



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN Institut für Massivbau www.massivbau.tu-dresden.de



28. DRESDNER BRÜCKENBAUSYMPOSIUM

PLANUNG, BAUAUSFÜHRUNG, INSTANDSETZUNG
UND ERTÜCHTIGUNG VON BRÜCKEN

12./13. MÄRZ 2018

© 2018 Technische Universität Dresden

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichnungen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen.

Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Technische Universität Dresden
Institut für Massivbau
01062 Dresden

Redaktion: Silke Scheerer, Angela Heller

Layout: Ulrich van Stipriaan

Anzeigen: Harald Michler

Titelbild: Plougastel Bridge, entnommen aus: Fernández Ordóñez, J. A.: Eugène Freyssinet.
Barcelona: 2C Ediciones, 1978.

Druck: addprint AG, Am Spitzberg 8a, 01728 Bannewitz / Possendorf



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Institut für Massivbau <http://massivbau.tu-dresden.de>

Tagungsband 28. Dresdner Brückenbausymposium

Institut für Massivbau
Freunde des Bauingenieurwesens e.V.
TUDIAS GmbH

12. und 13. März 2018

Inhalt

Herzlich willkommen zum 28. Dresdner Brückenbausymposium	9
<i>Prof. Dr.-Ing. habil. DEng/Auckland Hans Müller-Steinhagen</i>	
Vorwort zum 28. Dresdner Brückenbausymposium	13
<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	
Bauwerksentwürfe nach RE-ING – Was ist neu?	17
<i>TRDir Prof. Dr.-Ing. Gero Marzahn, TORR'in Yvonne-Christine Gunreben</i>	
Development of cable-stayed bridges in China Entwicklung von Schrägkabelbrücken in China	25
<i>Yaojun Ge, Professor and PhD</i>	
Vom Rechnen und Wissen – Monitoring an den Talbrücken der Neubaustrecke Erfurt–Leipzig/Halle	41
<i>Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, Dipl.-Ing. Marc Wenner, Dipl.-Ing. Max Käding, Frederik Wedel M. Sc.</i>	
Nachrechnung und Ertüchtigung der Siegtalbrücke – größte Spannbetonbrücke der Sauerlandlinie (A45)	59
<i>Dr.-Ing. Karlheinz Haveresch</i>	
Der Rückbau der Lahntalbrücke Limburg (1964)	73
<i>Dr.-Ing. Stefan Franz, Dipl.-Ing. Frank Ansorge</i>	
Einsatz unbemannter Flugsysteme im Brückenbau	87
<i>Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Jens Otto, Dipl.-Ing. Cornell Weller</i>	
Eugène Freyssinet: “I was born a builder”	101
<i>Dr.-Ing. David Fernández-Ordóñez</i>	
Realisierung der Kienlesbergbrücke in Ulm – gestalterische und bauliche Herausforderungen im komplexen Baukontext	129
<i>Prof. Dr.-Ing. Jan Akkermann, Dipl.-Ing. Bartłomiej Halaczek</i>	
Die Taminabrücke in der Schweiz, der Heimat großer Brückenbauingenieure	141
<i>Dipl.-Ing. Volkhard Angelmaier</i>	
100 Jahre Dauerhaftigkeit für Brücken- und Tunnelbauwerke	157
<i>Dr.-Ing. Angelika Schießl-Pecka, Prof. Dr.-Ing. Uwe Willberg, Dipl.-Ing. Georg Müller, Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen</i>	
Lebenszyklus- und Qualitätsspezifikationen für Ingenieurbauwerke	169
<i>Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Alfred Strauss, Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Lener, Dipl.-Ing. Johannes Schmid, Ass. Prof. Jose Matos, Univ. Prof. Joan R. Casas</i>	
Versagenshäufigkeit und Versagenswahrscheinlichkeit von Brücken	189
<i>Dr.-Ing. habil. Dirk Proske</i>	
Brückenvielfalt rund um die Ostsee – Bericht zur Brückenexkursion 2017	203
<i>Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Dipl.-Ing. Sebastian May</i>	
Chronik des Brückenbaus	215
<i>Zusammengestellt von Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner</i>	
Inserentenverzeichnis	231

Die Taminabrücke in der Schweiz, der Heimat großer Brückenbauingenieure

Dipl.-Ing. Volkhard Angelmaier

Leonhardt, Andrä und Partner, Beratende Ingenieure VBI, GmbH, Stuttgart

Zusammenfassung. Die Schweiz blickt dank ihrer Geographie auf eine lange Brückenbautradition zurück und hat mit Robert Maillart (1872–1940) und Christian Menn (*1927) zwei weltbekannte Brückenbauer hervorgebracht. So hat Robert Maillart mit der Salginatobelbrücke im Kanton Graubünden eine Brücke geschaffen, die als Weltmonument-Kunstwerk ausgezeichnet wurde [1]. Seit Juni 2017 reiht sich nun mit der Tamina-Brücke ein weiteres Bauwerk in diese Tradition ein, das von der Wettbewerbsjury [2] mit folgenden Worten ausgezeichnet wurde [3]: „Der lange, schmale Bogen ist aufregend kraftvoll. Die sicher einzigartigen radialen Stützen stehen da, als hätte es nie etwas anderes gegeben. Trotz unterschiedlicher Anzahl Ständer pro Seite ist die Struktur ausgewogen und gestalterisch rundum überzeugend. Dieses Projekt bietet auch die Chance, ein Wahrzeichen für die Gegend zu werden.“

1 Einleitung

Das Taminatal bildet die südliche Spitze des Kantons St. Gallen. Es verläuft ungefähr von Süden

nach Norden und mündet beim Kurort Bad Ragaz auf rund 500 m ü. M. in das Tal des Alpenrheins. In seinem unteren Drittel fließt die Tamina durch eine tief eingeschnittene Schlucht, die die an den Talflanken liegenden Siedlungen voneinander trennt.

Erschlossen wird das Tal durch je eine oberhalb der Schlucht angelegte Straße auf beiden Talseiten, die vom Ortszentrum von Bad Ragaz ausgehen und zunächst mit mehreren Kehren in den bewaldeten steilen Hängen des Tamina- bzw. Rheintals an Höhe gewinnen. Aufgrund der geologischen Risiken genügt die linksseitige Valenserstraße auf weiten Teilen den heutigen und zukünftigen Anforderungen nicht mehr. Aus diesem Grund haben sich die Gemeinden Bad Ragaz und Pfäfers im Jahr 2005 entschlossen, ein Vorprojekt für die Instandsetzung der Valenserstraße und für die Überquerung des Taminatals mit einer Brücke zwischen Pfäfers und Valens ausarbeiten zu lassen (Bild 1). Der Vergleich zeigte, dass eine neue Talquerung mit einer ca. 400 m langen Brücke in etwa 200 m Höhe über dem Tal die wirtschaftlichere Lösung gegenüber einer Modernisierung



Bild 1 Ausgangssituation: die Taminaschlucht, Blick aus Nordwesten Foto: © Tiefbauamt Kanton St. Gallen

mit Neubau der Erschließungsstraße mit weiterhin bestehenden geologischen Risiken darstellt.

2 Der Wettbewerb

Im Jahr 2007 wurde vom Tiefbauamt Kanton St. Gallen ein öffentlicher Projektwettbewerb für die Überbrückung des Taminatals ausgeschrieben. Die Bearbeitungstiefe der eingereichten Wettbewerbsentwürfe musste eine belastbare Überprüfung und Beurteilung hinsichtlich der Kriterien *Technische Machbarkeit*, *Erscheinungsbild* sowie *Kosten und Wirtschaftlichkeit* ermöglichen. Die entscheidenden Rahmenbedingungen waren neben den allgemeinen Grundlagen (Normenwerk, Trassierung, Geometrie) im Wesentlichen durch die Gesichtspunkte Geologie und Umwelt (Lebensraum, Schongebiet und Belange des Landschaftsschutzes) umschrieben.

Der Grundgedanke des Wettbewerbsentwurfes bestand in der stützenfreien Überspannung der Taminaschlucht mit einer Bogenkonstruktion und einer ebenfalls stützenfreien Überbrückung der Seitenfelder bis zu den Widerlagern mit einer biegesteifen Rahmenkonstruktion (links oben in Bild 2). Dieser Lösungsansatz setzte sich gegen drei weitere Lösungen der engeren Wahl durch (Bild 2, oben rechts und unten).

3 Beschreibung des Bauwerksentwurfes

Aus den Randbedingungen ergaben sich für das Entwurfskonzept folgende Prämissen:

- ❑ Das Haupttragwerk wird unterhalb der Fahrbahn angeordnet.
- ❑ Die Taminaschlucht wird stützenfrei überspannt (Bogen mit ca. 260 m Spannweite).
- ❑ Die Endfelder in den Hangbereichen werden ebenfalls stützenfrei überspannt (biegesteife Rahmen mit 89 m Spannweite – Seite Bofel – und 48,5 m Spannweite – Seite Berg).
- ❑ Die Herstellung der Hauptöffnung (Bogenbereich) erfolgt im Freivorbau mit Hilfsabspannungen.

3.1 Gestaltung

Übergeordnetes Ziel des Entwurfes war es, ein Ingenieurbauwerk zu schaffen, das sich besonders behutsam und sorgfältig in das Gelände einpasst und gleichzeitig durch sein Erscheinungsbild eine eigene, unverwechselbare Identität entwickelt. Die großzügige Bogenlösung über der Ta-

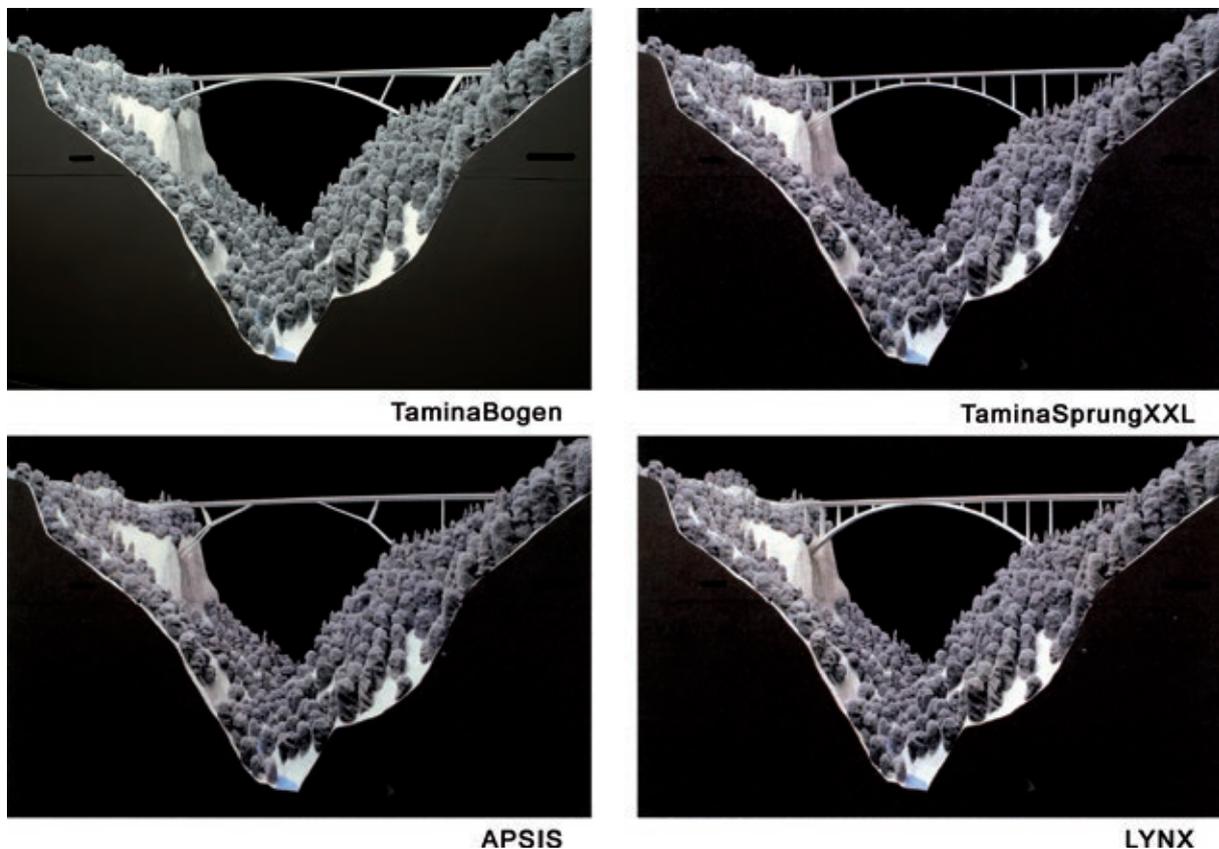


Bild 2 Wettbewerb – engere Wahl, links oben der Siegerentwurf Fotos: © Tiefbauamt Kanton St. Gallen; Modell Siegerentwurf: © Gnädiger Architektur Modellbau GmbH



Bild 3 Ansichten

Grafik: © LAP

minaschlucht in Verbindung mit der stützenfreien Überspannung der seitlichen Hangbereiche führt zu einem hohen Maß an Transparenz.

Durch die Verschmelzung des Bogens mit dem Überbau im Scheitelbereich wird dieser Eindruck der Filigranität noch verstärkt, da zwischen den Kämpferbereichen nur noch drei zusätzliche Bogenständer erforderlich werden, was zu sehr großzügigen Öffnungen zwischen Bogen und Überbau führt.

Die radiale Anordnung der Bogenständer bewirkt eine weitere Steigerung dieses harmonischen Gesamteindrucks, nicht zuletzt auch deshalb, weil die Neigungen der Aufständungen auf den beiden Kämpfern, die gleichzeitig als Stiele des Endrahmens fungieren, in etwa die Neigung der Talflanken aufnehmen und dadurch den Eindruck vermitteln, die Brücke entwickelt sich ganz selbstverständlich, natürlich und organisch aus dem Tal heraus (Bild 3).

3.2 Konstruktive Ausbildung

Die konstruktive Umsetzung des Entwurfsgedankens erfolgte konsequent entsprechend den statisch-konstruktiven Erfordernissen unter Berücksichtigung der entsprechenden Belange aus dem Bauablauf und der Herstellung.

Der Bogen wird als Stahlbetonkonstruktion mit einer Stützweite von ca. 260 m ausgeführt, die im Baugrund eingespannt ist und daher im Kämpferbereich mit 4,00 m die größte Bauhöhe besitzt, die zum Scheitel hin auf 2,20 m abnimmt (Bild 4). Die Breite des Bogens ist ebenfalls veränderlich und variiert zwischen 8,50 m (Seite Berg) bzw.

9,00 m (Seite Bofel) an den Kämpfern und 5,00 m im Scheitelbereich. Über weite Bereiche kann der Bogen als Hohlkasten ausgebildet werden, zwischen den beiden letzten Aufständungen und dem Scheitel liegt ein massiver Querschnitt vor.

Die Verbindung zwischen Überbau und Bogen erfolgt im Scheitelbereich monolithisch, zu den Kämpfern hin werden drei zusätzliche Bogenscheiben als Massivquerschnitte angeordnet (Bild 4). In der Ansicht sind diese Bogenscheiben bewusst schlank ausgeführt – sie wirken quasi als Pendelstäbe –, im Querschnitt erhalten sie einen leichten Anzug zum Bogen hin. Die Aufständung im Bereich der Kämpfer unterscheidet sich grundsätzlich von den Pendelscheiben. Ihnen kommt neben der Aufständung des Überbaus in erster Linie auch die Funktion eines Rahmenstieles als Teil der Endfeldrahmen in den Seitenfeldern zu.

Erst durch diese biegesteife Rahmenkonstruktion (Überbau als Rahmenriegel, Aufständung als Rahmenstiel) ist die stützenfreie Überbrückung der Seitenfelder (89,00 m Seite Bofel; 48,50 m Seite Berg) wirtschaftlich und gestalterisch ansprechend realisierbar. In der Ansicht erhalten die als Hohlkastenquerschnitte ausgeführten Rahmenstiele einen deutlichen Anzug zum Kämpfer hin, während die Bauhöhe zum Überbau hin aus der Rahmenwirkung merklich zunimmt. Ihre Funktion innerhalb des (Rahmen-) Tragwerkes wird klar ablesbar, vor allem auch in der Unterscheidung zu den pendelartig ausgeführten restlichen Bogenscheiben (Bild 4).

Die Ausführung des Überbaues erfolgt als Spannbeton-Durchlaufträger. Die Stützweiten ergeben sich wegen der monolithischen Verbindung mit dem Bogen und infolge der Anordnung der Auf-

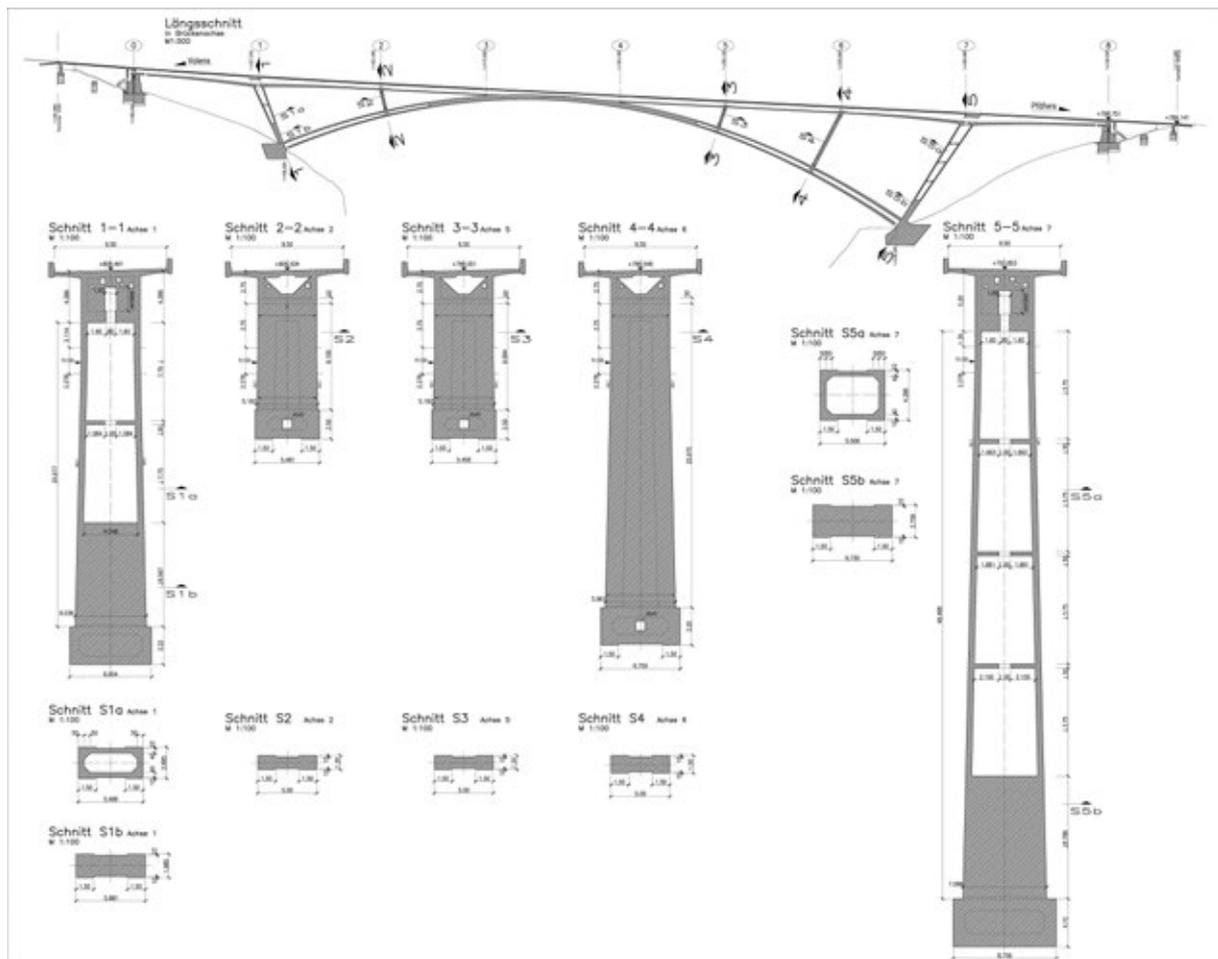


Bild 4 Bogenständer und Rahmenstiele

Zeichnung: © LAP

ständerungen zwischen 38,45 m und 62,70 m. Durch die Schrägstellung der Rahmenstiele können die Spannweiten in den Endfeldern nochmals deutlich reduziert werden (Seite Bofel von 89,00 m auf 62,70 m – Seite Berg von 48,50 m auf 38,45 m). Der Hohlkastenquerschnitt wird über weite Bereiche konstant mit einer Bauhöhe von 2,75 m ausgeführt. Im Bereich der Endfelder erhält er entsprechend seiner Funktion als Rahmenriegel eine Anvoutung auf 4,75 m bzw. 5,00 m (Seite Bofel) und 4,30 m bzw. 4,50 m (Seite Berg). Mit der Wahl der Breite des Hohlkastens von 5,00 m ergeben sich Kragarmlängen (inklusive Brüstung) von 2,73 m. Es liegt somit ein ausgewogener Querschnitt vor – eine Quervorspannung ist nicht erforderlich.

Durch die monolithische Verbindung der Aufständerungen mit Bogen und Überbau werden Lager nur an den Widerlagern erforderlich, an denen zum Ausgleich der Längenänderungen ebenfalls noch Fahrbahnübergänge an beiden Talseiten angeordnet werden. Für den Überbau ergibt sich somit eine Gesamtlänge zwischen den Widerlagerachsen von $48,5 \text{ m} + 265 \text{ m} + 89 \text{ m} = 402,5 \text{ m}$. In den Endbereichen vor den Widerlagern wird

der Überbau wegen der Linienführung im Grundriss gekrümmt ausgeführt. Die sich daraus ergebenden zusätzlichen Beanspruchungen sind von dem Hohlkasten problemlos aufzunehmen.

Sämtliche Tragwerksteile werden als Stahl- oder Spannbetonkonstruktion (Überbau) ausgeführt. Mit dieser Materialwahl ist eine konsequente Umsetzung des Gesamtkonzeptes in ein konstruktiv sinnvolles Tragwerk schlüssig und vor allem auch wirtschaftlich möglich.

3.3 Fortgeschriebener Bauwerksentwurf

Im Dezember 2008 wurde Leonhardt, Andrä und Partner mit den weiteren Planungsleistungen beauftragt. Im Frühjahr 2011 konnte das sogenannte „Bauprojekt“ abgeschlossen werden. Dies entspricht auf deutsche Verhältnisse übertragen in etwa der Planungsstufe des Entwurfes gemäß den Richtlinien für das Aufstellen von Bauwerksentwürfen für Ingenieurbauten (RAB-ING) des BMVBS, heute BMVI, wobei allerdings im Bereich der Tragwerksplanung bereits eine deutlich größe-

re Tiefe (ca. 30 % der Genehmigungsplanung) generiert wurde. Dies ist nicht zuletzt dem Umstand geschuldet, dass in der Schweiz die Prüfsingenieure bereits sehr früh in das Projekt eingebunden werden.

Die Entwurfsplanung war im Zuge des Bauprojektes bis zu einer ausschreibungsreifen Tiefe zu bearbeiten. Insbesondere die statische Berechnung wurde dabei weit über eine reine Vorstatik hinaus intensiviert, um hinsichtlich der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit die bei diesem komplexen Brückenentwurf schon im Vorfeld zwingend erforderliche Sicherheit zu gewährleisten. Allein für die Nachweise in Brückenlängsrichtung mussten dabei inklusive der einzelnen Freivorbauzustände über fünfzig verschiedene Bauzustände untersucht werden (Bild 5). Als außergewöhnliche Einwirkungen waren dabei neben Erdbeben im Bau- und Endzustand auch der Lastfall Kabelausfall zu berücksichtigen. Stabilitätsuntersuchungen nach Theorie 2. Ordnung wurden sowohl für den Endzustand als auch für mehrere Bauzustände unter Berücksichtigung des Steifigkeitsabfalles aus Rissbildung untersucht.

Neben den globalen Nachweisen in Brückenlängsrichtung ist das Hauptaugenmerk bereits sehr genau auf einzelne lokale Bereiche gelegt worden. In diesem Zusammenhang wären u. a. die Bogenkämpfer, die Rahmenecken zwischen den Rahmenstielen und den Endfeldern des Überbaus, der Verschneidungsbereich zwischen Überbau und Bogen und diverse Lasteinleitungen von Abspannungen zu nennen. Hinsichtlich des Anschlusses der Bogenscheiben an den Bogen bzw. den Überbau kamen alle Beteiligten einvernehmlich zu dem Ergebnis, diesen in Form eines Betongelenkes auszubilden. Somit wird der Entwurfs-

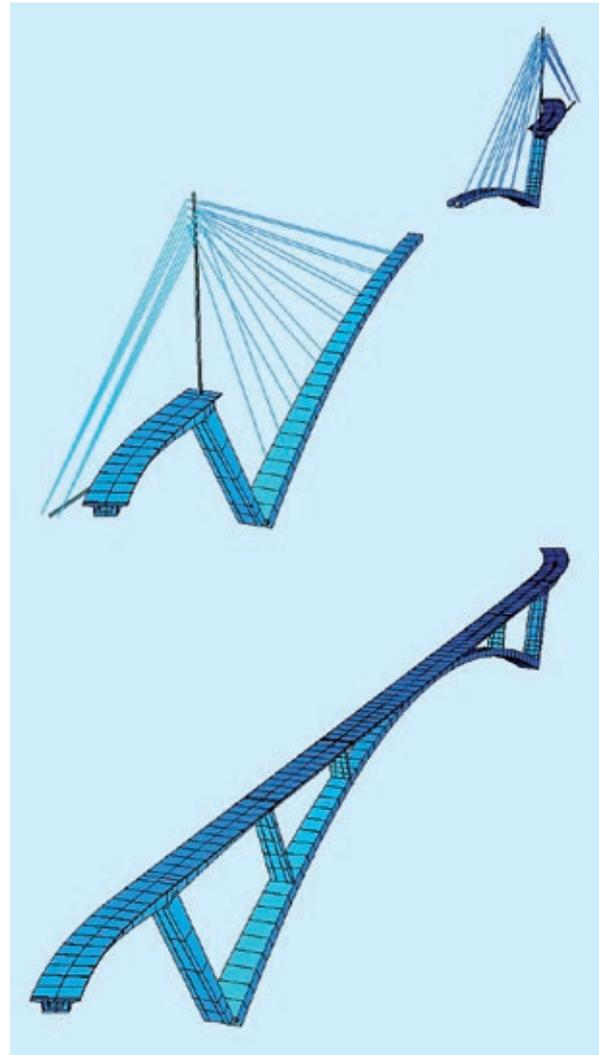


Bild 5 Statisches System im Bauzustand (oben) und im Endzustand (unten) Grafiken: © LAP

gedanke der Pendelscheiben statisch konsequent umgesetzt. Die Zwangsbeanspruchungen können darüber hinaus weiter minimiert werden (Bild 6).

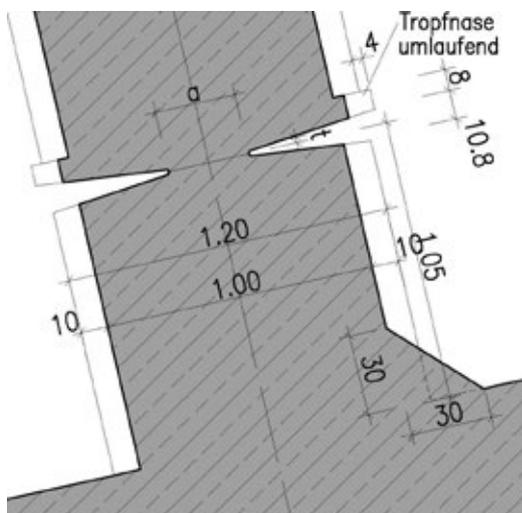


Bild 6 Betongelenke



Zeichnung und Foto: © LAP

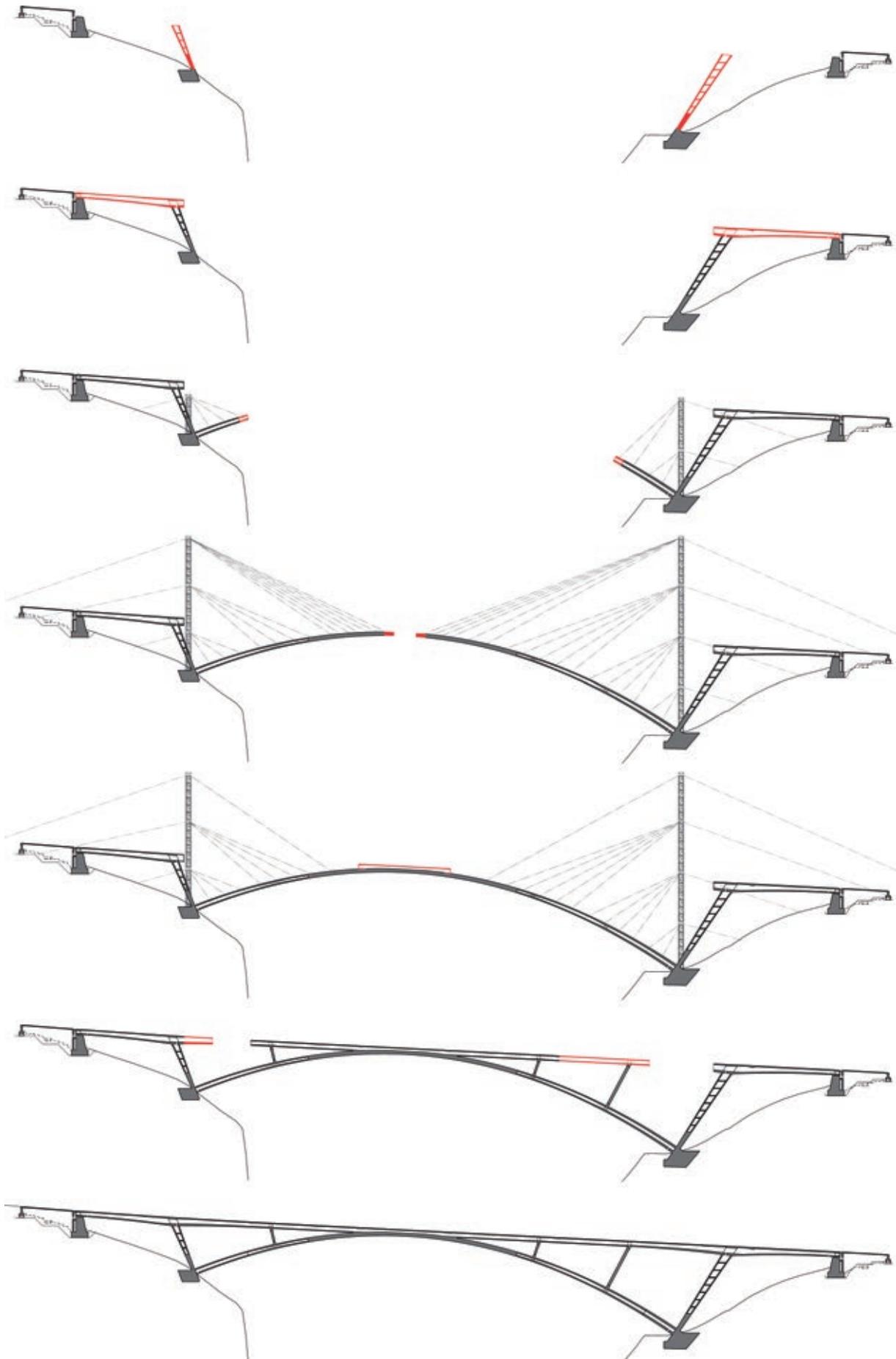


Bild 9 Bauablauf mit Hilfsabspannung

Grafik: © LAP

ist ein Prozedere, das sich insbesondere bei anspruchsvollen Baumaßnahmen bestens bewährt hat, wird doch nachhaltig verhindert, dass ein fremder Quereinsteiger in den Leistungsphasen 4 und 5 bewusst oder mangels Kenntnis das Bauwerk „kaputtrechnet“.

4.2 Herstellung und Bauausführung

Der Kerngedanke der Herstellung der Brücke besteht im Freivorbau mit Rückverhängung des Bogens. Die Rahmenkonstruktionen der Seitenfelder werden auf Lehrgerüst hergestellt, ebenso wie der Überbau, dessen Herstellung auf einem bogengestützten Gerüst erfolgt (Bild 9). Die steilen Talflanken und die Bereiche der Tamina selbst bleiben somit vollständig unberührt. Ein Höchstmaß an Rücksichtnahme auf die sensiblen Schongebiete ist somit sichergestellt.

4.2.1 Baustelleneinrichtung

Angesichts der Steilheit des Geländes war die Erschließung der Widerlager- und Kämpferbereiche eine besondere Herausforderung für die ARGE Taminaabücke (Bild 10).



Bild 10 Zuwegung Kämpferseite Pfäfers
Foto: © Tiefbauamt Kanton St. Gallen

Für die Erstellung der Kämpfer und der Vorlandbereiche wurden im Bereich der Kämpfer zwei große Turmdrehkräne installiert. Für die Montage der Stahlpylone wurde eine Hubleistung von 10 t bei einer Ausladung von 23 m benötigt. Zusätzlich musste als weitere Randbedingung ein Überschwenken der Pylone möglich sein. Dies erforderte auf der Seite Pfäfers einen Turmdrehkran mit einer Ausladung von 75 m und einer Hakenhöhe von 115 m. Damit war der Kran auf der Seite Pfäfers der höchste bisher in Europa freistehende Turmdrehkran (s. Bild 12 in Abschn. 4.2.3). Nach der Fertigstellung der beiden Vorlandtragwerke wurde zur weiteren Andienung der Bogenbereiche außerhalb der Schwenkbereiche der beiden Turmdrehkräne sowie des Überbaus über dem Bogen ein Kabelkran aufgebaut. Dabei wurde für den Zeitraum der Bogenherstellung das Tragseil durch die Pylone geführt. Nach Herstellung des Bogens und dem Abbau der Pylone wurde zur Überbauerstellung zusätzlich noch eine Schwenkeinrichtung für den Seilkran eingebaut, damit der gesamte Arbeitsbereich des Überbaus auch in Querrichtung bestrichen werden kann.

4.2.2 Herstellung der Kämpfer

Der Baubeginn erfolgte jeweils bei den beiden Kämpfern und den Widerlagern. Die Kämpfer wurden auf dem in einer Tiefe von ca. 6 m anstehenden Fels gegründet. Die Baugrubensicherung erfolgte durch eine vernagelte Spritzbetonsicherung (Bild 11). Insgesamt wurden beim Kämpfer Pfäfers 2.000 m³ Beton und 300 t Betonstahl und beim Kämpfer Valens 1.200 m³ Beton und 180 t Betonstahl eingebaut. Der obere Bereich des Kämpferpfeilers wurde mit einem Beton der Festigkeitsklasse C45/C55 hergestellt, für den unteren Bereich war ein Beton mit der Festigkeitsklasse C30/37 ausreichend. Um die Zwangsspannungen bei den Massenbetonen der Kämpfer zu begrenzen, wurden die Temperaturdifferenz infolge der Hydratationswärme des Betons in der Ausschreibung auf 30 K zwischen Kern und Oberfläche und die maximale Betontemperatur auf 60 °C festgelegt und dazu entsprechende Betonrezepturen mit einem Hochofenzement CEM III/B 32,5 entwickelt. Die bei der Ausführung über zwei Wochen mittels Temperaturfühlern gemessenen Werte lagen dann auch bei einer Temperaturdifferenz von 26 K und einer maximalen Kerntemperatur von 58 °C und somit im grünen Bereich.

4.2.3 Herstellung des Bogens

Die Herstellung des Bogens erfolgte im Freivorbau mit einer temporären Abspannung (Bild 12).



Bild 11 Kämpfer Seite Pfäfers

Foto: © LAP

je 150 mm^2 und einer Zugfestigkeit von 1.860 N/mm^2 . Die Kabel wurden auf der Seite Pfäfers auf vier Querträgerebenen und auf der Seite Valens auf drei Querträgerebenen angeordnet. Die maximale Kabelkraft betrug 2250 kN . Auf diesen einzelnen Querträgerebenen wurden auch die Halte- und die Rückhalte-kabel gespannt, wobei jedes Kabel mit einer Hohlkolbenpresse bestückt war.

Die Herstellung der einzelnen Bogenelemente erfolgte von der Seite Valens und der Seite Pfäfers nach einer gewissen Einarbeitungszeit parallel im Wochentakt. Der Bauablauf stellte sich wie folgt dar (s. a. Bild 9). Bei einer Betonfestigkeit von

Die hierfür erforderlichen Hilfspylone aus Stahl mit einer Höhe von 107 m auf der Seite Pfäfers und 78 m auf der Seite Valens wurden seitlich auf den Kämpferfundamenten aufgestellt und durch ein Kalottenlager darauf gelenkig gelagert. Die Halte- und Rückhalte-kabel bestanden aus 7 bis 24 weißen PE-ummantelten Monolitzen der Stahlgüte St 1680/1860 mit einer Querschnittsfläche von

25 N/mm^2 wurde am Montagmorgen die Freivorbaurüstung des Bogens (Bild 13) abgese-nkt und in den nächsten Bauabschnitt vorgefahren. Parallel dazu wurden die Spitze des Bogens messtechnisch erfasst und die Ist-Werte dem Projektverfasser übermittelt. Diese Ist-Werte wurden dann mit den Soll-Werten abgeglichen, gegebenenfalls korrigiert und für den nächsten Bauabschnitt der



Bild 12 Freivorbau im Wochentakt; zu sehen sind die Hilfspylone und Abspannungen sowie rechts (Seite Pfäfers) der höchste freistehende Turmdrehkran Europas

Foto: © LAP



Bild 13 Freivorbaurüstung Bogen Foto: © LAP



Bild 14 Spannen der Haltekabel Foto: © LAP

Baustelle übermietet, damit nachmittags die Freivorbaurüstung neu eingerichtet werden konnte. Ab Dienstag erfolgten dann die Schal- und Bewehrungsarbeiten für das nächste Bogenelement. Parallel dazu wurden die Halte- und Rückhalte-kabel am vorherigen Bogenelement eingebaut und entsprechend dem Spannprogramm ab einer Betonfestigkeit von 38 N/mm² in bis zu 30 Teilschritten gleichzeitig im Wechsel gespannt (Bild 14). Hierbei war zu beachten, dass die Spannkraft mit den zulässigen Pylon- und Bogenverformungen übereinstimmen, so dass sich die berechnete Bogensolllage einstellen konnte. Während der gesamten Spannarbeiten wurden die horizontalen Auslenkungen des Pylons und die Höhe des vordersten Bogenabschnitts messtechnisch überwacht und mit den berechneten Vorgaben verglichen. Am Freitag erfolgte dann das Betonieren des Bogenelements.

Der Bogenschluss (Bild 15) erfolgte mit einem Bogenelement mit 3 m Länge und wurde mit der

Freivorbaurüstung der Seite Pfäfers nach dem Abbau der Freivorbaurüstung auf der Seite Valens hergestellt. Durch die laufende messtechnische Überwachung der Bogenherstellung betrug die Höhenabweichung bei der Schlusslücke nur 2,5 cm. Diese Differenz wurde durch ein geringes Entspannen der Rückhalte-kabel auf der letzten Querträger-ebene des Pylons auf der Seite Pfäfers ausgeglichen.

Nach dem Bogenschluss wurden die Halte- und Rückhalte-kabel sowie die Hilfspylone wieder abgebaut. Hierbei mussten die Halte- und Rückhalte-kabel je Seilebene gleichzeitig entspannt und abgebaut werden, so dass, wie beim Spannen der Kabel, die maximal zulässige horizontale Differenzkraft je Querträger-ebene nicht überschritten wurde. Auch beim Ausbau der Kabel wurden die Verformungen der Hilfspylone sowie des Bogens laufend messtechnisch überwacht und ständig mit den Vorgaben des Planverfassers verglichen.



Bild 15 Bogenschluss

Foto: © Tiefbauamt Kanton St. Gallen



Bild 16 Herstellung des Überbaus parallel zu den Bogenständern

Foto: © Tiefbauamt Kanton St. Gallen

4.2.4 Herstellung des Überbaus

Der Überbau im Bogenbereich wird abschnittsweise mit einem auf dem Bogen abgestützten Traggerüst erstellt. Dabei wurde zuerst der 50 m lange Bauabschnitt im Bereich des Bogenscheitels hergestellt und anschließend der Überbau in vier weiteren, jeweils 20–30 m langen Bauabschnitten nach beiden Seiten bis zum Anschluss an die Vorlandtragwerke betoniert (vgl. Bild 9). Um den schlanken Bogen während der Herstellung möglichst wenig zu belasten, wurden die jeweiligen Bauabschnitte etappenweise betoniert: zuerst auf beiden Seiten jeweils Bodenplatte und Stege (Trog) und anschließend nacheinander die Fahrbahnplatte. Damit können der Trog schon zur Abtragung der Betonierlasten der Fahrbahnplatte mit herangezogen und die Belastung des Traggerüsts entsprechend verringert werden.

4.2.5 Bogenständer mit Betongelenken

Parallel zur Überbauerstellung erfolgte die Herstellung der massiven radialen Bogenständer mit einer Kletterschalung (Bild 16). Als Besonderheit ist hierbei die Herstellung der vorgespannten Betongelenke, mit denen die Bogenständer an den Bogen bzw. den Überbau angeschlossen werden, hervorzuheben. Die Vorspannung erfolgte mit bis

zu 16 Gewindestäben $\varnothing 40$ mm aus St 950/1050. Als Beton kam ein selbstverdichtender Beton der Festigkeitsklasse C45/55 zur Ausführung. Dabei wurde im Vorfeld ein Betongelenk-Musterelement im Maßstab 1:1 hergestellt und mit einer Betonsäge anschließend wieder durchtrennt. Ziele dieses Musterelements waren die Prüfung und der Nachweis der Qualität des Betongelenks und des ordnungsgemäßen Einbringens und Verdichtens des Betons.

4.2.6 Die Ästhetik des Bauens

Neben der technischen Meisterleistung der ausführenden Firmen wohnt dem Herstellungsprozess ein Zauber inne, der sich nicht nur – wie bei Hermann Hesse – am Anfang zeigte, sondern sich über die gesamte Bauzeit hinweg offenbarte und teilweise für eine geradezu mystische Atmosphäre sorgte (Bild 17).

5 Zusammenfassung

Durch die Überbrückung der Taminaschlucht mit einer großzügigen Bogenlösung in Verbindung mit einer stützenfreien Überspannung der seitlichen Hangbereiche in Form biegesteifer Rahmenkonstruktionen wird eine Überquerung des Tales



Bild 17 Mystische Atmosphäre

Foto: © Tiefbauamt Kanton St. Gallen

ermöglicht, die infolge der Reduzierung der Stützpunkte auf ein Minimum (zwei Bogenkämpfer und zwei Widerlager) größtmögliche Rücksicht auf die Geländesituation nimmt.

Die Anordnung der gesamten Brückenkonstruktion unterhalb der Fahrbahn führt dazu, dass die Brücke in ihrem Erscheinungsbild deutlich zurücktritt und der übergeordnete Landschaftscharakter im Wesentlichen unverändert bleibt. Gleichzeitig entwickelt die Konstruktion durch die Kombination einer Bogenlösung mit einer Rahmenlösung in den Seitenfeldern eine eigene Identität mit einer unverwechselbaren Formensprache von höchster Integrität.

Günstige Brücken unterscheiden sich von billigen Lösungen in ihrem grundlegenden Anspruch einer soliden technischen Machbarkeit durch materialgerechte Umsetzung des statisch als richtig Er-

kannten, was zwangsläufig zu einem stimmigen Erscheinungsbild führt, und in ihrem Anspruch, über die Herstellungskosten hinaus wirtschaftliche Lösungen umzusetzen, die die Unterhaltung und den Betrieb auf ein Minimum reduzieren.

Nach vier Jahren Bauzeit wurde die Taminabrücke am 22. Juni 2017 unter begeisterter Teilnahme der Bevölkerung offiziell eröffnet und dem Verkehr übergeben (Bild 18). Aus der von der Wettbewerbsjury vorhergesagten Chance, ein Wahrzeichen der Gegend zu werden (Bild 19), wurde Realität, was nicht zuletzt die uneingeschränkte Identifikation der Einwohner mit der Taminabrücke zeigt.

Weitere Veröffentlichungen zum Projekt

- ❑ Eilzer, W.: Taminabrücke bei Pfäfers in der Schweiz. *Brückenbau Construction & Engineering* (2009) 1, S. 36–41.
- ❑ Eilzer, W.; Angelmaier, V.; Klug, A.: Neuartige Konstruktion einer Bogenbrücke über die Taminaschlucht in der Schweiz. *Bauingenieur* 87 (2012), S. 81–92.
- ❑ Haug, H.: Taminabrücke: Herstellung und Montage der größten Bogenbrücke in der Schweiz. *Brückenbau Construction Engineering* (2016) 1/2, S. 14–27.
- ❑ Angelmaier, V.: Die größte Bogenbrücke in der Schweiz in der Taminaschlucht ist bald fertig. *INGBWaktuell* (2016) 04-05, S. 06–07.



Bild 18 Eröffnung der Taminabrücke

Foto: © LAP



Bild 19 Die fertige Brücke

Foto: © Bastian Kratzke

Der vorliegende Beitrag beruht zum Teil auf diesen Publikationen.

Literatur

- [1] ASCE American Society of Civil Engineers (Ed.): ASCE Historical Civil Engineering Landmark: Salginatobel Bridge. <http://www.asce.org/project/salginatobel-bridge/> (Abgerufen am 3.1.2018).
- [2] Projektwettbewerb "Brücke Tamina (Bofel)" (Objekt-Nr. B37.2.076.006), ausgelobt vom Tiefbauamt des Kantons St. Gallen. 2.5.2007, www.tiefbau.sg.ch.
- [3] Tiefbauamt des Kantons St. Gallen: Bericht des Preisgerichtes, Objekt: Brücke Tamina (Bofel), 12.3.2008.

Projektbeteiligte

Bauherr:	Tiefbauamt Kanton St. Gallen, Sektion Kunstbauten, St. Gallen (Schweiz)
Projektverfasser:	Leonhardt, Andrä und Partner Beratende Ingenieure VBI AG, Stuttgart
Planungspartner:	dsp Ingenieure & Planer AG, Greifensee (Schweiz) Smolczyk & Partner GmbH, Stuttgart
Prüfingenieure:	Prof. Thomas Vogel, ETH Zürich (Schweiz) Pascal Klein, dipl. Ing. ETH/SIA/USIC, Zürich (Schweiz)
Baugrundgutachter:	Dr. von Moos AG, Zürich (Schweiz)
Bauleitung:	Leonhardt, Andrä u. Partner Beratende Ingenieure VBI AG, Stuttgart dsp Ingenieure & Planer AG, Greifensee (Schweiz)
Bauausführung:	ARGE Taminabrücke (STRABAG AG, J. Erni AG, Meisterbau AG)
Planung Lehrgerüste:	LGB – Lehrgerüst GmbH, Meiningen

9	Herzlich willkommen zum 28. Dresdner Brückenbausymposium
13	Vorwort zum 28. Dresdner Brückenbausymposium
17	Bauwerksentwürfe nach RE-ING – Was ist neu?
25	Development of cable-stayed bridges in China
41	Vom Rechnen und Wissen – Monitoring an den Talbrücken der Neubaustrecke Erfurt–Leipzig/Halle
59	Nachrechnung und Ertüchtigung der Siegtalbrücke – größte Spannbetonbrücke der Sauerlandlinie (A45)
73	Der Rückbau der Lahntalbrücke Limburg (1964)
87	Einsatz unbemannter Flugsysteme im Brückenbau
101	Eugène Freyssinet: “I was born a builder”
129	Realisierung der Kienlesbergbrücke in Ulm – gestalterische und bauliche Herausforderungen im komplexen Baukontext
141	Die Taminabrücke in der Schweiz, der Heimat großer Brückenbauingenieure
157	100 Jahre Dauerhaftigkeit für Brücken- und Tunnelbauwerke
169	Lebenszyklus- und Qualitätsspezifikationen für Ingenieurbauwerke
189	Versagenshäufigkeit und Versagenswahrscheinlichkeit von Brücken
203	Brückenvielfalt rund um die Ostsee – Bericht zur Brückenexkursion 2017
215	Chronik des Brückenbaus
231	Inserentenverzeichnis