

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 Thuisis 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 Thuisis 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

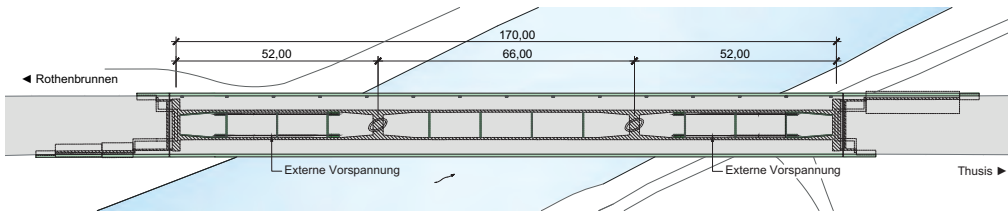


Fig. 2
Situation.
Situation.

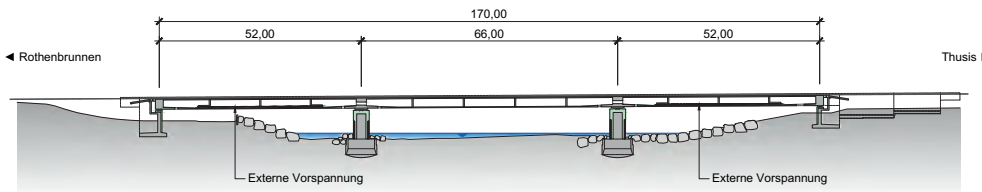


Fig. 3
Längsschnitt.
Longitudinal section.

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 Thuisis 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 Thuisis 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

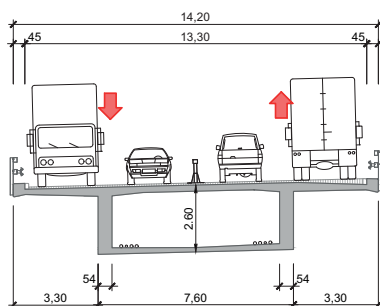


Fig. 4
Querschnitt Brückenträger vor Instandsetzung.
Cross-section bridge girder prior to rehabilitation.

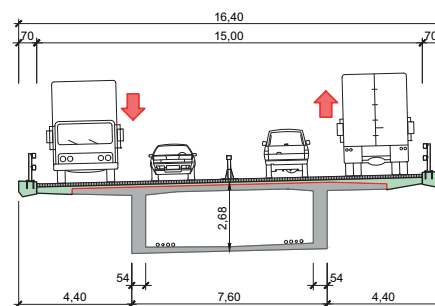


Fig. 5
Querschnitt Brückenträger nach Instandsetzung.
Cross-section bridge girder after rehabilitation.

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 $\varnothing 0.6$ " ($P_0 = 4297$ 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 $\varnothing 0,6$ " ($P_0 = 4297$ 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 Fundationen erforderlich waren.

Die Tragfähigkeit der Pfeilerfundation 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 Einengung 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 Erdbebenwirkung. 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 Torsionswiderstände des Hohlkastenträgers wurde vorausgesetzt, dass die vorhandene schlaife Bewehrung für die Aufnahme der Torsions- und Querkraftbeanspruchung benötigt wird. Folglich berücksichtigten die Biege- und Torsionswiderstände 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 Torsionswiderstände 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