



Die neue Saanequerung: modernes Stahlfachwerk für historischen Eisenbahnviadukt

Diego Somaini
Armand Fürst

Die neue Saanequerung: modernes Stahlfachwerk für historischen Eisenbahnviadukt

Der knapp 120 Jahre alte Saaneviadukt der Eisenbahnstrecke Bern–Neuenburg, ein schweizerisches Baudenkmal von nationaler Bedeutung, wird erneuert und auf Doppelspur ausgebaut. Mit dem Ausbau auf Doppelspur werden, nebst der Instandsetzung der Natursteinviadukte, die Schottertröge auf den Viadukten erneuert und das historische und filigrane Eisenfachwerk der 64 m langen Hauptöffnung über die Saane ersetzt. Wie das historische Vorbild überbrückt die neue Saanequerung die Hauptöffnung zwischen den Flusspfeilern der Natursteinviadukte mit einem Stahlfachwerk, welches neu interpretiert und in Stahl-Betonverbundbauweise erstellt wird. Für den Ersatz der Saanequerung sowie die Erneuerung und den Ausbau auf Doppelspur des gesamten Viadukts darf der Bahnbetrieb während einer fünföchigen Totalsperre unterbrochen werden. Deshalb wird die neue Saanequerung vor der Totalsperre in provisorischer Lage auf einem Lehrgerüst erstellt und während der Totalsperre quer eingeschoben.

Sichworte Brückenbau; Stahlbrücken; Fachwerkträger; Natursteinviadukt

1 Saaneviadukt – historischer Rückblick

Der zwischen 1899 und 1901 erbaute Saaneviadukt reiht sich unter die bedeutendsten Schweizer Eisenbahnviadukte ein, welche um die Jahrhundertwende gebaut wurden. Seine Stellung als Denkmal von nationaler Bedeutung verdankt er der beachtlichen ingenieurtechnischen Leistung, seiner einfachen und klaren Gestaltung sowie seiner prägenden Wirkung auf die Landschaft. Der Saaneviadukt ist Teil der Bahnstrecke Bern–Neuenburg und quert die Gümmenenau, eine ca. 800 m breite Talebene, welche nach dem Gletscherrückzug durch den Flusslauf der Saane gebildet wurde. Der Saaneviadukt ist, wie der Rhein-Viadukt bei Eglisau (1898) oder der Sitterviadukt der Bodensee-Toggenburg-Bahn (1908–1910), als Natursteinviadukt mit hohen Pfeilern und einer großen Mittelöffnung über dem Flusslauf konzipiert, welcher durch ein filigranes Stahlfachwerk überbrückt wird (Bild 1). Als Verlängerung des Viadukts Richtung Osten und zur Querung der zweiten Hälfte der Talebene folgt ein imposanter, 400 m langer und ca. 25 m hoher, künstlich erstellter Erddamm, auf welchem das einspurige Bahngleis bis zum angrenzenden Geländeplateau führt.

1.1 Bestehende Saanequerung

Das Eisenfachwerk, welches die Saane mit einer Spannweite von ca. 64 m überspannt, besteht aus zwei in einem

The new bridge over the Saane: modern steel girder for the historic railway viaduct

The almost 120-year-old Saanen viaduct on the Berne–Neuchâtel railway line, a Swiss monument of national importance, is being renovated and extended to double track. The extension to double track will involve the repair of the masonry, the renewal of the deck plates on the viaducts and the replacement of the historic thin iron girder of the 64 m long main opening over the Saane. Like the historical bridge, the main opening between the river piers of the masonry viaducts is crossed with a steel girder with modern design and built in steel-concrete composite construction. For the replacement of the bridge over the Saane and the renewal and extension to double track of the entire viaduct, railway traffic may be totally interrupted during five weeks. For this reason, the new bridge over the Saane will be entirely constructed beside the railway viaduct before the total closure and will be transversely moved during the total closure.

Keywords bridge building; steel bridge; steel girder; masonry viaduct

Abstand von 4 m parallel zueinander angeordneten Fachwerkträgern mit 7 m Höhe (Bild 2). Die aus Flusstahl gefertigten, genieteten Fachwerkträger sind über insgesamt neun Felder mit gekreuzten Diagonalen ausgefacht und in einem regelmäßigen Abstand von 7 m durch Querschotten verbunden. Diese stabilisieren die Fachwerkurten und sind zugleich Auflager für die Fahrbahnlängsträger, auf welchen die Brückenhölzer der Gleise befestigt sind. Die T-Profile der Fachwerkurten bestehen aus mehreren übereinandergeschichteten und mittels Nieten verbundenen Stahllamellen und Winkelblechen, welche je nach Beanspruchung in der Anzahl Schichten abgestuft sind. Die Fachwerkpfosten und die Diagonalstäbe sind in gleicher Bauweise als Kreuzprofile ausgebildet, während einzig für die Fahrbahnlängsträger gewalzte Stahlträger mit 0,45 m Profilhöhe verwendet wurden. Zur Reduktion der Spannweiten der Fahrbahnlängsträger wurden die Querträgerabstände auf 3,5 m reduziert, wofür das Fachwerk mit zusätzlichen Pfosten ergänzt wurde, welche sich auf die Kreuzpunkte der Diagonalstreben abstützen.

Das etwa 240 t schwere Eisenfachwerk wurde von der Firma Wartmann & Walleter aus Brugg erstellt und zwischen Juli und September 1900 montiert. Nach einer Belastungsprobe am 10. Juni 1901 wurde die Bahnstrecke am 1. Juli 1901 eröffnet [1]. Der Saaneviadukt wird heute als Teil der Bahnstrecke Bern–Neuenburg durch die Privatbahn BLS AG betrieben und unterhalten.



Bild 1 Saaneviadukt: Blickrichtung Süden
Saane viaduct: view direction south



Bild 2 Eisenfachwerk der historischen Saanequerung: Blickrichtung Norden
Steel girder of the historic bridge over the Saane: view direction north

1.2 Bauliche Eingriffe

Infolge der eintretenden und kontinuierlich zunehmenden Horizontalverschiebung der Uferpfeiler gegen den Flusslauf wurde der Saaneviadukt im Jahr 1944 mit einer am Eisenfachwerk angebrachten Verspanneinrichtung versehen. Mit der Verspanneinrichtung, welche in Bild 2 auf der rechten Fachwerkseite erkennbar ist, wurde das Eisenfachwerk auf der Höhe der Brückenlager durch eine Horizontalkraft von ca. 1,5 MN gegen die Natursteinviadukte verspannt, womit die horizontalen Pfeilerauslenkungen bei der Saanequerung besser kontrolliert werden konnten. Die kontinuierlich zunehmenden horizontalen Verschiebungen der Uferpfeiler sind eine Folge der nicht vollständig reversiblen Temperaturexpansion der langen Natursteinviadukte, bedingt durch die fehlende Zugfestigkeit des Mauerwerksverbands [2–4]. Ähnliche Verspanneinrichtungen wurden zur gleichen Zeit in vergleichbare Brückenbauwerke, wie z. B. dem Rheinviadukt in Eglisau, eingebaut [3].

Im Zuge der Elektrifizierung der Bahnlinie wurde das Eisenfachwerk 1960 verstärkt, wobei die Maßnahmen insbesondere an den Hauptträgern, den Querträgern sowie

am oberen Schlingerverband umgesetzt wurden. Neben der Verstärkung der Fachwerkbrücke wurde zwischen 1958 und 1980 auf den Natursteinviadukten nachträglich ein neuer Schottertrog aus Stahlbeton eingebaut, wobei die Fahrleitungsmasten nach der inzwischen erfolgten Elektrifizierung der Bahnlinie am Schottertrog befestigt wurden.

2 Erneuerung des Saaneviadukts

Die Erneuerung des über 118 Jahre alten Saaneviadukts wurde einerseits durch die Notwendigkeit der Substanzerhaltung und andererseits durch die Bedürfnisse nach einer Erhöhung der Kapazitäten auf der Bahnstrecke Bern–Neuenburg ausgelöst. Insbesondere die schadhafte Brückenabdichtung der Schottertröge auf den beidseits der Ufer liegenden Natursteinviadukten führt dazu, dass Wasser von oben in das Mauerwerk eindringt und dieses irreversibel schädigt. Gleichzeitig ist das aus Flusstahl gefertigte filigrane Eisenfachwerk der Saanequerung am Ende seiner Nutzungsdauer angelangt, weshalb die Überfahrt durch eine Lastbeschränkung limitiert ist. Für die Instandsetzung des Viadukts und den gleichzeitigen Ausbau auf Doppelspur wurde im Jahr 2013 ein zweistufiger Studienauftrag ausgeschrieben. Dieser wurde durch die eidgenössische Kommission für Denkmalpflege sowie durch die eidgenössische Natur- und Heimatschutzkommission eng begleitet, mit dem Ziel, den historischen und ästhetischen Wert des Viadukts zu erhalten [5].

Das aus dem Studienauftrag hervorgegangene Projekt für den Ersatz des Eisenfachwerks sowie der Ausbau der Natursteinviadukte auf Doppelspur beinhalten die Instandsetzung des bestehenden Natursteinmauerwerks, den Ersatz der zwischen 1958 und 1980 erstellten Schottertröge durch beidseitig 3,5 m über das Mauerwerk auskragende neue Schottertröge in Stahlbetonbauweise sowie den Ersatz des bestehenden Eisenfachwerks durch ein neues Fachwerk in Stahl-Betonverbundbauweise. Bedingt durch die Erhöhung der Ausbaugeschwindigkeit der Bahnstrecke von 90 km/h auf 160 km/h und die damit deutlich größeren Kurvenradien der Linienführung weichen die neuen Gleisachsen von der ursprünglich ge-

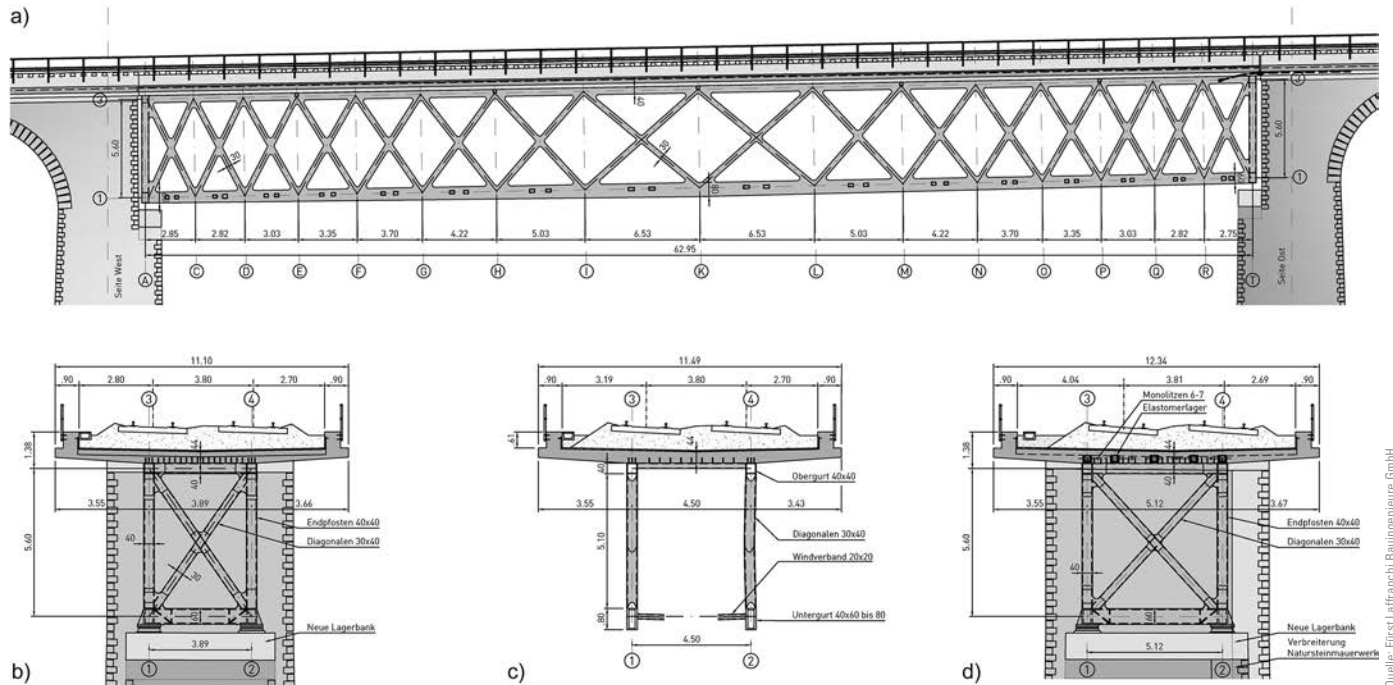


Bild 3 Neue Saanequerung: a) Ansicht Fachwerkträger, b) Ansicht Flusspfeiler Ost, c) Querschnitt in Brückenmitte, d) Rückansicht Flusspfeiler West
New bridge over the Saane: a) view of steel girder, b) view of river pier east, c) cross-section at bridge centre, d) rear view of river pier west

Quelle: Fürst, Lafranchi Bauingenieure GmbH

streckten Lage ab, weshalb der kürzere Natursteinviadukt auf der Ostseite der Saane gegen Norden nach dem historischen Vorbild in Natursteinbauweise verbreitert wird. Auch der angrenzende Damm auf der Ostseite sowie der Geländeeinschnitt auf der Westseite auf Doppelspur werden für eine deutlich höhere Fahrgeschwindigkeit von 160 km/h ausgebaut und verbreitert. Mit diesen Maßnahmen soll die Verfügbarkeit des Saaneviadukts für weitere 100 Jahre Nutzungsdauer sichergestellt werden.

3 Neue Saanequerung

Die neue, auf Doppelspur ausgelegte Fachwerkbrücke überquert die Saane zwischen den bestehenden Uferpfeilern der Natursteinviadukte wie das historische Vorbild als einfach gelagerter Balken mit einer Spannweite von 63,7 m. Das Stahlfachwerk übernimmt die Proportionen der bestehenden und filigranen Fachwerkbrücke, wird jedoch neu interpretiert und modern gestaltet. Das möglichst einfach und transparent gestaltete Stahlfachwerk besteht einzig aus den Ober- und Untergurten sowie den sich kreuzenden Fachwerkdagonalen, wobei die Ablesbarkeit des Kräfteverlaufs im Fachwerkträger durch die sich verändernde Neigung der Diagonalstäbe ermöglicht wird (Bild 3). Die Fachwerkdagonalen sind an den Auflagern steiler und deshalb dichter angeordnet und weiten sich entsprechend der Abnahme der Schubkräfte zur Mitte der Spannweite auf, womit das Fachwerk allmählich transparenter wird. Die Zunahme der Zugkraft im Untergurt wird durch den gegen die Flussmitte anwachsenden Gurtquerschnitt erkennbar. Die Fachwerkträger sind eben und im Grundriss infolge der neuen, größeren Kurvenradien der Gleise leicht auseinanderlaufend ange-

ordnet. Beim Uferpfeiler West beträgt der Achsabstand zwischen den Fachwerkebenen 3,89 m und nimmt linear bis 5,12 m beim Uferpfeiler Ost zu (Bild 3). Die Fahrbahnplatte, welche im Verbund mit den Stahlfachwerken wirkt, ist möglichst schlank und identisch mit den neuen Schottertrögen auf den Natursteinviadukten gestaltet. Die Breite der Fahrbahnplatte nimmt entsprechend der neuen, gekrümmten Linienführung der Gleise vom Uferpfeiler West bis zum Uferpfeiler Ost von 11,1 m bis zu 12,3 m zu. Die Plattenstärke ist zur Ausbildung des Quergefälles sowie infolge der geneigten Untersicht der Kragplatten variabel, beträgt zwischen den Fachwerkebenen jedoch mindestens 440 mm. Die Randborde sind beidseitig gleich und möglichst schlank gestaltet und bilden für den auf der Saanebene stehenden Betrachter eine verbindende, gerade Linie über die gesamte Länge des erneuerten Saaneviadukts.

Die neue Saanequerung steht wie das historische Vorbild auf den Lagerbänken der bestehenden Uferpfeiler in Natursteinmauerwerk. Diese werden für die deutlich höheren Vertikallasten erneuert und verstärkt. Die Abtragung der Horizontalkräfte erfolgt dagegen neu durch die Verspannung der Fahrbahnplatte der Saanequerung mit dem Schottertrogtrog des Viadukts Ost (Bild 3). Die Verspannung besteht aus zwei schlaufenförmigen Spanngliedern, welche im Schottertrogtrog des Viadukts Ost eingelegt und in der Fahrbahnplatte der neuen Saanequerung verankert sind. Damit wird die Dilatationsfuge zwischen der Fahrbahnplatte Saanequerung und dem Schottertrogtrog Viadukt Ost überdrückt, wobei die Vorspannkraft über in der Dilatationsfuge vertikal ausgerichtete Elastomerblocklager übertragen wird (Bild 3).

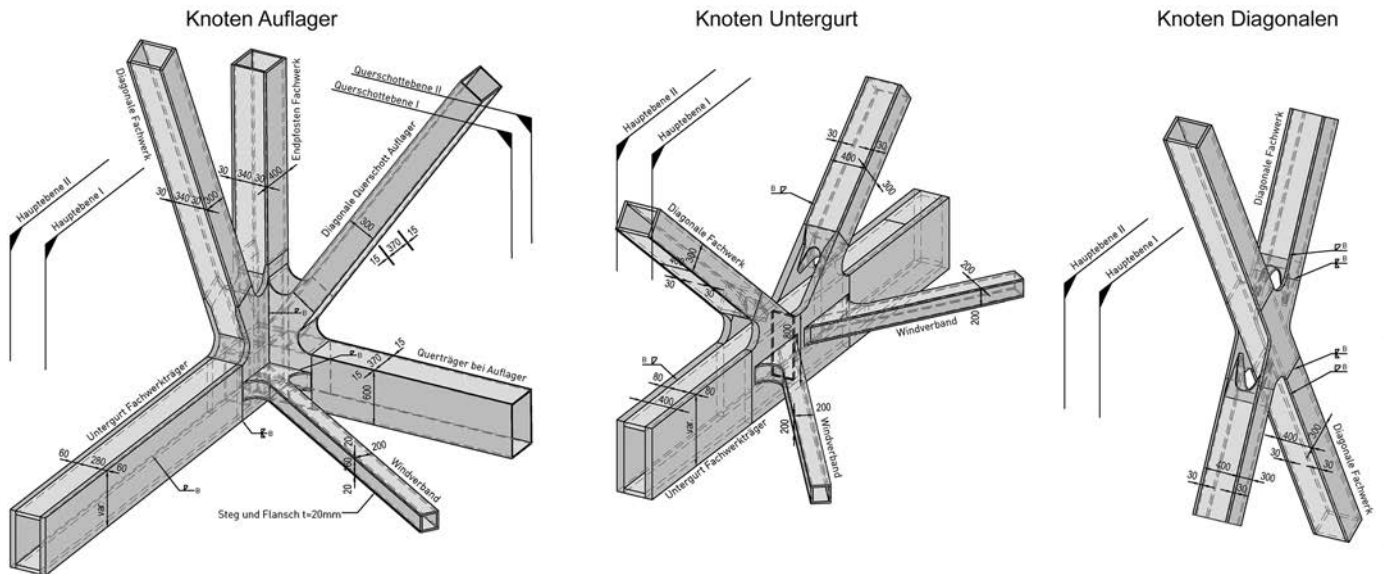


Bild 4 Neue Saanequerung: Gestaltung der Fachwerkknoten
New bridge over the Saane: construction of the girder joints

Quelle: Fürst Lafranchi Bauingenieure GmbH

3.1 Stahlfachwerk

Sämtliche Stäbe des Stahlfachwerks sind als geschlossene Kastenquerschnitte mit einheitlicher Breite von 400 mm ausgebildet. Alle Diagonalstäbe weisen eine konstante Querschnittshöhe von 300 mm und konstante Blechstärken von 30 mm auf, was durch die dem Schubverlauf angepassten Stabneigungen ermöglicht wird. Der Obergurt wirkt dank der Kopfbolzendübel mit der Fahrbahnplatte aus Stahlbeton im Verbund und weist eine über die gesamte Trägerlänge konstante Querschnittshöhe von 400 mm und Blechstärken von 20 mm auf. Variabel ist hingegen die Querschnittshöhe der Untergurten, welche von den Auflagern zur Trägermitte entsprechend der Zugbeanspruchung linear von 600 mm auf 800 mm anwächst. Zusätzlich vergrößern sich auch die Stegbleche von 60 mm bei den Auflagern bis 80 mm in Brückenmitte.

Die einheitliche Breite aller Fachwerkstäbe ermöglicht die einfache und ermüdungsgerechte Gestaltung der Fachwerkknoten, insbesondere der Anschlüsse der Diagonalen an die Ober- und Untergurten, aber auch der Kreuzpunkte der Fachwerkdialagonalen (Bild 4). Dabei werden nur die Stege der Stabelemente an den Knoten angeschlossen, während die Gurten der Diagonalstäbe zugunsten eines homogenen Kraftflusses im Knoten ausgespart werden. Der Kraftfluss in den Fachwerkknoten ist somit kontinuierlich und Spannungsspitzen durch abrupte Steifigkeits- oder Richtungsänderungen werden vermieden. In den Kreuzpunkten der Diagonalstäbe werden nur die Gurten der auf Zug beanspruchten Diagonalen unterbrochen, womit die Steifigkeit der auf Druck beanspruchten Diagonalen über die gesamte Stablänge erhalten bleibt. Sämtliche Fachwerkstäbe sind mit einheitlicher Stahlgüte S355 K2 ML gefertigt. Für die Bleche in den Fachwerkknoten wurde zusätzlich die Z-Güte Z25 verlangt.

4 Realisierung

Für die Erneuerung des Saaneviadukts sowie den Ausbau auf Doppelspur darf der Bahnbetrieb nur während einer fünfwöchigen Totalsperre im Sommer 2020 unterbrochen werden. Während dieser sehr kurzen Totalsperre ist der Schottertrog auf dem 275 m langen Natursteinviadukt West abzubauen und mittels vorfabrizierter Schottertraglelemente zu erneuern, die ca. 64 m lange Saanequerung zu ersetzen und der Schottertrog auf dem 65 m langen Natursteinviadukt Ost zu erneuern. Um den Ersatz der Saanequerung in dem kurz zur Verfügung stehenden Zeitfenster zu realisieren, wird die neue Saanequerung bereits vor der Totalsperre in provisorischer Lage nördlich des Viadukts erstellt und während der Totalsperre nach Abbruch der bestehenden Fachwerkbrücke und Erneuerung der Widerlager quer eingeschoben.

4.1 Montage des Stahlfachwerks

Das Stahlfachwerk der neuen Saanequerung wurde in Teilen durch die Stahlbauunternehmungen Schneider Stahlbau AG sowie Senn AG im Werk hergestellt und auf dem Installationsplatz neben dem Saaneviadukt vormontiert (Bild 5). Dabei wurden die zwei 6,1 m hohen Fachwerkebenen einzeln und in Brückenlängsrichtung in je vier Segmente mit ca. 16 m Länge und 40 t Gewicht unterteilt und mit Sondertransporten auf den Installationsplatz beim Viadukt angeliefert. Dort wurden die Segmente der Fachwerkebenen aufgerichtet und passgenau verbunden, wobei der auf der Höhe des Untergurts liegende Windverband nachträglich eingebaut wurde. Sämtliche Elemente des Stahltragwerks wurden roh vormontiert. Der vierschichtige Oberflächenschutz wurde gänzlich vor Ort appliziert, wofür ein luftdichtes und beheiztes Zelt um das Stahltragwerk erstellt wurde.



Quelle: Fürst Laffranchi Bauingenieure GmbH

Bild 5 Vormontage des Stahlfachwerks
Pre-assembly of the steel girder



Quelle: Fürst Laffranchi Bauingenieure GmbH

Bild 7 Montage Stahlfachwerk auf provisorischen Gerüsttürmen
Assembly of the steel girder on temporary scaffolding towers



Quelle: BLS Netz AG

Bild 6 Hub der neuen Saanequerung
Lift of the new bridge over the Saane



Quelle: vistradoc GmbH

Bild 8 Saanequerung vor dem Erstellen des Schottertrogs aus Beton
Bridge over the Saane before the concrete slab is built

Das 340 t schwere Stahltragwerk der neuen Saanequerung wurde nach Applikation des Oberflächenschutzes auf die Verschubbahnen in seine provisorische Lage nördlich des Viadukts gehoben (Bilder 6, 7). Da die Tragkapazität bei entsprechender Ausladung des für den Hub eingesetzten Raupenkrans LR 1750/2 nicht für die Positionierung des Stahltragwerks in die provisorische Lage auf dem Lehrgerüst ausreichte, erfolgte der Hub in zwei Etappen. Am ersten Tag wurde das Stahltragwerk der neuen Saanequerung durch den Raupenkran angehoben und über 75 m bis zum Flusslauf gefahren. Von dort wurde das Stahltragwerk auf die ersten beiden Türme der eigens dafür erstellten Gerüsttürme positioniert (Bild 7).

Am Folgetag wurde das Stahltragwerk durch den Raupenkran und einen zusätzlichen Mobilkran TC 2800-1 im Tandemhub in die provisorische Lage parallel zur bestehenden Saanequerung verschoben und auf die auf den Gerüsttürmen montierten Querverschubbahnen abgestellt und gesichert (Bild 8). Nach der Entfernung der Kräne konnte die Arbeitsplattform, welche ebenfalls als Abstellbasis für die Schalung der Fahrbahnplatte der neuen Saanequerung dient, montiert werden. Diese liegt direkt auf den Untergurten des Fachwerks der neuen Saanequerung, womit differenzielle Verformungen zwi-

schen Stahltragwerk und Schalung ausgeschlossen sind. Zur Reduktion der Verformungen des Fachwerks während des Betonierens der Fahrbahnplatte ist dieses in den auf zwei Gerüsttürmen in den Drittelpunkten der Spannweite, im Flussbett der Saane, zusätzlich abgestützt. Über hydraulische Pressen können die Auflagerkräfte während des Betonierens bei diesen Zwischenabstützungen überwacht und falls erforderlich korrigiert werden.

Die neue Saanequerung wird in der provisorischen Lage nördlich des bestehenden Viadukts bis zu Beginn der fünfwöchigen Totalsperre fertiggestellt. Zu Beginn der Totalsperre erfolgt der Abbruch der bestehenden und ca. 240 t schweren Eisenfachwerkbrücke. Diese wird nach dem Entfernen der bestehenden Verspannvorrichtung mit dem Raupenkran LR 1750/2 in einem einzigen Hub entfernt. Anschließend werden die Lagerbänke erneuert und für die neue Saanequerung verstärkt. Gleichzeitig erfolgen der Abbruch und die Erneuerung der Schottertröge auf den Natursteinviadukten Ost und West. Mit dem Querverschub des fertigen Verbundträgers, welcher zusammen mit der Fahrbahnplatte in Beton ca. 1900 t wiegt, wird die Lücke über die Saane zwischen den beiden Natursteinviadukten geschlossen. Damit kann nach dem Einbau des Gleisoberbaus der Bahnbetrieb am Ende der fünfwöchigen Totalsperre wieder aufgenommen werden.

Literatur

- [1] Beyeler, A. (1902) *Die Bern-Neuenburg Bahn: direkte Linie* in: Schweizerische Bauzeitung 39/40, H. 1.
- [2] Ölrey, L. (1921) *Über die Bewegungen der Hauptpfeiler-Köpfe der Trisannabücke an der Arlbergbahn* in: Schweizerische Bauzeitung 77/78, H. 18.
- [3] Münster, E. (1922) *Die Pfeilerbewegungen der Eisenbrücke über den Rhein bei Eglisau und die Massnahmen zur Sicherung des Bauwerks* in: Schweizerische Bauzeitung 79/80, H. 11.
- [4] Roš, M. (1924) *Über die Ursachen der Verbiegungen der steinernen Pfeiler am Sitterviadukt der Bodensee-Toggenburgbahn* in: Schweizerische Bauzeitung 83/84, H. 25.
- [5] Van Rooden, C. (2013) *Saaneviadukt Erweitert* in: Tec 21, Nr. 25. 14. Juni 2013.

Autoren

Dr. Diego Somaini (Korrespondenzautor)
somaini@fuerstlafranchi.ch
Fürst Laffranchi Bauingenieure GmbH
Eyhalde 2
4912 Aarwangen, Schweiz

Dr. Armand Fürst
fuerst@fuerstlafranchi.ch
Fürst Laffranchi Bauingenieure GmbH
Eyhalde 2
4912 Aarwangen, Schweiz

Zitieren Sie diesen Beitrag

Somaini, D.; Fürst, A. (2020) *Die neue Saanequerung: modernes Stahlfachwerk für historischen Eisenbahnviadukt*. Stahlbau 89, H. 7, S. 622–627. <https://doi.org/10.1002/stab.202000041>

FÜRST | LAFFRANCHI

Fürst Laffranchi Bauingenieure GmbH

Eyhalde 2

4912 Aarwangen

Schweiz

Tel. +41 (0)62 926 18 90

Fax +41 (0)62 926 18 91

welcome@fuerstlaffranchi.ch

www.fuerstlaffranchi.ch