



Bauwerkserhaltung

Conservation des ouvrages

Conservation of Structures



Instandsetzung Aarebrücke Worblaufen

Rehabilitation of Aare bridge Worblaufen

Viviane Buchwalder

Einleitung

Die rund 200 m lange Aarebrücke Worblaufen ist die grösste Brücke im Netz des Regionalverkehrs Bern-Solothurn RBS und liegt südlich des Bahnhofs Worblaufen. Das Bauwerk gilt gemäss kantonalen Denkmalspflege als schützenswert.

Die Einfahrt der Schmalspurbahn in den Kopfbahnhof Bern ist nur über die Aarebrücke Worblaufen möglich. Damit nimmt sie eine Schlüsselposition im Betrieb des RBS ein. Ein seitlich auskragender Gehweg ermöglicht zusätzlich Fussgängern die Überquerung der Aare zwischen Bern-Tiefenau und Worblaufen. Der Artikel beschreibt die Instandsetzung des 50-jährigen Bauwerks.

Objektbeschreibung

Bei der 1965 erstellten Aarebrücke handelt es sich um eine zweispurige Eisenbahnbrücke aus vorgespanntem Stahlbeton, ausgebildet als Sprengwerk mit zwei-zelligem Hohlkasten. Beidseitig der Hauptbrücke schliessen dilatierbare Lehnbrücken aus schlaff bewehrtem Stahlbeton an, sie tragen als offene Balkenbrücken über eine Spannweite auf der Nordseite und über zwei Spannweiten auf der Südseite (Fig. 1, 2).

Introduction

The 200 m long Aare Bridge Worblaufen is the largest bridge in the RBS (Regionalverkehr Bern-Solothurn) network and is located south of Worblaufen railway station. According to the cantonal office for the preservation of monuments, the bridge is worthy of protection.

The only entry point for the narrow-gauge railway into the terminus station Bern is by crossing the Aare Bridge Worblaufen. Therefore, it is of major significance for overall RBS operations. Pedestrians can also cross the Aare between Bern-Tiefenau and Worblaufen thanks to the cantilever pathway at the side of the bridge. This article describes the rehabilitation of the 50-year old structure.

Description of the bridge

The Aare bridge, built in 1965, is a double-track railway bridge made of prestressed reinforced concrete, developed as a strut frame bridge with a double-cell box girder. At either end of the main bridge there is a dilatated viaduct made of reinforced concrete. Each is an open beam bridge, spanning a single span width at the northern side and two span widths at the southern side (Fig. 1, 2).

In den ersten Jahren nach der Erstellung konnten bei allen Fundamenten Setzungen beobachtet werden, worauf die Fundamente der Lehnbrücke Nord verstärkt wurden. Auf der Seite Bern wurden keine Massnahmen getroffen. Ansonsten befindet sich das Bauwerk im Originalzustand. Bei der Inspektion 2009 wurden die Lager, die Fugen und der Gehweg als «schadhaft» und die Entwässerung als «schlecht» eingestuft. In der Folge wurde eine detaillierte Überprüfung des Objekts empfohlen.

Im Jahre 2011 wurde bei einer Begehung eine grossflächige Abplatzung am Stützenkopf C entdeckt, die die Sofortmassnahme einer provisorischen Lagerverstärkung und die geodätische Überwachung der Brücke zur Folge hatte (Fig. 3).

Zustandsuntersuchung

Materialtechnologische Untersuchungen

Im Rahmen der Zustandserfassung der Aarebrücke fanden umfassende materialtechnologische Untersuchungen und Prüfungen statt. Die Druckfestigkeit des Betons liegt bei Werten von C50/60 für den Unterbau sowie C55/67 für den Überbau. Obwohl auf dem

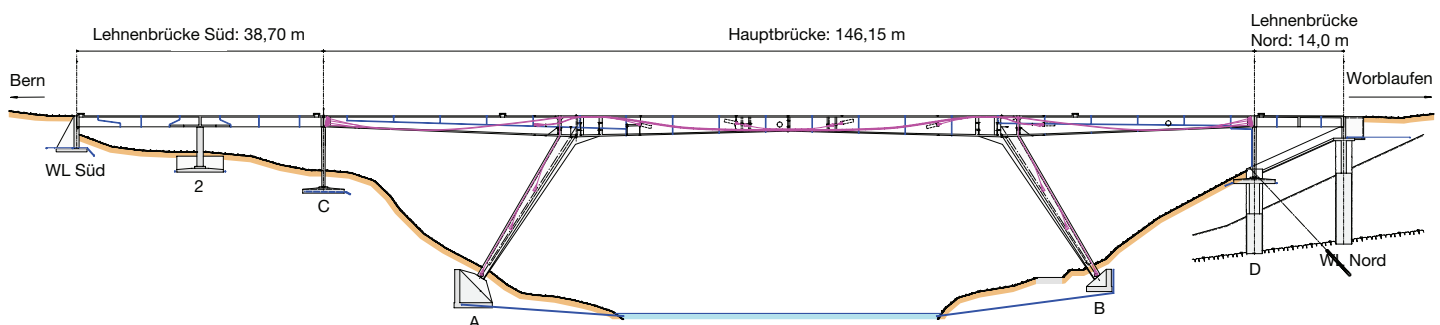


Fig. 1
Längsschnitt.
Longitudinal section.

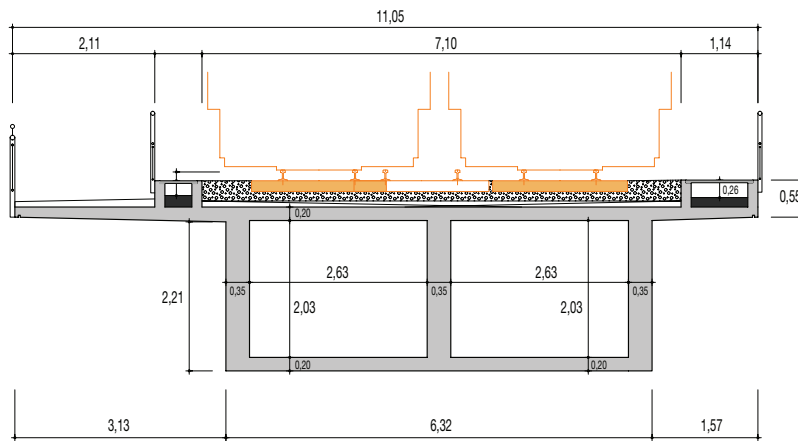


Fig. 2
Querschnitt in Brückenmitte.
Cross-section in the middle of the bridge.

Settlement was observed during the first few years after completion, whereupon the foundations of the northern viaduct were strengthened. No action was taken on the Bern side. Otherwise, the structure is in its original condition.

During an inspection in 2009, the bearings, the joints and the pathway were classified as “damaged” and the drainage as “poor”. Consequently, a detailed inspection of the structure was recommended. In 2011, an extensive spalling was discovered at the support heads during inspection, which resulted in immediate action to provide a provisional bearing reinforcement and also geodetic monitoring of the bridge (Fig. 3).

Condition survey

Materials inspection

As part of the condition survey of the Aare bridge, a number of comprehensive material inspections and tests were carried out. The compressive strength of the concrete has values of between C50/60 for the substructure and C55/67 for the superstructure. Even though road salt is spread on the pathway in the winter, there is no risk from chloride. The adhesive tensile strength is considered to be good, in view of possible reinforcement across all components.

The measured reinforcement cover has average values in line with

Gehweg im Winter Tausalz gestreut wird, besteht keine Gefahr durch Chloride. Die Haftzugfestigkeit wird im Hinblick auf allfällige Verstärkungen über alle Bauteile als gut beurteilt.

Die gemessene Bewehrungsüberdeckung weist im Mittel Werte gemäss Ausführungsplan auf, streut jedoch erheblich von 6 bis 54 mm. Sie übersteigt im Mittel aber die Karbonatisierungstiefe. Die durchgeführten Potenzialfeldmessungen wiesen kaum auf Korrosion der Bewehrung hin, freigelegte Bewehrungsseisen in Sondagefenstern bestätigten dies. Sondagen an der Vorspannung zeigten ebenfalls keine Korrosion an der Vorspannung. Die Radarortung der Hüllrohre bestätigte die Lage der Vorspannung nach Originalplänen.

Beim Aushub zur Beurteilung der Vorspannung an den Füßen der Schrägstützen wurde festgestellt, dass der Riegel tiefer liegt als in den Originalplänen dargestellt. Auf einen tieferen Aushub wurde aus wirtschaftlichen Gründen verzichtet.

Visuelle Zustandsuntersuchung

Das rund 50-jährige Bauwerk befindet sich auf den ersten Blick in einem guten Zustand. Die Betonqualität der Lehnbrücken und der Hauptbrücke sind im Allgemeinen gut, es sind keine offensichtlichen Schäden erkennbar. Lediglich die Spuren der Ent-

the working drawing, but with a spread of between 6 and 54 mm. However, the reinforcement cover exceeds on average the carbonation depth.

The potential field measurements carried out showed hardly any corrosion of the reinforcement. This was confirmed by exposing the reinforcement steel with sondage windows. Sondages at the prestress also displayed no corrosion there. The radar tracking of the sheaths confirmed that the position of the prestress was as in the original drawings.

When excavating in order to assess the prestress at the foot of the struts, it was established that the ground beam is lower than in the original drawings. A deeper excavation was dispensed with for economic reasons.

Visual condition survey

At first sight, the 50-year old structure seems to be in good condition. The quality of the concrete of the viaducts and of the main bridge is generally good, and there is no obvious damage. It is merely traces of drainage on the struts and very visible damp spots at the dilatation joints that suggest uncontrolled water paths (Fig. 4).

Structural examination

The structural examination of the support structure was carried out in accordance with standards SIA



Fig.3
Grossflächige Abplatzung bei Stütze C.
Extensive spalling at support C.



Fig. 4
Undichte Dilatationsfuge bei Stütze C.
Leaking dilatation joint at support C.

wässerung auf den Schrägstützen sowie gut sichtbare feuchte Stellen bei den Dilatationsfugen weisen auf nicht kontrollierte Wasserwege hin (Fig. 4).

Statische Überprüfung

Die statische Überprüfung des Tragwerks erfolgte gemäss den Normenreihen SIA 260 und 269. Die relevanten Grenzzustände wurden mit dem Kriterium $E_{d,act} \leq R_{d,act}$ nachgewiesen.

260 and 269. The relevant limit states were proven with the criterion $E_{d,act} \leq R_{d,act}$. In accordance with standard SIA 269, the examination of a structure requires an update of the effects, construction material and ground properties, the structural model, the geometric quantities, the structural safety and the deformability. In consultation with the client, the effects were defined using

Gemäss Norm SIA 269 sind für die Überprüfung eines Bauwerks die Einwirkungen, die Baustoff- und Baugrundeigenschaften, das Tragwerksmodell, die geometrischen Grössen, die Tragwiderstände und das Verformungsvermögen zu aktualisieren.

In Absprache mit der Bauherrschaft wurden die Einwirkungen mit den Lastmodellen LM4 und LM6 des Schmalspurbahnverkehrs gemäss Norm SIA 261 definiert, damit auch in Zukunft keine Lasteinschränkungen in Kauf genommen werden müssen. Die Baustoff- und Baugrundeigenschaften und die geometrischen Abmessungen wurden aktualisiert. Aufgrund der Erkenntnisse aus den Sondagen wurde die volle Vorspannung angerechnet.

Überbau

Der Querkraftwiderstand in Längsrichtung wird massgeblich durch die volle Vorspannung bestimmt, daneben ist nur eine geringe schlaife Bügelbewehrung vorhanden (i.d.R. zweischnittiger Bügel $\varnothing 10@500$). Die eingelegten Bügel der Kabelhalter wurden aufgrund der Schweissungen nicht berücksichtigt. Die Querkraftnachweise konnten nicht erfüllt werden und der Hohlkasten musste über die ganze Brückenlänge im Hinblick auf die Querkrafttragsicherheit verstärkt werden. Die Biegenachweise in Längsrichtung waren mehrheitlich erfüllt, einzig bei der Verankerung der Vorspannung im Randfeld betrug der Erfüllungsgrad weniger als 1,0. Damit der Nachweis erbracht werden konnte, war zusätzliche schlaife Biegebewehrung in den Stegen erforderlich (pro Steg 8 $\varnothing 22$).

Die Nachweise in Querrichtung sowie die Nachweise für die Endquerträger liessen sich alle erfüllen. Dasselbe galt für die Ermüdung in Längs- und Querrichtung sowie für die Erdbebennachweise.

Unterbau

Die Fundationen WL Nord und D waren aufgrund der nachträglich erstellten Tiefgründung unproblematisch. Das Widerlager Süd

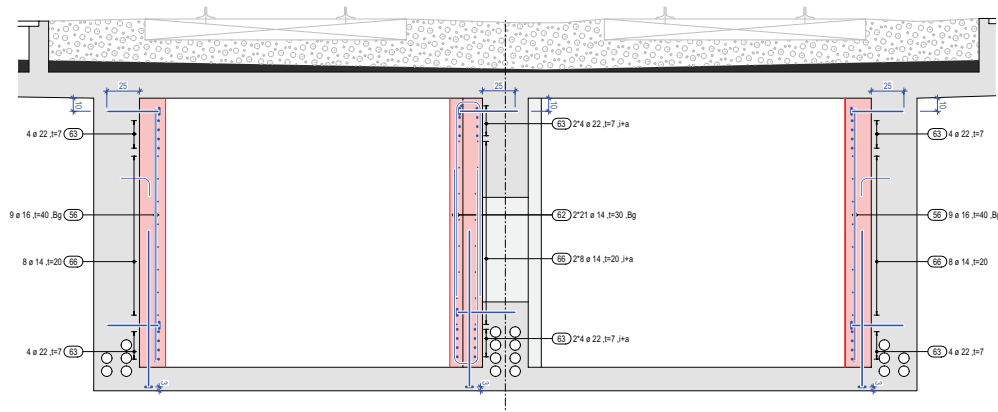


Fig. 5
Verbreiterung der Träger im Hohlkasten.
Widening of the beams in the box girder.

the load models LM4 and LM6 for narrow-gauge traffic in accordance with standard SIA 261, so that in the future it will not be necessary to accept load restrictions. The material and ground properties as well as the geometric dimensions were updated. Based on the findings from the sondages, the full prestress was taken into account.

Superstructure

The longitudinal shear resistance is primarily determined by the full prestress, apart from that there is only minor reinforcement (generally double-leg stirrups $\phi 10@500$). The inserted stirrups of the cable holders were not taken into account due to the welding. The requirements for shear force were not fulfilled and the box girder had to be strengthened over the entire length of the bridge with regard to the shear force structural safety. The requirements for longitudinal bend were generally fulfilled, apart from the prestress anchoring at the edge area where the level of fulfilment is less than 1.0. In order for the requirements to be fulfilled, additional bending reinforcements were required at the webs (per web $8\phi 22$).

The requirements for transverse direction and end cross beams were all fulfilled. The same applied to fatigue in longitudinal and transverse direction and for seismic integrity.

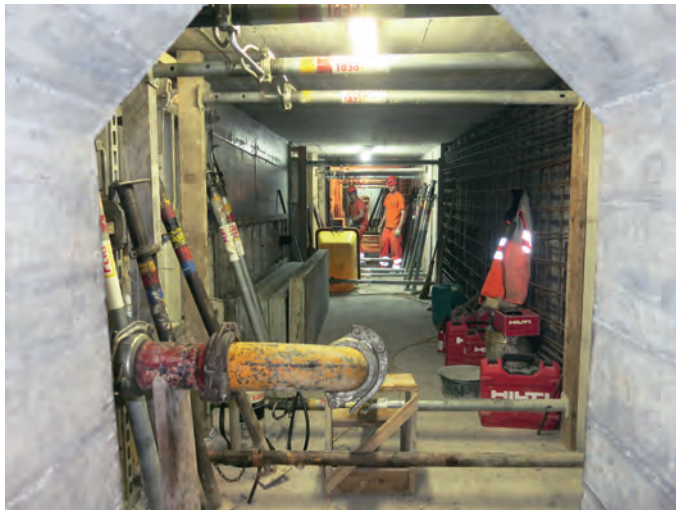


Fig. 6
Verstärkungsarbeiten im Hohlkasten.
Reinforcement works in the box girder.

konnte die Grundbruchnachweise nicht erfüllen und musste verstärkt werden. Die Flachfundamenten der Stützen 2 und C erfüllten die inneren Tragsicherheitsnachweise nicht und mussten ebenfalls verstärkt werden. Die Tragsicherheitsnachweise für die aufgehenden Stützen waren erfüllt.

Instandsetzung und Verstärkung

Die Betoninstandsetzung umfasste das Beheben kleinerer Betonschäden an den Aussenflächen und im Innern der Hohlkästen. Das lokale Entfernen von schadhaftem Beton und Korrosion auf der Bewehrung mit anschliessender Reprofilierung war ausrei-

Substructure

The foundations for the north and D abutments were unproblematic due to the deep foundations created subsequently. The south abutment did not fulfil the verifications for ground seepage and had to be strengthened. The requirements for internal structural safety for the shallow foundations of supports 2 and C were not fulfilled and they also had to be strengthened. The requirements for the structural safety of the struts were fulfilled.

Rehabilitation and reinforcement

The rehabilitation of the concrete included the repair of more minor

chend. Aufgrund des ungenügenden Querkraftwiderstands wurden alle Träger über die ganze Brückenlänge verbreitert (Fig. 5, 6).

Die Lager wiesen Korrosion und Deformationen auf und wurden alle ersetzt. Dabei wurde das Lagersystem von indirekter auf direkte Lagerung umgestellt, wozu die Lagerbänke neu erstellt werden mussten. Die Widerlager wurden durch eine bewehrte, vorbetonierte Lagerbank um 70 cm erweitert. Das Widerlager Süd wurde ausserdem mit Ankern verstärkt.

Die Stützen C und D wurden allseitig um 25 und bis 55 cm verbreitert, die ursprünglich konische Form der Stützen aber beibehalten (Fig. 7). Die Stütze 2 wies keine nennenswerten Schäden auf und ist in gutem Zustand. Kleinere Betonschäden wurden lokal instand gesetzt, und die Stütze wurde für die neuen Lager seitlich erweitert. Bei den Stützen 2 und C wurden die Flachfundationen verstärkt. Die Verstärkung des Fundaments C durch Mikropfähle minimiert in Zukunft das Risiko weiterer Setzungen.

concrete damage on the external surfaces and on the inside of the box girders. The in-situ removal of damaged concrete and corrosion on the reinforcement with subsequent reprofiling was sufficient.

Due to insufficient shear resistance, all beams were widened over the entire length of the bridge (Fig. 5, 6).

The bearings showed signs of corrosion and deformation and were all replaced. At the same time, the bearing system was changed from indirect to direct bearing and new bearing benchings had to be made. The abutments were extended by 70 cm with a reinforced, precast concrete benching. In addition, the south abutment was strengthened with anchors.

Supports C and D were enlarged all round by between 25 cm and 55 cm but its original conical shape was retained (Fig. 7). Support 2 did not show any damage worthy of mention and is in good condition. More minor concrete damage was repaired in situ and the support was extended laterally for the new bearings. The shallow foundations were strengthened for supports 2 and C. The

Weil die vorgespannten horizontalen Riegel bei den Fundationen der Schrägstützen nicht bestätigt werden konnten, übernehmen neu erstellte vorgespannte Riegel deren Funktion.

Die bestehende offene Fugenkonstruktion wurde herausgetrennt und ein neuer dichter PU-Übergang eingebaut.

Die Entwässerung wurde komplett ersetzt. Die bestehenden Einlaufrohre bleiben erhalten, wurden jedoch gekürzt; der Korrosionsschutz wurde erneuert. Der Belag des Gehwegs wurde nach vorgängiger Abdichtung der Betonkonstruktion vollflächig ersetzt. Die Bordüre der Auskragung wurde über die ganze Länge abgetrennt und eine neue Konsole betoniert. Das bestehende Geländer des Gehwegs wurde

Bauherr/Owner
Regionalverkehr Bern-Solothurn RBS,
Worblaufen
Planer/Planning
Diggelmann + Partner AG, Bern
Bauunternehmung/Contractor
Marti AG, Bern

Fertigstellung/Completion
Frühling/Spring 2017



Fig. 7
Verstärkung der Stütze C.
Strengthening of support C.



Fig. 8

Gehweg mit erneuertem Geländer, neuer Konsole und neuem Belag.
Pathway with refurbished balustrade, new cantilever and new surface.

strengthening of foundation C with micro piles will minimise the risk of further settlement.

Because the prestressed horizontal ground beams of the struts could not be confirmed, new prestressed ground beams have assumed their function.

The existing open joint construction was removed and a new, sealed PU transition installed.

The drainage was replaced completely. The existing inlet pipes were retained but were shortened. The anti-corrosion protection was replaced.

The pathway surface was completely replaced once the concrete substrate was sealed. The edging of the overhang was removed along the entire length and a new cantilever was concreted. The existing balustrade at the pathway was refurbished and reinstated at the pathway once the works were completed (Fig. 8). In order to prevent vandalism, a fence was erected in the area between the tracks and the path-

way. The balustrade on the service side was refurbished.

instand gesetzt und nach Abschluss der Arbeiten am Gehweg wieder montiert (Fig. 8). Um Vandalismus vorzubeugen, wurde das Geländer zwischen dem Gleisbereich und dem Gehweg durch einen Zaun ersetzt. Das Geländer auf der Dienstwegseite wurde instand gesetzt.

Nachwort

Die Verstärkungs- und Instandsetzungsmassnahmen sind so ausgelegt, dass das ursprüngliche Erscheinungsbild der Brücke erhalten bleibt. Bei Gesamtkosten des Projekts von rund 6 Mio. Franken ertüchtigen die erwähnten Massnahmen das Bauwerk für weitere 50 Jahre.

Postscript

The reinforcement and rehabilitation works were designed with the aim of retaining the original appearance of the bridge. At a total project cost of approx. 6 million Swiss Francs, the above-mentioned measures will protect the structure for another 50 years.

Autorin/Author

Viviane Buchwalder
MSc Bauingenieurin ETH
Diggelmann + Partner AG
CH-3013 Bern
v.buchwalder@dig-ing.ch

Renforcement et remise en état du pont sur la Chandelar

Strengthening and rehabilitation of Chandelar bridge

Lionel Moreillon, Claude Broquet, Philippe Menétrey

Introduction

Le pont sur la Chandelar permet à la route cantonale RC 773 le franchissement du vallon formé par la rivière du même nom. Situé à proximité de Lausanne, cet axe compte un trafic pendulaire important dont une ligne de bus. L'ouvrage a été mis en service en 1968. D'une longueur de 81 m, le pont est subdivisé en trois travées de 24,20, 32,60 et 24,20 m. En plan, il

Introduction

The bridge over the Chandelar provides a crossing for the cantonal road RC 773 over the valley formed by the river of the same name. Located near Lausanne, this road carries a high level of commuter traffic, including a bus route. The structure came into service in 1968. With a length of 81 m, the bridge is subdivided into 3 spans of

est courbe, comme illustré à la Figure 1. Le tablier est lié rigidement aux piles et appuyé aux culées d'une manière fixe sur l'une et libre à l'autre.

Le tablier, d'une largeur totale de 11,50 m, est composé d'une dalle évidée en béton précontraint de 1,06 m d'épaisseur et de deux consoles pour les trottoirs (Fig. 2). Les évidements du tablier sont réalisés par cinq cylindres en polystyrène expansé de diamètre 80 cm formant à l'intérieur de la section six nervures. Suivant les travées, le tablier est précontraint par 8 à 12 câbles paraboliques de type Stahlton BBRV disposés dans les nervures longitudinales. Deux câbles rectilignes parcourent toute la longueur des trottoirs.

État de l'ouvrage

Après 45 ans de service, l'ouvrage était globalement dans un état détérioré. De nombreux problèmes ont été constatés lors des relevés d'état. Les joints de dilatation n'étaient plus étanches. Le revêtement était usé, déformé et fissuré. L'étanchéité ne remplissait plus son rôle. Les trottoirs ne comportaient aucune étanchéité. Le béton et les armatures des consoles de trottoir, des bordures préfabriquées et des culées étaient dégradés. Les équipements comme le dispositif de retenue et le système d'évacuation des eaux étaient obsolètes.

Dans le cadre de la mise en conformité des ouvrages du réseau routier cantonal pour le trafic routier de 40 t, des vérifications statiques selon la norme SIA 269 [1] ont été effectuées. Un modèle statique a été réalisé avec RM Bridge [2] en prenant en compte les câbles de précontrainte, les effets différés et la section transversale avec ses évidements. Les calculs ont mis en évidence une insuffisance à l'effort tranchant

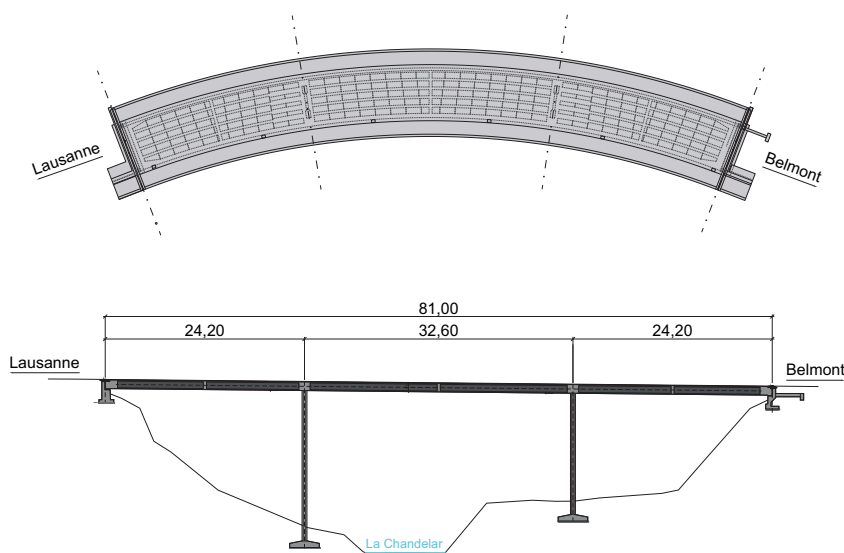


Fig. 1

Vue en plan et coupe longitudinale du pont sur la Chandelar.
Plan view and longitudinal section of the bridge over the Chandelar.

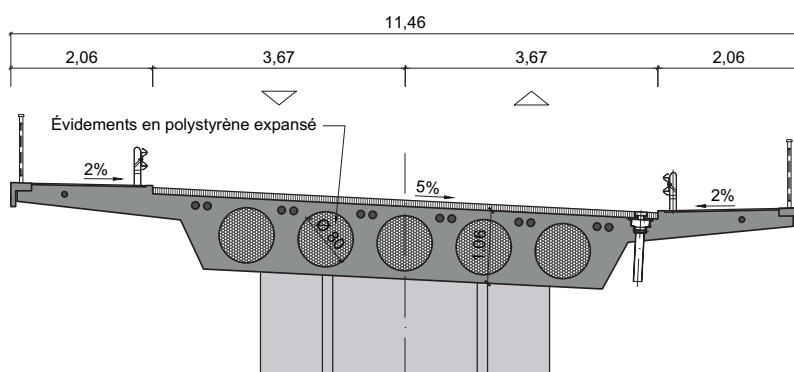


Fig. 2

Coupe transversale du tablier.
Cross-section of the bridge deck.

24.20, 32.60 and 24.20 m. In plan, it is curved as shown in Figure 1. The bridge deck is rigidly linked to the piers and is fixed to the abutment at one end and free to move at the other.

The bridge deck, with a total width of 11.50 m, consists of a partly hollow, prestressed concrete slab with a thickness of 1.06 m and two cantilevers for the pavements (Fig. 2). The hollow spaces in the deck are produced by five cylinders of expanded polystyrene, 80 cm in diameter, forming six ribs within the cross-section. According to the span, the deck is prestressed by 8 to 12 parabolic cable tendons, of the type Stahlton BBRV, arranged within the longitudinal ribs. Two straight cables run the full length of the pavements.

Condition of the structure

After 45 years in service, the general condition of the structure had deteriorated. A number of problems were identified in the course of inspections. The expansion joints were no longer sealed. The road surface was worn, deformed and cracked. It was no longer watertight. The pavements

du tablier au voisinage des piles. En effet, les nervures sont peu armées à l'effort tranchant puisque les étriers $\varnothing 8$ à 10 mm sont espacés tous les 250 mm.

L'examen de l'ouvrage a mis en évidence qu'il était nécessaire de renforcer et de remettre en état le pont.

Projet d'intervention

Le projet d'intervention proposé comprend le renforcement et la remise en état de l'ouvrage dans les limites du budget. Les bordures préfabriquées existantes et les trottoirs sont reprofilés avec une couche de béton fibré ultra performant (BFUP) d'une épaisseur de 30 à 60 mm assurant une double fonction d'étanchéité et de couche d'usure comme illustré à la Figure 4. Localement, les armatures corrodées des trottoirs sont remplacées et scellées dans le tablier. Le BFUP permet de simplifier les détails constructifs et assurer une durabilité élevée [3] et [6]. Les joints de chaussée mécaniques au niveau des culées sont remplacés par des joints en bitume polymère. L'étanchéité et le revêtement du tablier sont intégrale-

were not sealed at all. The concrete and reinforcement of the pavement cantilevers, the prefabricated edging and the abutments had deteriorated. The equipment, such as the crash barrier and the surface water drainage system, was obsolete.

As a part of the upgrade of the canton's road network for traffic of 40 t, static load checks were carried out in accordance with the standard SIA 269 [1]. A static model was produced in RM Bridge [2], taking into account the prestressing tendons, the different effects and the cross-section with its voids. The calculations showed insufficient resistance of the deck to shear forces in the region of the piers. In fact, the ribs have little reinforcement against shear force because the $\varnothing 8$ to 10-mm stirrups are spaced 250 mm apart. The examination of the structure showed that the bridge needed to be reinforced and rehabilitated.

Planning of intervention measures

The planning of intervention measures proposed included the reinforcement and rehabilitation of



Fig. 3
Dégradations avant travaux sous les porte-à-faux.
Deterioration before work, under the cantilevers.

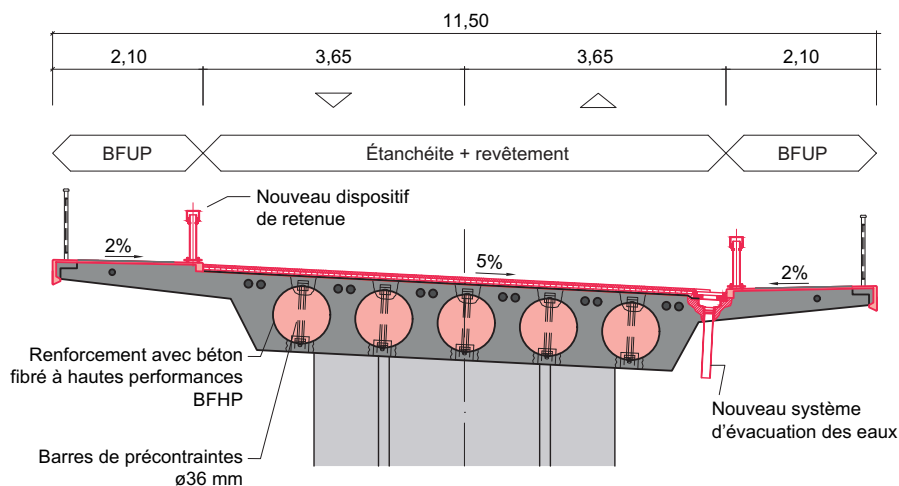


Fig. 4
Coupe type du tablier et des interventions.
Representative cross-section of the bridge deck and the intervention measures.

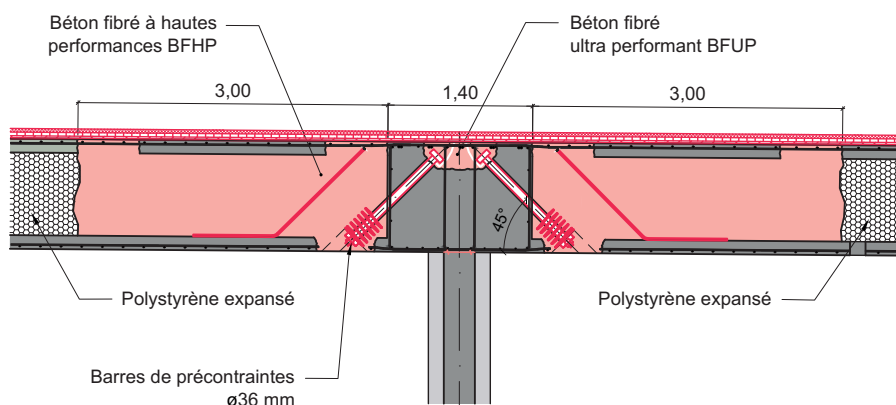


Fig. 5
Coupe longitudinale du renforcement à l'effort tranchant du tablier.
Longitudinal section of the shear force reinforcement of the bridge deck.

ment renouvelés. Le dispositif de retenue ainsi que le système d'évacuation des eaux sont remplacés. Le béton et les armatures des culées et de l'intrados du tablier sont localement remis en état.

Le concept du renforcement à l'effort tranchant du tablier est développé en limitant son impact sur l'image du pont existant. Ainsi, les cylindres en polystyrène expansé mis en place lors de la construction sont remplacés par un béton fibré à hautes performances (BFHP) sur une distance de 3,00 m de part et d'autre des piles faisant ainsi office de goujons de cisaillement. Ce BFHP,

the structure within the budgetary limits. The existing prefabricated edging and the pavements were to be reprofiled with a layer of Ultra-High Performance, Fibre-reinforced Concrete (UHPFRC), 30 to 60 mm thick, fulfilling a dual function of sealing and wearing surface, as shown in Figure 4. Locally, the corroded reinforcement of the pavements was to be replaced and sealed into the deck. UHPFRC permits simplification of the constructional details while ensuring high durability [3] and [6].

The mechanical expansion joints at the abutments were to be replaced with joints in polymer

d'une classe de résistance C80/95 et contenant 60 kg/m³ de fibres en acier, a été développé spécifiquement pour cette application. La rugosité des évidements et des clés de cisaillement assure la liaison avec le béton existant. La composante de l'effort tranchant reprise par le BFHP a été évaluée sur la base du fib Model Code 2010 [4] et des analyses développées dans [5]. Au droit des évidements, des barres de précontrainte inclinées sont ajoutées pour lier les entretoises et les goujons en BFHP comme illustré à la Figure 5. Ces barres sont noyées dans l'épaisseur du tablier afin de les rendre invisibles.

bitumen. The sealing and surface of the deck were to be entirely renovated. The crash barrier and the surface water drainage system were to be replaced. The concrete and reinforcement of the abutments and the underside of the deck were to be locally restored. The concept of the shear force reinforcement of the bridge deck was developed to limit its impact on the existing appearance of the bridge. Thus, the cylinders of expanded polystyrene originally installed have been replaced with High-Performance, Fibre-Reinforced Concrete (HPFRC) over a distance of 3.00 m either side of the piers, thus serving as shear dowels. This HPFRC, with a strength class of C80/95 and containing 60 kg/m³ of steel fibres, was developed specifically for this application. The roughness of the voids and the shear keys provides bonding with the existing concrete. The component of shear force supported by the HPFRC was evaluated on the basis of fib Model Code 2010 [4]

Avec un prix de 1200 CHF/m², les interventions ont été jugées proportionnées selon la norme SIA 269 [1] par rapport à un remplacement de l'ouvrage, la durée d'utilisation résiduelle théorique étant de 55 ans.

Réalisation

Les travaux ont été réalisés par demi-chaussée en alternant le trafic au moyen de feux de signalisation. Dès l'installation des dispositifs de retenue mobiles sur la chaussée, le fraisage du revêtement et de l'étanchéité sont effectués. La face supérieure du trottoir est hydrodémolie afin de rendre la surface rugueuse et dégager les armatures supérieures corrodées. Les armatures endommagées sont remplacées et scellées dans le tablier. Après sciage de la retombée de la bordure existante, celle-ci est coffrée. La couche de BFUP sur le trottoir est mise en place à la main en deux étapes. Du gravillon est appliqué frais sur frais afin d'assurer une

and the analyses developed in [5]. In line with the voids, inclined prestressing bars are added to link the cross struts and the dowels in HPFRC as shown in Figure 5. These bars are lost within the thickness of the deck, making them invisible.

With a price of 1200 CHF/m², the intervention measures were considered proportionate in accordance with the standard SIA 269 [1], relative to replacement of the structure, the theoretical remaining useful life being 55 years.

Realisation

The work was carried out one lane at a time with alternating traffic controlled by traffic signals. Once the moveable crash barriers were in place on the roadway, the grinding of the surface and the sealing were carried out. The upper face of the pavement was hydrodemolished in order to roughen the surface and expose the corroded upper reinforcement. The damaged reinfor-



Fig. 6
Mise en place du BFUP et gravillonnage.
Installing the UHPFRC and gravelling.

rugosité suffisante du trottoir (Fig. 6). Le BFUP est réalisé sur site au moyen de deux petits malaxeurs.

Au droit des piles, des niches dans le tablier sont réalisées par hydro-démolition pour le renforcement à l'effort tranchant. Le polystyrène expansé des évidements est retiré au jet à haute pression sur une longueur de 3,0 m. Les cavités sont ensuite remplies avec un BFHP (Fig. 7). Des carottages à 45° à travers le tablier sont réalisés afin de mettre en place les barres de précontrainte. Après scellement des gaines, les barres sont mises en tension et l'injection est mise en place.

L'étanchéité et les deux premières couches du revêtement sont mises en place. Ensuite le trafic est basculé pour répéter ces travaux sur l'autre demi-chaussée. Finalement, les glissières de sécurité sont installées et la couche de roulement est posée en une étape. La réalisation des joints de chaussée en bitume polymère clôture le chantier. Les travaux ont été effectués en six mois en respectant les délais et les coûts.

Comme l'illustre la Figure 8, il a été possible de renforcer le pont

cement was replaced and sealed into the deck. After sawing the existing edging, this was encased in formwork. The layer of UHPFRC on the pavement was installed by hand in two stages. Gravel was applied fresh-on-fresh to ensure that the pavement was sufficiently rough (Fig. 6). The UHPFRC was produced on site with two small mixers.

Above the piers, niches in the deck were prepared by hydro-demolition for the shear force reinforcement. The expanded polystyrene was extracted from the voids by high-pressure jet over a length of 3.0 m. The resulting cavities were then filled with HPFRC (Fig. 7). Bores were drilled through the deck at 45° for installation of the prestressing bars. After sealing in the ducts, the bars were tensioned and concrete was injected.

The sealing and the first two layers of coating were applied. The traffic was then switched over so that this work could be repeated on the other lane. Finally the safety barriers were installed and the final road surface was laid in a single operation. Making the expansion joints in

Maitre d'ouvrage/Owner

Direction générale de la mobilité et des routes du canton de Vaud
Ingénieurs civils/Civil engineer
INGPHI SA, Lausanne
Entreprise de construction/Contractor
Frutiger SA Vaud, Savigny

Le projet en chiffres – The project in figures

Surface du tablier – Area of bridge deck	930 m ²
BFHP – HPFRC	40 m ³
BFUP – UHPFRC	20 m ³
Coûts des travaux – Cost of work	1 100 000 CHF
Coûts/m ² – Costs/m ²	1 200 CHF

Références/References

- [1] SIA 269; Bases pour la maintenance des structures porteuses, 2011
- [2] RM Bridge; Bentley
- [3] SIA 2052; Béton fibré ultra-performant (BFUP) – Matériaux, dimensionnement et exécution, 2016
- [4] fib Model Code for Concrete Structures 2010; Ernst & Sohn, 2013
- [5] Moreillon Lionel; Shear strength of structural elements in high performance fibre reinforced concrete (HPFRC), Université Paris-Est, 2013
- [6] Moreillon L. et Menétrey Ph.; Rehabilitation and Strengthening of Existing Structures with UHPFRC, Various Applications, RILEM-fib-AFGC Int. Symposium on Ultra-High Performance Fiber-Reinforced Concrete, UHPFRC, Marseille, 2013



Fig. 7

Renforcement à l'effort tranchant par le remplissage des évidements avec du BFHP.
Shear force reinforcement by filling the voids with HPFRC.





Fig. 8

Vue du pont sur la Chandelar à la fin des travaux.

View of the bridge over the Chandelar after completion of work.

polymer bitumen completed the work that was finished in six months, within schedule and budget.

As shown in Figure 8, it was possible to reinforce the bridge over the Chandelar without altering its appearance.

Conclusion

Despite its modest size, the project perfectly illustrates the contribution of innovation in materials. Thanks to the appropriate use of high-performance, fibre-reinforced, cement-based materials such as HPFRC and UHPFRC, it was possible to reinforce and rehabilitate the bridge over the Chandelar, meeting criteria of durability, simplicity of constructional details and cost, without even changing the appearance of the bridge.

sur la Chandelar sans en modifier l'image.

Conclusion

Malgré sa taille modeste, le projet illustre parfaitement l'apport de l'innovation au niveau des matériaux. En effet, grâce à l'utilisation adéquate de matériaux cimentaires fibrés à hautes performances comme le BFHP et le BFUP, il a été possible de renforcer et remettre en état le pont sur la Chandelar en répondant à des critères de durabilité, de simplicité des détails constructifs et de coûts et cela sans modifier l'image de l'ouvrage.

Auteurs/Authors

Lionel Moreillon
Dr Université Paris Est
lionel.moreillon@ingphi.ch

Claude Broquet
Dr ès techn. ing. dipl. EPFL
claud.broquet@ingphi.ch

Philippe Menétrey
Dr ès techn. ing. dipl. EPFL
phm@ingphi.ch

INGPHI SA
Concepteurs d'ouvrages d'art
CH-1003 Lausanne

Instandsetzung Hinterrheinbrücke Cazis der Autobahn A13

Rehabilitation of the Hinterrhein bridge Cazis on the A13 motorway

Thomas Jäger



Fig. 1
Instand gesetzte Hinterrheinbrücke Cazis.
Rehabilitated Hinterrhein bridge Cazis.

Einleitung

Die Hinterrheinbrücke Cazis wurde in den Jahren 1976 bis 1978 erstellt und ist Bestandteil der Nationalstrasse A13 auf dem Abschnitt Thusis Süd–Isla Bella der alpenquerenden San-Bernardino-Achse. Im Zusammenhang mit der Erneuerung des gesamten Streckenabschnitts wurde zwischen April 2014 und April 2016 die nutzbare Fahrbahnbreite der bestehenden Brücke von 13,3 m auf neu 15,0 m verbreitert sowie die Tragkonstruktion für die Erdbebeneinwirkung ertüchtigt. Mit den umgesetzten Massnahmen können die Anforderungen an die heutige und künftige Nutzung erfüllt werden.

Objektbeschreibung der ursprünglichen Brücke

Bei der bestehenden Brücke handelt es sich um einen vorgespann-

Introduction

The Hinterrhein bridge Cazis was built between 1976 and 1978 and is an integral part of the A13 motorway in the section between Thusis Süd and Isla Bella on the trans-Alpine San Bernardino axis. As part of the rehabilitation of the overall section, from April 2014 to April 2016 the usable road width of the existing bridge was widened from 13.3 m to 15.0 m and the structure was strengthened for seismic actions. The implemented measures allow to meet today's and future requirements of the motorway.

Description of original bridge

The existing bridge is a prestressed, single-cell, 170 m long box girder over three spans of 52 m, 66 m and 52 m (Fig. 2 and 3) respectively. The box girder with constant

Bauherr/Owner

Bundesamt für Strassen ASTRA/
Swiss Federal Roads Office FEDRO,
Bellinzona

Projekt und Bauleitung/

Project and site management

Bänziger Partner AG, Chur

Bauunternehmer/Contractor

Implenia Bau AG, Chur

ten, einzelligen und 170 m langen Hohlkastenträger über drei Felder mit Spannweiten von 52 m, 66 m und 52 m (Fig. 2 und 3). Der Hohlkastenträger mit konstanten Aussenabmessungen weist eine Breite von 7,6 m und eine Höhe von 2,6 m auf (Fig. 4 und 5). Der Brückenunterbau besteht aus den Widerlagern und zwei im Flusslauf angeordneten Pfeiler mit einer Höhe von ungefähr 8,0 m, die mit Senkkästen fundiert sind. Diese weisen einen Aussendurchmesser von 8,0 m sowie eine Höhe von ungefähr 4,5 m auf und sind

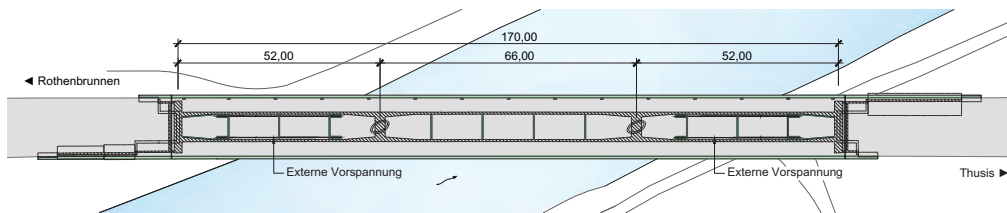


Fig. 2
Situation.
Situation.

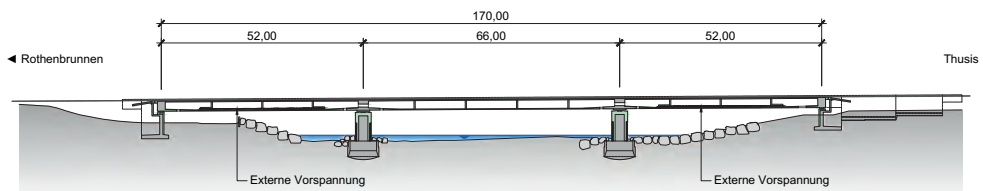


Fig. 3
Längsschnitt.
Longitudinal section.

external dimensions is 7.6 m wide and 2.6 m high (Fig. 4 and 5). The bridge substructure consists of the abutments and two piers in the river, approx. 8.0 m in height, founded on caissons. They have an external diameter of 8.0 m and are approx. 4.5 m high and are inserted into the bed of the river Rhine only to a depth of 4.5 m. The bridge girder is indirectly supported on the river piers via 2.6 m thick, prestressed cross beams. The end cross beams are supported in the web axes and are 2.0 m thick. In the longitudinal direction of the bridge, the box girder was originally fixed on the pier at the Thusis side only. The remaining

lediglich rund 4,5 m in der Rheinsohle eingebunden. Auf den Flusspfeilern ist der Brückenträger indirekt über 2,6 m dicke, vorgespannte Querträgerscheiben gelagert. Die in den Stegachsen gelagerten Endquerträger weisen 2,0 m dicke Scheiben auf.

Der Hohlkastenträger war in Brückenlängsrichtung nur auf dem Pfeiler Seite Thusis gehalten; die übrigen Lager auf dem Pfeiler Seite Rothenbrunnen und bei den Widerlagern waren in Längsrichtung beweglich ausgebildet. In Brückenquerrichtung war der Überbau sowohl bei den Widerlagern als auch auf beiden Pfeilern geführt.

bearings on the pier at the Rothenbrunnen side and at the abutments were moveable in the longitudinal direction. In the bridge transverse direction, the superstructure was guided at the abutments and on both piers.

Rehabilitation concept

The bridge girder was widened in combination with a concrete overlay on the roadway slab. The existing bearing concept with a floating superstructure and two expansion joints was retained however, the bridge girder is now fixed on both river piers in the longitudinal and the transverse direction. Due to the alignment

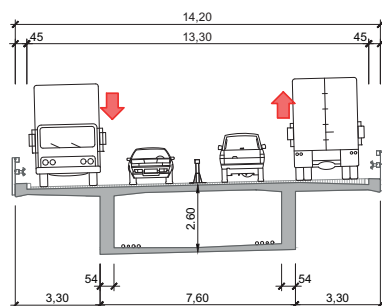


Fig. 4
Querschnitt Brückenträger vor Instandsetzung.
Cross-section bridge girder prior to rehabilitation.

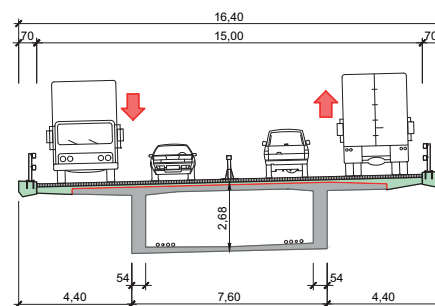


Fig. 5
Querschnitt Brückenträger nach Instandsetzung.
Cross-section bridge girder after rehabilitation.

Instandsetzungskonzept

Die Verbreiterung des Brückenträgers wurde in Kombination mit einem Überbeton auf der Fahrbahnplatte realisiert. Das vorhandene Lagerungskonzept mit einem schwimmend gelagerten Überbau und zwei Fahrbahnübergängen wurde beibehalten, wobei der Brückenträger neu auf beiden Flusspfeilern sowohl in Längs- als auch in Querrichtung gehalten wird. Aufgrund der Ausrichtung der im Grundriss elliptisch ausgebildeten Flusspfeiler zur Brückenachse wurde die indirekte Lagerung des Überbaus auf den Flusspfeilern beibehalten, sodass die Aufnahme der Torsionsbeanspruchung lediglich bei den Widerlagern erfolgt. Die vorhandenen Flusspfeiler mit einer schwachen Querkraftbewehrung und einer hohen Normalkraftbeanspruchung wiesen ein sprödes Querkraftbruchverhalten mit einem entsprechend eingeschränkten Verformungsvermögen auf. Hinsichtlich der Erdbebeneinwirkung wurde wegen der schwimmenden Lagerung des Überbaus ein duktiler Bruchverhalten der Flusspfeiler angestrebt.

Die breitere nutzbare Fahrbahn, die höheren Eigenlasten sowie die Berücksichtigung der Strassenverkehrslasten und der Erdbebeneinwirkung gemäss Norm SIA 261 «Einwirkungen auf Tragwerke» (Ausgabe 2003) ergaben im Ver-

of the elliptical river piers to the bridge axis, the indirect support of the superstructure on the river piers was retained, so that the torsional moments are only absorbed at the abutments. The existing river piers with weak shear reinforcement and high normal force were expected to show brittle shear fracture behaviour with a corresponding limited deformation capacity. In terms of seismic design, a ductile behaviour of the river piers was aimed for due to the floating superstructure.

The widening of the roadway, the higher dead loads and the consideration of road traffic loads and seismic actions in accordance with SIA 261 "Actions on Structures" (2003 edition) resulted in significantly higher internal forces and bearing forces compared to the dimensions and effects on which the design was based. To strengthen the box girder, new 0.3 m thick diaphragms were arranged at intervals of approximately 13 m over the entire length of the bridge. In the two end spans, the flexural resistance was increased with external tendons, whereby one cable with 22 strands $\varnothing 0.6"$ ($P_0 = 4297 \text{ kN}$) was required per web. In addition, the lower box girder slab had to be strengthened with a concrete overlay. Ductile fracture behaviour was achieved and deformation capacity signifi-

gleich zu den der Ausführung zugrundegelegten Abmessungen und Einwirkungen deutlich höhere Schnittgrössen und Lagerkräfte. Zur Verstärkung des Hohlkastenträgers wurden in einem Abstand von ungefähr 13 m über die gesamte Brückenlänge neue, 0,3 m dicke Querscheiben angeordnet. In den beiden Randfeldern wurde der Biege Widerstand mit einer externen Vorspannung erhöht, wobei pro Steg ein Kabel mit 22 Litzen $\varnothing 0,6"$ ($P_0 = 4297 \text{ kN}$) erforderlich war. Im Weiteren musste die untere Hohlkastenplatte mit einem Überbeton verstärkt werden. Mit einer Ummantelung der Flusspfeiler und einer entsprechenden konstruktiven Ausbildung der Bewehrung liess sich ein duktiler Bruchverhalten erreichen und das Verformungsvermögen deutlich verbessern. Die Brückenlager auf den Flusspfeilern sowie bei den Widerlagerkonstruktionen wurden ersetzt. Zur Sicherstellung der Krafteinleitung der horizontalen Lagerkräfte in den Überbau wurden an der Untersicht des Brückenträgers neue Lagerkopfplatten in Stahlbeton angeordnet.

Die an die Widerlager angrenzenden Stützmauern mussten an die neue Strassengeometrie angepasst und aufgrund der Verbreiterung der Fahrbahn verlängert werden. Während der Bauzeit wurden die bestehenden Stütz-



Fig. 6

Verstärkung untere Hohlkastenplatte im Randfeld.

Strengthening of lower box girder slab in the edge area.



Fig. 7
Bewehrung des Verankerungsblocks der externen Vorspannung.
Reinforcement of the anchor block of external prestress.



Fig. 8
Betonierte Verankerungsblöcke der externen Vorspannung.
Concreted anchor blocks of external prestress.

cantly increased by providing a concrete jacket to the river piers and detailing the reinforcement in the jacket accordingly. The bridge bearings on the river piers and at the abutments were replaced. New bearing base plates were arranged at the bottom of the bridge girder to ensure that the horizontal bearing forces are safely transmitted to the superstructure.

The retaining walls adjacent to the abutments had to be adapted to suit the new road geometry and extended due to the widening of the road. During construction, the existing retaining walls were used to secure the excavation and subsequently widened and strengthened with a monolithic concrete layer. No intervention was required for the existing foundations.

The resistance of the pier foundation can only be guaranteed by proper embedment of the caissons in the river bed. In order to minimize hydraulic engineering risks, such as a lowering of the riverbed or scour formation, the riverbed was strengthened in the area of the river piers. Taking hydraulic engineering factors into consideration, the downstream "Rothenbrunnen" river pier had to be strengthened before the "Thusis" river pier, as the necessary excavation support and diversion dams resulted in a narrowing of the river flow and consequently a scour of the riverbed.

mauern als Baugrubenabschluss verwendet und anschliessend mit einem monolithisch wirkenden Vorbeton verbreitert respektive verstärkt, wobei keine Eingriffe an den bestehenden Fundamenten erforderlich waren.

Die Tragfähigkeit der Pfeilerfundament kann nur mit einer Einbindung der Senkkästen in der Flusssohle garantiert werden. Zur Minimierung der wasserbaulichen Risiken, wie zum Beispiel einer Flusssohlenabsenkung oder einer Kolkbildung, wurde die Flusssohle im Bereich der Flusspfeiler befestigt. Unter Berücksichtigung wasserbaulicher Aspekte musste der stromabwärtsliegende Flusspfeiler «Rothenbrunnen» vor dem Flusspfeiler «Thusis» verstärkt werden, da die erforderlichen Baugrubenabschlüsse respektive Ablenkdamme zu einer Einingung des Flusslaufs mit entsprechender Flusssohlenabsenkung führten.

Tragwerksanalyse

Das Tragsystem wurde als räumliches Stabtragwerk modelliert, wobei der Überbau mit einem in Brückenlängsrichtung verlaufenden Stab erfasst wurde. Der Überbau ist bei beiden Widerlagern längs frei beweglich, während die gelenkig an ihm angeschlossenen Flusspfeiler in den elastisch gebetteten Senkkästen eingespannt sind. Die entsprechende Modellierung ermöglichte sowohl die Untersuchung des Betriebszustands

Structural analysis

The structural system is modelled as a spatial frame structure, whereby the superstructure was represented by a beam in the longitudinal direction of the bridge. The superstructure is moveable longitudinally at both abutments and fixed on top of the piers, while the river piers are connected to it through hinges and clamped in the elastically bedded caissons. This modelling allowed investigating both operational conditions and seismic effects. The bridge deck slab was modelled as a slab spanning in the transverse direction, taking into account the effective slab width for concentrated load application.

The structural analysis was based on a linear elastic determination of internal forces, i.e. the underlying stress state corresponded to a structurally permissible stress state according to the theory of plasticity. The secondary internal forces due to prestress were consistently taken into account.

In the ultimate limit state, extreme values of the various internal forces were considered. The torsional moment of the prestressed superstructure was replaced by equivalent membrane forces in the lateral webs and the lower and upper slabs of the box girder. In order to determine the bending resistance of the box girder, it was assumed that the existing non-prestressed reinforcement was fully utilised for the torsional



Fig. 9
Widerlagerumbau mit Lagerersatz.
Abutment reconstruction with replacement bearing.

als auch die Behandlung der Erdbebeneinwirkung. Die Fahrbahnplatte wurde in Querrichtung als Plattenstreifen unter Berücksichtigung der mitwirkenden Plattenbreite bei konzentrierten Kräfteinleitungen modelliert.

Grundsätzlich basierte die Tragwerksanalyse auf einer linear elastischen Schnittgrössenermittlung, das heisst dass der zugrundegelegte Spannungszustand im Rahmen der Plastizitätstheorie einem statisch zulässigen Spannungszustand entsprach. Dabei wurden die Zwangsschnittgrössen infolge Vorspannung konsequent berücksichtigt.

Im Grenzzustand der Tragsicherheit wurden Grenzwertbildungen der verschiedenen Schnittgrössen betrachtet. Die Torsionsbeanspruchung des vorgespannten Überbaus wurde in äquivalente Scheibenkräfte in den seitlichen Stegen sowie der unteren und oberen Platte des Hohlkastenträgers zerlegt. Für die Ermittlung der Biege- und Widerstände des Hohlkastenträgers wurde vorausgesetzt, dass die vorhandene schlaife Bewehrung für die Aufnahme der Torsions- und Querkraftbeanspruchung benötigt wird. Folglich berücksichtigten die Biege- und Widerstände lediglich die Vorspannbewehrungen sowie schlaife Bewehrungszulagen im Überbeton der Fahrbahnplatte. Mithilfe der Deckungslinie der

and shear effects. Consequently, only the prestressed reinforcements and non-prestressed reinforcement added in the concrete overlay of the bridge deck were taken into account for the bending resistance. With the envelop of the bending resistance, a sufficient bending strength was demonstrated without plastic redistributions of the internal forces. However, an external prestress was required in the two end spans and additional non-prestressed reinforcement in the concrete overlay of the bridge deck in the area of the piers. The anchor blocks required for the force transmission of the external prestress were concreted laterally to the existing girder webs. An extensive dowelling with reinforcing bars glued into the webs ensures the transmission of force across the interface between new and old concrete.

The verification of structural safety of the two girder webs was based on a detailed investigation in different sections, taking into account an increase in force in the bonded tendons. It should be mentioned in particular that the effective height of the web for transferring the torsional and shear forces generally varies. In a first step, the required reinforcement due to torsional moment was determined. The remaining

Biege- und Widerstände konnte die Biegetragsicherheit ohne plastische Schnittgrössenumlagerungen nachgewiesen werden, wobei in den beiden Randfeldern eine externe Vorspannung sowie im Pfeilerbereich eine schlaife Bewehrungszulage im Überbeton der Fahrbahnplatte erforderlich war. Die für die Kräfteinleitung nötigen Verankerungsblöcke der externen Vorspannung wurden seitlich an die bestehenden Trägerstege betoniert. Eine flächendeckende Verdübelung mit in die Trägerstege eingeklebten Bewehrungsstäben sichert die Kraftübertragung in der Fuge zwischen neuem und altem Beton.

Der Tragsicherheitsweis der beiden Trägerstege basierte auf einer detaillierten Untersuchung mit Schnittnachweisen, wobei ein Kraftzuwachs in den Spanngliedern mit Verbund berücksichtigt wurde. Speziell zu erwähnen ist, dass die wirksame Höhe der Schubfelder zur Aufnahme der Torsions- und Querkraftbeanspruchung im Allgemeinen unterschiedlich ist. Im ersten Schritt wurde die erforderliche Bewehrung infolge Torsionsbeanspruchung ermittelt. Die verbleibende schlaife Bügelbewehrung stand für die Aufnahme der Querkraftbeanspruchung zur Verfügung. Anschliessend erfolgte die Querschnittsbemessung mit einem Gurtquerschnitt, wobei der Stegträger in Bereiche mit und ohne Kabelkraftzuwachs unterteilt wurde. Während in Bereichen ohne Kraftzuwachs im Spannstahl die wirksame Höhe des Schubfelds dem Abstand zwischen Unter- und Obergurt entsprach, wurde in Bereichen mit Kraftzuwachs im Spannstahl die reduzierte wirksame Höhe des Schubfelds zwischen Vorspannkabel und Druckgurt berücksichtigt. Bis auf einen Bereich unmittelbar vor den Widerlagern liess sich dank den detaillierten Untersuchungen die Querkrafttragsicherheit ohne Verstärkungsmassnahmen belegen.

Bauausführung

Aufgrund verkehrstechnischer und statischer Randbedingungen muss-



Fig. 10
Abbruch Pfeiler mit beidseitigen Hilfspfeilern.
Pier demolition with auxiliary piers on either side.



Fig. 11
Pfeilerumbau mit Lagerersatz.
Pier reconstruction with replacement bearing.

stirrup reinforcement was available for transferring the shear force. Finally, the cross-sectional design was carried out, whereby the web was divided into areas with and without increase in tendon force. While in areas without increase in tendon force the effective height for shear corresponded to the distance between the lower and upper chord, in areas with increase in tendon force the reduced effective height for shear between tendon and compression chord was taken into account. With the exception of one area immediately in front of the abutments, a sufficient structural safety for shear could, thanks to this detailed investigations, be demonstrated without strengthening measures.

Construction

The road widening works had to be carried out in three stages due to traffic and structural constraints. However, it was possible to maintain two-way traffic for "40-t operational traffic load" without any restrictions for the entire two-year construction period. The effective width of the roadway was too narrow for road widening in two symmetrical stages. Asymmetric execution in

te die Fahrbahnverbreiterung in drei Etappen ausgeführt werden, wobei während der gesamten, zweijährigen Bauzeit eine zweispurige Verkehrsführung ohne Auflagen für einen «40-t-Betriebsverkehr» aufrechterhalten wurde. Die nutzbare Fahrbahn war zu schmal für eine Ausführung der Fahrbahnverbreiterung in zwei symmetrischen Etappen. Eine asymmetrische Ausführung in zwei Etappen wurde verworfen, da während bestimmter Bauphasen die Tragsicherheit der Fahrbahnplatte in Querrichtung ohne temporäre Massnahmen nicht hätte gewährleistet werden können.

Die Pfeilerverstärkungen sowie der Ersatz der Brückenlager erfolgten unabhängig von der Fahrbahnverbreiterung. Bei den Bauarbeiten im Flusslauf mussten die flussbaulichen Randbedingungen hinsichtlich Hochwasserschutz berücksichtigt werden, das heisst dass die Ausführung der entsprechenden Arbeiten zwingend in den Wintermonaten erfolgen musste. Für den Pfeilerumbau wurde der Überbau temporär auf Hilfspfeilern abgestützt.

two stages was dismissed as the structural safety of the bridge deck in transverse direction could not have been guaranteed during certain construction phases.

The piers were strengthened and the bridge bearings were replaced independently of the road widening measures. For the construction work in the river, hydraulic engineering constraints with regard to flood protection had to be taken into consideration, i.e. these works could only be carried out during the winter months. The superstructure was temporarily supported by auxiliary piers for the reconstruction of the piers.

Autor/Author

Thomas Jäger
Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH/HTL
Bänziger Partner AG
CH-7000 Chur
t.jaeger@bp-ing.ch