selbstverankertes System zu wählen und den Horizontalschub über den Fahrbahnträger kurzzuschließen. Bei vielen selbstverankerten Systemen spielt die Spannweitungaufteilung wegen des Hebelgesetzes eine entscheidende Rolle, man denke z. B. an die klassische dreifeldrige Schrägeilbrücke. Hier ist die

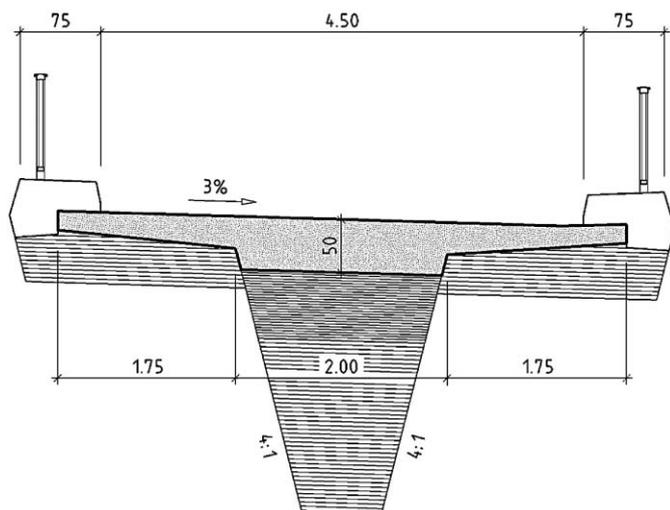


Bild 14. Bauwerk 3, Sersheim: Querschnitt B-B  
 Fig. 14. Sersheim Bridge No. 3: cross-section B-B

Brücke so eingestellt, daß die Widerlager als Gegengewichte fungieren. Ein in der Böschung verlaufender Druckriegel befriedigt dabei das horizontale Gleichgewicht am Kämpferfundament. Die Widerlagersohlfluge ist unter Eigenlast überdrückt, die dort angeordneten Pfähle erhalten nur bei ungünstig wirkenden Verkehrslasten Zugkräfte (Bild 10).

Es wurden zwei Entwürfe in die engere Wahl gezogen. Es sind dies eine Stabbogenbrücke und eine Bogenbrücke mit hochgezogenen Kämpfergelenken. Zur Beurteilung der Raumwirkung unter der Brücke wurden für beide Entwürfe Modelle im Maßstab 1:100 angefertigt. Sie bilden das Tragwerk in ganzer Breite und Länge mit den Dämmen der B14-Trasse ab. Bild 12 zeigt das Modell der Stabbogenbrücke.

Zur Ausführung bestimmt wurden die paarweise angeordneten Stabbögen mit geneigten Aufständern, die eine geschickte Spannweitenaufteilung der gevouteten Spannbetonplatte ermöglichen. Die Bogengeometrie wurde bewußt feingliedrig ausgeführt, um Eigenspannungen und Zwänge entgegenzuwirken. Die grazile Erscheinung wird durch das leichte Wölben der äußeren Bogenkonturen noch gesteigert; gleichzeitig wird hierdurch ein Bezug zur ebenfalls gewölbten Unterseite der Fahrbahnplatte hergestellt. Die Vorspannung der Platte wurde so ausgelegt, daß unter Eigenlast plus 30 % der DIN-Verkehrslasten keine Zugspannungen auftreten. Für alle darüber hinaus gehenden Beanspruchungen wird durch eine sinnvoll abgestimmte Mindestbewehrung eine maximale Rißbreite von 0,15 mm erreicht.

Mit Hilfe der Vorspannung ist es gelungen, ein Betontragwerk zu konzipieren, bei dem alle wesentlichen Bauteile (Stabbögen, Aufständern, Fahrbahnplatte und Druckriegel) vorrangig nur Druckkräfte erhalten. Im Hinblick auf Verkehrslasten verhält sich das Tragwerk sehr steif, nicht aber in bezug auf Zwänge. Schwinden, Kriechen und selbst Temperaturschwankungen erzeugen nur unbedeutende Spannungsänderungen in der Konstruktion, weil die Kämpferfundamente durch den Baugrund nur kleine Widerstände in Brückenlängsrichtung erfahren.

### 3.4 Bauwerk 3 im Zuge der Entlastungsstraße Sersheim

Die zur Ausführung bestimmte Rahmenbrücke (Bild 13) zur Überführung eines Wirtschaftsweges über die Entlastungsstraße orientiert sich sowohl am La-Ferté-Steg als auch am Bauwerk 5. Ein Plattenbalkenquerschnitt mit geneigten Stegflanken (Bild 14) in Kombination mit einer gewölbten Überbauunterkante sorgt wieder für eine veränderliche untere Stegbreite, die eine Eintönigkeit über die Länge vermeidet. Im Widerlagerbereich läuft der Überbau einfach in die Böschung ein, ohne daß ein massiver Widerlagerkörper mit Flügelwänden erforderlich würde. Um die effektive Spannweite zu verkürzen und um die Einspannung des Überbaus in die Gründung zu visualisieren, sind die Stegunterkanten zum Widerlager hin nach unten abgelenkt. Beim Eintauchen in die Böschung hat die Stegunterseite wegen der Stegflankenneigung nur noch eine Breite von 75 cm. Damit bleiben auch bei dieser schmalen Brücke mit nur einer Fahrspur die Proportionen gewahrt.

Im Gegensatz zum Bauwerk 5 genügen hier ein schlaff bewehrter Rahmenriegel und schräg unter der Böschung verlaufende Rahmenstiele mit relativ kleinen Sohlflächen. An den Widerlagerenden wurden keine Tröge mehr vorgesehen; Dammsetzungen und Zwänge, die zu Bewegungen am Übergang führen können, werden durch einen Fahrbahnübergang aus Asphalt mit der Produktbezeichnung Thorma<sup>®</sup>-Joint [22] ausgeglichen.

### 3.5 Bauwerk 1 im Zuge der Entlastungsstraße Sersheim

Für die Kreuzung der Entlastungsstraße mit einem wenig befahrenen Industriegleis wurde erneut eine Rahmenbrücke vorgeschlagen. Diesmal galt es, das veränderliche Quergefälle der Entlastungsstraße sowie die hohen Dämme vor und hinter der Brücke als eine besondere Herausforderung anzunehmen und harmonisch in den Entwurf zu integrieren. Besonders zu beachten war die Vorgabe, daß der maximale Abstand der Widerlagervorderkanten nicht mehr als 15 m betragen durfte, um die Baukosten der Brücke, die ursprünglich für eine lichte Weite von 29 m ausgelegt war, zu reduzieren.

Ein Einfeldträger – mit konstanter Bauhöhe von ungefähr 1,20 m und auf kastenförmigen Widerlagern schwimmend aufgelagert – hätte hier wegen der großen Widerlagerkörper im Verhältnis zur Öffnung sehr streng und wahrscheinlich auch belastend gewirkt. Um die Widerlageransichtsflächen vor allem in der Schrägsicht zu mildern, wurde wieder das kombinierte Wandscheiben/Plattenbalken-Prinzip des La-Ferté-Steges aufgenommen (Bild 15). Die kurze Spannweite und die monolithische Bauweise ermöglichten einen einsteigenen Querschnitt, der die unvermeidbaren Torsionsmomente bei exzentrischen Laststellungen verwindungssteif aufzunehmen vermag.

Die diesmal korbboogenartig geschwungene Stegunterkante berandet die massiven Flächen derart, daß sich die lichte Öffnung von 15 m auf 17,50 m vergrößert. Die Vorgabe des maximalen Widerlagerabstandes wird hierdurch nicht berührt. Die gesamte Konstruktion ist auf die konstant ansteigende, aber im Übergangsbogen befind-

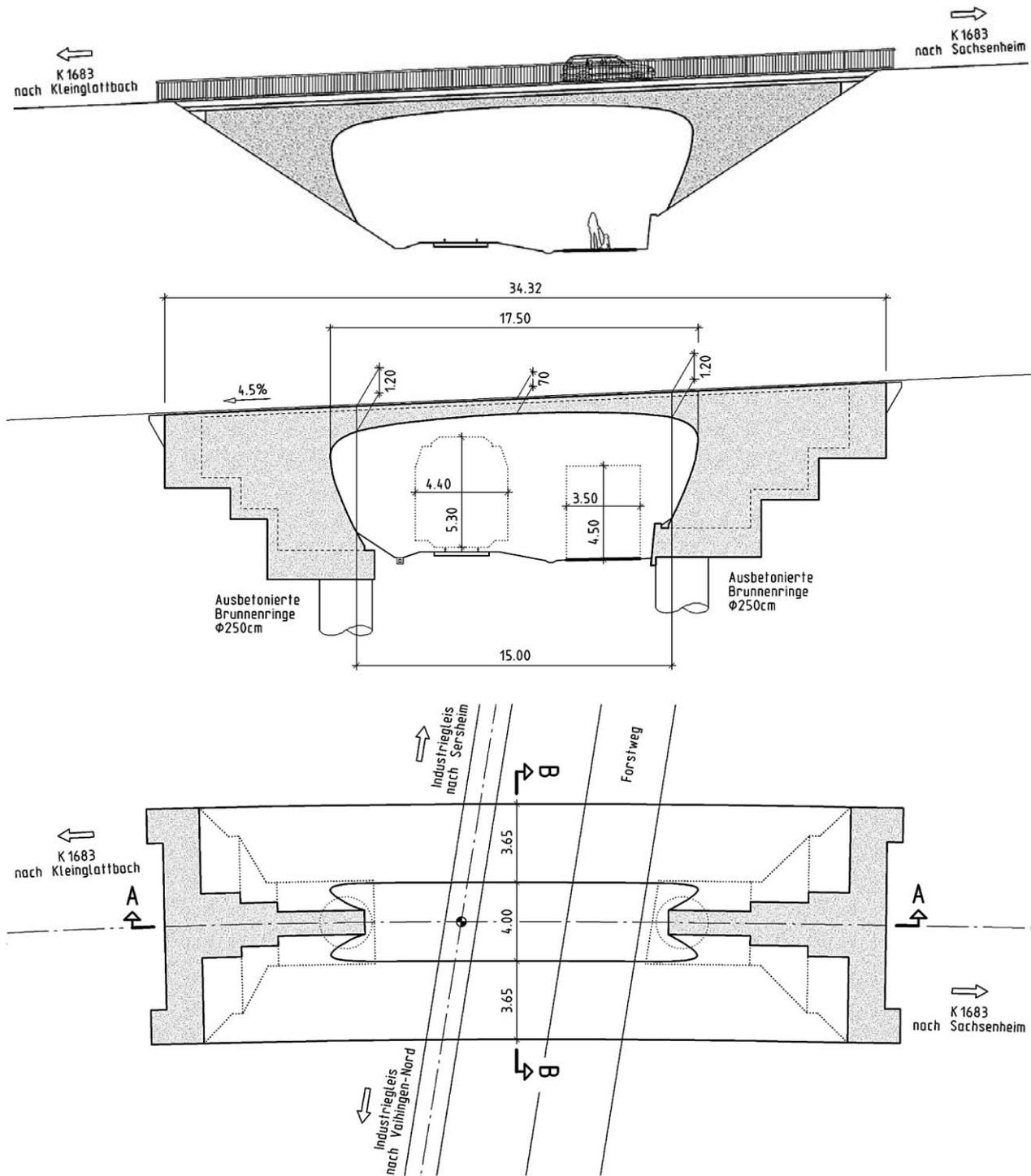


Bild 15. Bauwerk 1, Sersheim: Längsansicht, Längsschnitt A-A und Grundriß  
 Fig. 15. Sersheim Bridge No. 1: elevation, longitudinal-section A-A and plan

liche Gradiente ausgerichtet. Sie spiegelt nicht die Schiefwinkligkeit der Kreuzung wider, um die Geometrie der Schalung nicht zu komplizieren. Ein Zugeständnis, das wegen des schmalen Steges und der daraus resultierenden feingliedrigen Widerlageransicht nicht als störend empfunden wird. Einzig und allein die auf dem Steg „aufgesetzte“ Fahrbahnplatte trägt der schwierigen Randbedingung der veränderlichen Querneigung von knapp 1% auf über 5% durch eine Verwindung Rechnung (Bild 16).

Aus Kostengründen übernehmen ausbetonierte Brunnenringe die Gründungslasten der untersten Sohlfluge. Die oberen Stufen der treppenartigen Widerlagerfundamente werden in die neu zu schüttenden Dämme als flachgegründete Bauteile eingebettet. Wegen der kurzen Brückenlänge, der hohen Dämme und der damit verbundenen relativ großen Widerlagerlängen sind größere Bewegungen an den Brückenden weder vertikal noch horizontal zu erwarten. Deshalb kommen auch hier Fahrbahnübergänge aus Asphalt zur Anwendung.

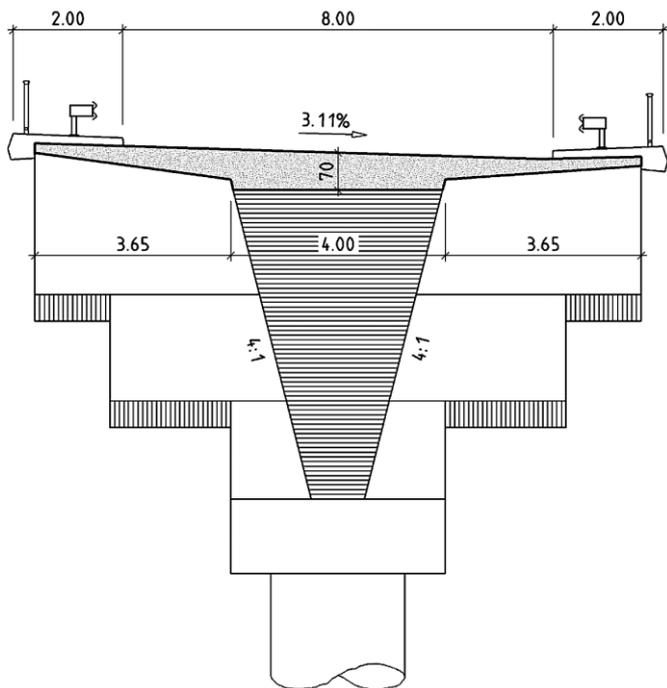


Bild 16. Bauwerk 1, Sersheim: Querschnitt B-B  
 Fig. 16. Sersheim Bridge No. 1: cross-section B-B

### 3.6 Bauwerk 2 im Zuge der Entlastungsstraße Sersheim

Wegen der unmittelbaren Nachbarschaft zu Bauwerk 1 war eine Verwandtschaft beider Brücken in gestalterischer Hinsicht erwünscht. Trotzdem wurde besonderer Wert auf feine Unterschiede gelegt, die sich nicht willkürlich, sondern aus der Notwendigkeit der Situation heraus ergeben.

In der Ansicht (Bild 17) sind mit Ausnahme der Stützen keine großen Unterschiede zu erkennen. Betrachtet man allerdings den Längsschnitt (Bild 17) und den Stützenquerschnitt (Bild 18), dann erkennt man, daß nun eine über weite Strecken durchlaufende Platte den Überbau bildet. Diese wird wegen ihrer geringen Torsionssteifigkeit von zwei Stützen in jeder Achse getragen. Im Widerlagerbereich wird das Tragwerk in einen zweistegigen Plattenbalken überführt, um Massen zu reduzieren und einen Bezug zur paarweisen Stützenanordnung herzustellen (Bild 18). In den Randfeldern, die im Verhältnis zu den mittleren Feldern relativ große Spannweiten aufweisen, ist die Überbauunterkante parabelförmig ausgerundet, um der Brücke einen schwungvollen Charakter zu verleihen und die Verwandtschaft zu Bauwerk 1 zu unterstreichen. Die zunehmende Konstruktionshöhe zum Widerlager hin rechtfertigt nicht nur die großen Spannweiten der Rand-

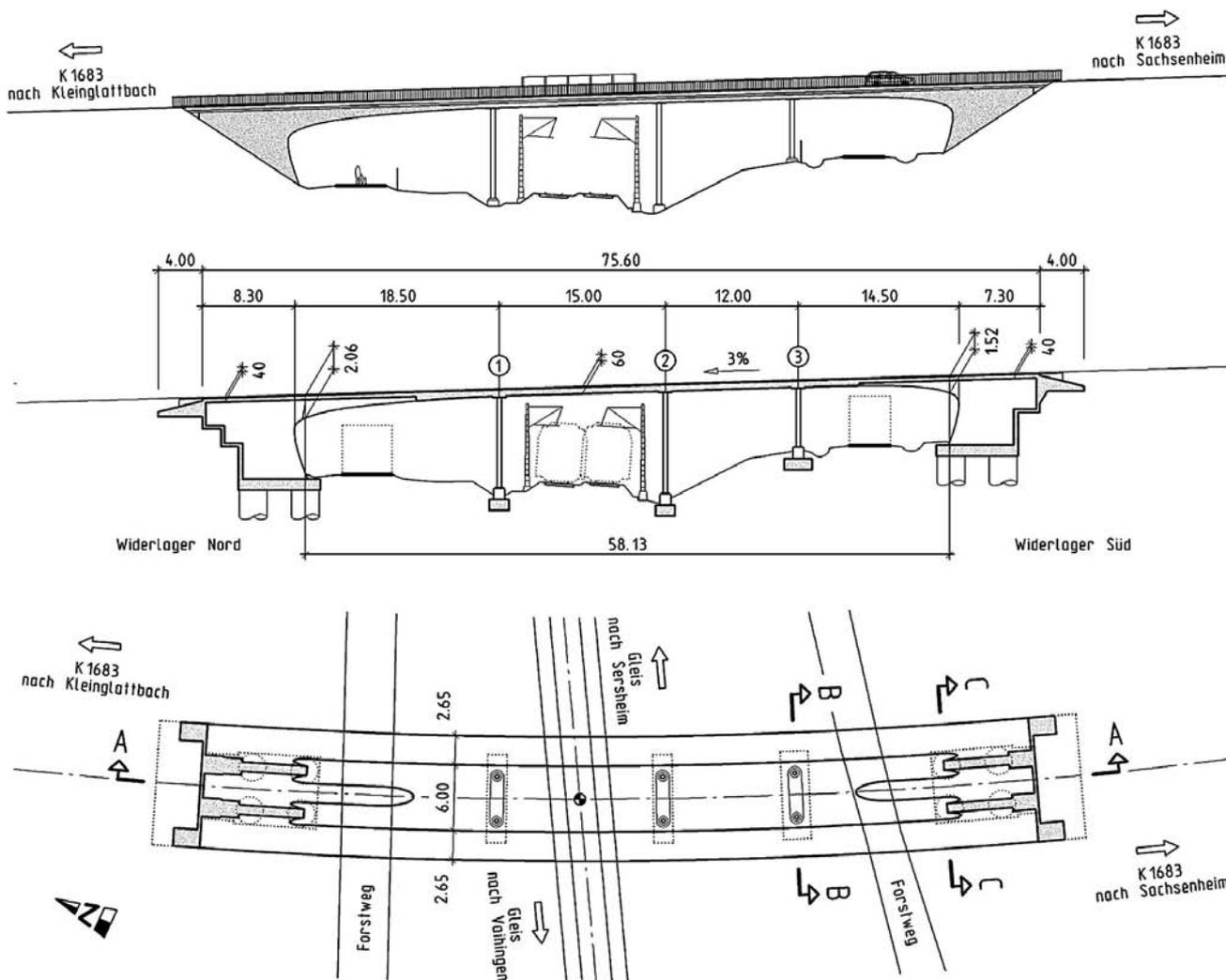


Bild 17. Bauwerk 2, Sersheim: Längsansicht, Längsschnitt A-A und Grundriß  
 Fig. 17. Sersheim Bridge No. 2: elevation, longitudinal-section A-A and plan

felder, sondern zeigt deutlich die Einspannung des Überbaus in die Widerlager. Dieser Einspannung verdankt das Tragwerk große Lastreserven, so ist die Traglast bei Ausfall beider Stützen einer Achse erst unter Eigenlast und 50 % der Verkehrslasten erreicht.

Die schlanken Stützen werden aus handelsüblichen Stahlrohren hergestellt. Sie erhalten die Transparenz unter dem Tragwerk und dokumentieren den Unterschied in Tragweise und Funktion zum Überbau durch die Verwendung eines anderen Materials. Der schwebende Charakter der Platte, deren kleine Konstruktionshöhe erst durch das enge Stützenraster möglich wird, kommt dadurch weiterhin gut zur Geltung.

Die dünne Platte ist ein Muß, um diese 75 m lange Brücke monolithisch an die Widerlagerkörper anbinden zu können. Die Zwangskräfte, hervorgerufen vor allem

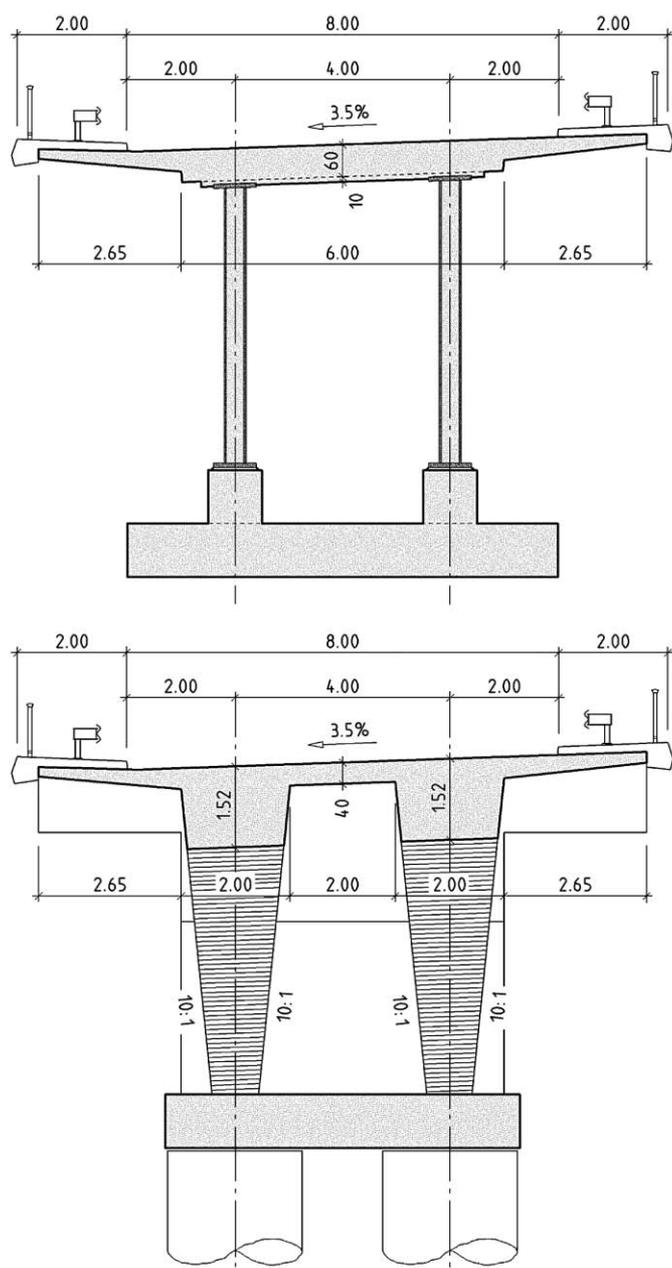


Bild 18. Bauwerk 2, Sersheim: Querschnitte B-B und C-C  
Fig. 18. Sersheim Bridge No. 2: cross-sections B-B and C-C

durch Temperatur und Schwinden, werden klein gehalten, einmal durch eine geringfügige Beweglichkeit der Widerlagerkörper, zum anderen durch eine kontrollierte Ribbildung im Überbau. Die sogenannte Ribzugkraft im Betonquerschnitt, die durch die Längsbewehrung mit einer moderaten Stahlspannung (150 bis 200 N/mm<sup>2</sup>, je nach Stabdurchmesser) aufgenommen werden muß, um eine feine Ribbildung mit Ribbreiten kleiner 0,15 mm zu erreichen, hängt direkt von der Querschnittsfläche des Überbaus und der verwendeten Betongüte ab (Ribzugkraft = Querschnittsfläche × Betonzugfestigkeit). Da die Längsbewehrung aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten gleichzeitig die Biegezugdeckung übernehmen soll, ist eine Anordnung an der Ober- bzw. Unterseite der Platte mit möglichst großer Kernweite anzustreben. Um die Bewehrung effektiv auszunutzen, spielt bei gedrungenen, rechteckigen, massiven Querschnitten das Verhältnis der Querschnittsfläche zum Querschnittsumfang eine entscheidende Rolle. Kleine Verhältnisse bedeuten gute Bedingungen, weil kleinen Zwangskräften ein großer Verteilbereich für die Längsbewehrung zugeordnet werden kann. Bei vorgegebener Brückenbreite erfüllen praktisch nur Querschnitte mit geringer Konstruktionshöhe diese Bedingung, weil sonst die Bewehrung aus Platzgründen möglicherweise nahe der Nulllinie untergebracht werden muß, dort wo sie für Biegung nicht wirksam ist.

Die Gründung der Widerlager erfolgt auf jeweils vier Säulen aus ausbetonierten Brunnenringen. Für eine Entkopplung von Widerlager und Gründung sorgen PTFE-beschichtete Folien, die auf die besonders eben abgezogenen Brunnenoberflächen aufgelegt werden. Hierdurch sollen vor allem die irreversiblen Schwindzwänge (vergleichbar mit einer Abkühlung des Tragwerks um ca. 24 K) abgebaut werden. Alternativ eignen sich auch Bohrpfähle oder Ramppfähle mit kleinen Durchmessern, die über ihre Verformung eine geringfügige Längsverschiebung der Widerlagerkörper ermöglichen. Die Pfähle haben gegenüber

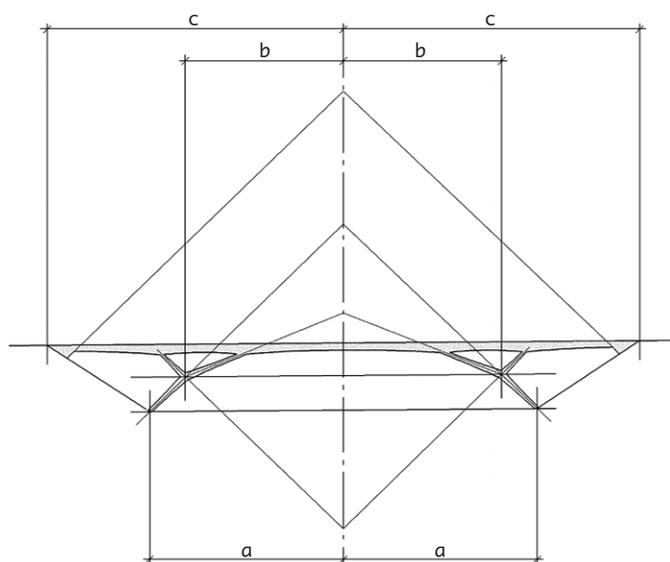


Bild 19. Bauwerk 1, Winnenden: Konstruktionsprinzip der Systemachsen

Fig. 19. Winnenden Bridge No. 1: structural layout concept for the center lines

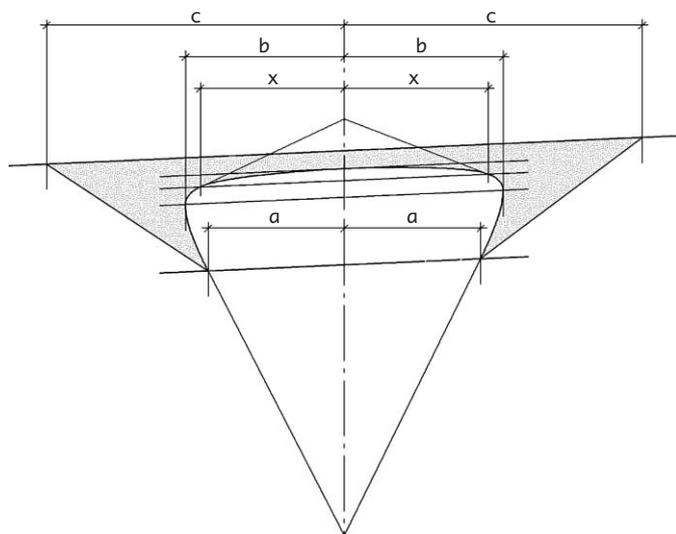


Bild 20. Bauwerk 1, Sersheim: Konstruktionsprinzip der Korbboogenlinie  
 Fig. 20. Sersheim Bridge No. 1: structural layout concept for the basket arch

den Brunnen den Vorteil, daß sie eine zugfeste Verbindung mit dem Widerlager herstellen und so im Katastrophenfall bei Stützensausfall sogar eine Spannbandtragwirkung der hochbewehrten Überbauplatte aktivieren können.

#### 4 Besondere Aspekte der Formgebung

Die Form sollte sich aus dem Tragverhalten entwickeln und den Kraftfluß ablesbar machen, sonst wäre die Brücke nicht wahrhaftig, sondern unehrlich [23]. Dennoch bleibt dem Entwerfenden ein gewisser Spielraum, der ein Bauwerk verfeinern, aber auch verunstalten kann. Im Zuge der Entwurfsbearbeitung für die vorgestellten Brücken stellte sich natürlich oft die Frage nach einem Konstruktionsprinzip zur Festlegung von Achsen oder Kurven. Für drei Fälle soll das gewählte Prinzip erläutert werden:

1. Fall: Bauwerk 1 im Zuge der neuen B14 bei Winnenden (Bild 19):

Schon bei den ersten Entwurfsskizzen wurde versucht, eine Brückenmitte zu definieren und durch eine lotrechte Achse (strichpunktierte Linie) zu markieren. Dort wo diese Mittelachse die Gradientenlinie schneidet, ergibt sich durch die Tangente an die Gradientenlinie eine zweite Achse. Zu beiden Achsen werden nun parallele Geraden gezeichnet, um markante Systempunkte zu markieren (Aufziehen eines Rasters). Trotz der Schiefwinkligkeit beider Achsen kann eine gewisse Symmetrie verfolgt werden, die für eine erste Ordnung sorgt. Die nach dem Stützlinsenprinzip für Eigenlast konstruierten Achsen der Stabbögen und Aufständerungen werden nun mit Hilfe des Rasters eingepaßt. Dabei gilt: Alle Stabachsen schneiden ihr Pendant von der gegenüberliegenden Seite auf der lotrechten Mittelachse. Gleiches gilt auch für die Gesimsabschluß- und Böschungskanten, die nur noch für den Fall der horizontal verlaufenden Gradientenlinie die exakt gleiche Neigung haben.

Verformungsfreundliche Querschnitte vereinfachen Details, den Kräftefluß und die Wartung.

2. Fall: Bauwerk 1 im Zuge der Entlastungsstraße Sersheim (Bild 20):

Im Unterschied zum La-Ferté-Steg, dessen Stegunterkante beim Widerlager Süd einer quadratischen Parabel folgt, wurde hier eine Korbboogenlinie verwendet. Zur Konstruktion dieser Linie wurde folgendes Prinzip verfolgt: In gleicher Weise wie zuvor beschrieben werden die Mittelachse und die Tangente an die Gradientenlinie im Schnittpunkt Mittelachse/Gradientenlinie gesucht. Das nun viel feiner aufgezeichnete Raster dient dazu, die Übergangspunkte der Korbboogenlinie, also den Wechsel der einzelnen Radien, zu markieren. Als Konstruktionsprinzip gilt wieder, daß die Tangenten an die Korbboogenlinie ihr Pendant auf der Mittelachse schneiden.

3. Fall: Bauwerk 2 im Zuge der Entlastungsstraße Sersheim (Bild 21):

Für die geschwungene Stegunterkante im Widerlagerbereich wurde diesmal eine Parabel 4. Ordnung verwendet. Diese wurde gespiegelt und derart entlang der

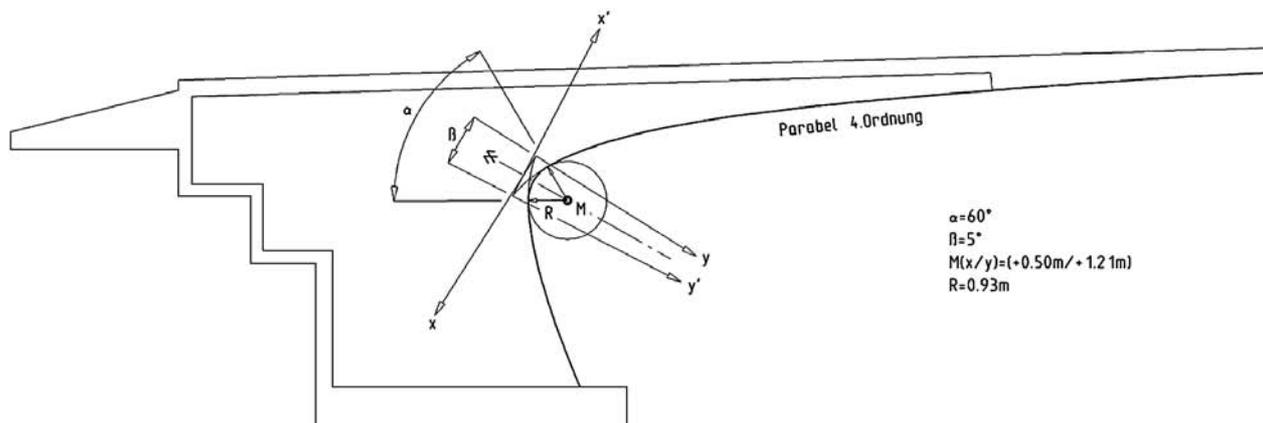


Bild 21. Bauwerk 2, Sersheim: Konstruktionsprinzip der Stegunterkante im Widerlagerbereich  
 Fig. 21. Sersheim Bridge No. 2: structural layout concept for the lower web contour near the abutment

Tabelle 2. Gegenüberstellung der vorgestellten Beispiele  
Table 2. Comparison of presented examples

	Tragwerk	Bauart	Gründung	Konstruktionsprinzip	Gestaltungsmerkmale
<b>La-Ferté-Steg, Stuttgart</b>	Plattenbalken auf Pendelstützen, an beiden Enden eingespannt	Stahlbeton	Bohrpfähle	Stegunterkante folgt im Bereich von Widerlager Süd einer Parabel 2. Ordnung	Sehr schlanker Balken mit konstanter Grundrißkrümmung und veränderlicher Bauhöhe, geneigte Stegflanken
<b>Bauwerk 5, Winnenden</b>	Rahmen mit trogartigen Kragarmen	Rahmenriegel in Spannbeton (teilweise Vorspannung)	Flachgründung	Leitlinien und Erzeugende, streng auf die schiefwinklige Situation ausgerichtet	Geschwungener Rahmenriegel mit prismatischen Rahmenstielen, trapezförmiger Riegelquerschnitt mit verwundenen Flanken
<b>Bauwerk 1, Winnenden</b>	Selbstverankerter Stabbogen mit Platte als Versteifungsträger	Platte in Spannbeton (teilweise Vorspannung)	Bohrpfähle	„Strahlensymmetrie“ (siehe Bild 15)	Aufgelöstes sehr durchsichtiges Tragwerk, Stabränder und Plattenunterkante gewölbt
<b>Bauwerk 3, Sersheim</b>	Rahmen mit einsteigigem Plattenbalken als Rahmenriegel	Stahlbeton	Flachgründung	„Strahlensymmetrie“	Geschwungene Stegunterkante, geneigte Stegflanken, dadurch variable Stegbreite in der Unteransicht
<b>Bauwerk 1, Sersheim</b>	Rahmen mit einsteigigem Plattenbalken als Rahmenriegel	Stahlbeton	Ausbetonierte Brunnenringe	Stegunterkante folgt einer Korbbogenlinie im schiefwinkligen Raster (siehe Bild 16)	Widerlager aufgelöst in Scheiben und Platten, erhöht die Transparenz in der Schrägansicht, verwundene Fahrbahnplatte
<b>Bauwerk 2, Sersheim</b>	Platte kombiniert mit Plattenbalken, an beiden Enden eingespannt	Stahlbeton	Ausbetonierte Brunnenringe	Stegunterkante folgt im Bereich der Widerlager einer Parabel 4. Ordnung (siehe Bild 16)	Sehr schlankes Tragwerk auf dünnen Stahlstützen, im Widerlagerbereich aufgelöst in zweistegigen Plattenbalken

x-Achse verschoben, daß der Punkt M im Koordinatensystem der einen Kurve mit dem Punkt M im Koordinatensystem der anderen Kurve zusammenfällt. M markiert dabei den Mittelpunkt eines Schmiegekreises, der die beiden Parabeläste ohne Knick miteinander verbindet. Das Konstruktionsprinzip ist derart ausgelegt, daß es für beide Widerlager herangezogen werden kann. Der unterschiedlichen Geometrie an beiden Brückenden wird durch eine einfache Verdrehung der beiden Parabeläste um den Punkt M entsprochen, wodurch sich zwar der Öffnungswinkel des Schmiegekreises verändert, aber weiterhin kein Knick entsteht.

5 Fazit

Die hier vorgestellten Brücken sind Beispiele dafür, wie Form und Tragverhalten sich gegenseitig beeinflussen und wie eine sinnvolle Abstimmung von beiden zu sehr effizienten Tragwerken führt. Die Integrale Bauweise ist eine Bereicherung für den Brückenbau und führt zu sehr robusten Konstruktionen, wenn die Verformbarkeit des Tragwerks bzw. die Zwänge bereits im Entwurf und bei der Detailplanung berücksichtigt werden.

Der Werkstoff Stahlbeton kommt der Bauweise sehr entgegen, weil zum einen das preiswerte Material Beton gezielt geformt werden kann und zum anderen seine Neigung zur Reißbildung deutlich zum Steifigkeitsabbau und damit zur Vermeidung von größeren Zwängen beiträgt. Einer risseverteilenden Bewehrung, die gleichzeitig auch die Duktilität kritischer Querschnitte erhöht, kommt selbstverständlich ebenso wie der gesamten konstruktiven Durchbildung eine große Bedeutung zu. Ein hoher Vorspanngrad mit einem geringen Schlaffstahlanteil ist deshalb nicht erwünscht. Dies spricht für eine vermehrte Anwendung der teilweisen Vorspannung, die noch viele weitere Vorteile bietet [24].

*Für Integrale Brücken kann ein gutes Preis/Leistungsverhältnis erzielt werden.*

Verformungsfreundliche Querschnitte können anfällige Fugen und Lager nicht nur überflüssig machen, sondern vereinfachen Details, den Kräftefluß und die Wartung [25]. Statisch unbestimmte Systeme, die typisch für Integrale Brücken sind, erhöhen dabei nicht nur die Aus-

fallsicherheit, sondern stellen auch Traglastreserven bereit; man denke an die Mainbrücke Hochheim [26], die Reussbrücke Wasen [27] oder die Innbrücken bei Kufstein [28], deren Durchlaufträger sich nach Lager- bzw. Stützensenkung sehr gutmütig verhalten haben.

Brücken – und das gilt selbstverständlich auch für Integrale Brücken – müssen sorgfältig geplant werden. Dabei sollte dem Entwurf und der konstruktiven Ausbildung der Details wieder deutlich mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Gerade individuelle Tragwerke, die nicht einfach aus der Schublade gezogen werden können, erfordern in dieser Hinsicht viel Zeit. In Anbetracht dessen, daß Brücken sichtbare Zeichen unserer gebauten Umwelt sind und damit auch einen Beitrag zur Baukultur leisten, sollten alle Verantwortlichen jede neue Brücke als besondere Herausforderung betrachten. Um geistreichen Ingenieurbrückenbau zu unterstützen und zu fördern, muß der Mehraufwand für die Ingenieur- und Bauleistung auch leistungsgerecht honoriert werden. Für Integrale Brücken kann trotzdem ein beachtliches Preis/Leistungsverhältnis erzielt werden, wenn die Bau- und Unterhaltskosten zusammen betrachtet werden.

#### Dank

Für die gute und vertrauensvolle Zusammenarbeit bei den sechs Brücken aus dem Hause Peter und Lochner möchte sich der Verfasser herzlich bei allen Beteiligten bedanken. Ohne die Aufgeschlossenheit der Verantwortlichen auf der Bauherrenseite sind solche Konzepte nicht zu verwirklichen. Im besonderen Maße haben sich Herr Dipl.-Ing. (FH) *Ulrich Decker* vom Tiefbauamt der Landeshauptstadt Stuttgart (La-Ferté-Steg) sowie die Herren Dipl.-Ing. *Burkhard Mohr* und Dipl.-Ing. *Helmut Groß* vom Regierungspräsidium Stuttgart (Straßenbrücken bei Winnenden und Sersheim) für die Realisierung der Entwürfe eingesetzt.

#### Literatur

[1] *Ed. Züblin AG, Stuttgart, Hrsg.:* Züblin – 100 Jahre Bautechnik 1898–1998, Stuttgart 1998.  
 [2] *Jesberg, P.:* Die Geschichte der Ingenieurbaukunst, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart 1996.  
 [3] *Pauser, A.:* Eisenbeton 1850-1950, Manz Verlag, Wien 1994.  
 [4] *VDI-Gesellschaft Bautechnik, Hrsg.:* Wegbereiter der Bautechnik, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990.  
 [5] *Billington, D. P.:* The TOWER and the BRIDGE – The New Art of Structural Engineering, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA 1985.  
 [6] *Moser, B.:* Die RHB, Teil 3, EisenbahnJOURNAL Spezial 4/1998, Hermann Merker Verlag, Fürstfeldbruck 1998.  
 [7] *Straub, H.:* Die Geschichte der Bauingenieurkunst, 4. Auflage, Birkhäuser Verlag, Basel/Boston/Berlin 1992.  
 [8] *Bill, M.:* Robert Maillart, Verlag für Architektur, Erlenbach-Zürich 1949.  
 [9] *Billington, D. P.:* Robert Maillart und die Kunst des Stahlbetonbaus, Verlag für Architektur Artemis, Zürich und München 1990.  
 [10] *Wittfoth, H.:* Triumph der Spannweiten, Beton-Verlag, Düsseldorf 1972.

[11] *Engelsmann, S.:* Integrale Betonbrücken – Entwerfen und Bemessen von Brücken ohne Lager und Fugen, Dissertation Universität Stuttgart 1998.  
 [12] *Vogel, T. und Marti, P. Hrsg.:* Christian Menn – Brückenbauer, Birkhäuser Verlag, Basel/Boston/Berlin 1997.  
 [13] *BMVBW – Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, Hrsg.:* Pfeilergestaltung von Talbrücken, Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund 2000.  
 [14] *Menn, C.:* Functional Shaping of Piers and Pylons, Structural Engineering International, Volume 8 (1998), Number 4.  
 [15] *Brühwiler, E., Menn, C.:* Stahlbetonbrücken, 3. Auflage, Springer-Verlag, Wien/New York 2003.  
 [16] *Menn, C.:* Baukultur im Brückenbau, Baukultur 1998, Heft 3.  
 [17] *Tiefbauamt Graubünden:* Sunnibergbrücke, Schweiz, Detail 1999, Heft 8, S. 1450–1451.  
 [18] *Wells, M. und Pearman, H.:* 30 Brücken, Callwey Verlag, München 2002.  
 [19] *Leonhardt, F.:* Brücken – Ästhetik und Gestaltung, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart 1982.  
 [20] *Pauser, A.:* Massivbrücken ganzheitlich betrachtet, Geschichte – Konstruktion – Herstellung – Gestaltung, Verlag Bau + Technik, Düsseldorf 2002.  
 [21] *Schüller, M. und Peter, J.:* Fuß- und Radwegbrücke über die Haldenrainstraße in Stuttgart – Entwurf und Konstruktion einer fugen- und lagerlosen Betonbrücke, Beton- und Stahlbetonbau 97 (2002), Heft 11, S. 609–614.  
 [22] *BITULEIT – Straßenverkehrs-, Leit- und Sicherheitstechnik GmbH:* Fahrbahnübergänge aus Asphalt – System: Thorma®-Joint, www.bituleit.de.  
 [23] *Schlaich, J.:* Brückenbaukunst – Wozu? Wie?, Baukultur 1998, Heft 3.  
 [24] *Peter, J. und Kunzmann, E.:* Anwendung der teilweisen Vorspannung bei Brücken, Konstruktiver Ingenieurbau, S. 143–149, Verband Beratender Ingenieure (Hrsg.), Ernst & Sohn, Berlin 1985.  
 [25] *Pötzl, M.:* Robuste Brücken – Vorschläge zur Erhöhung der ganzheitlichen Qualität, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig/Wiesbaden 1996.  
 [26] *König, G., Maurer, R. und Zichner, T.:* Spannbeton: Bewehrung im Brückenbau, Springer-Verlag, Berlin 1986.  
 [27] *Menn, C.:* Reussbrücke Wasen – Schadenanalyse und Rekonstruktionsprinzip, Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 7 (1993), S. 678–684.  
 [28] *Wicke, M.:* Die rasche Wiederherstellung der Innbrücken in Kufstein, Beton- und Stahlbetonbau 86 (1991), Heft 12, S. 297–302.



Dr.-Ing. Matthias Schüller  
 c/o Peter und Lochner, Beratende Ingenieure für Bauwesen GmbH  
 Haussmannstraße 78  
 70188 Stuttgart  
 mschueler@b-t.com