Zwei Brücken in der Südschweiz mit unterspanntem Betonüberbau

Two bridges in southern Switzerland with under-spanned concrete girders

Aurelio Muttoni, Franco Lurati, Livio Muttoni, Mirko Rezzonico

Einleitung

Die Calancastrasse ist Teil des Strassennetzes des Kantons Graubünden und verbindet die Gemeinden des Calancatals. Südlich des Abzweigers nach Selma durchquerte die Strasse bis 2022 ein stark steinschlaggefährdetes Gebiet und musste daher verschoben werden. Das neue Strassenprojekt umfährt das gefährdete Gebiet auf einem ca. 360 m langen neuen Strassenabschnitt, der den Bau zweier neuer Brücken über den Fluss Calancasca erforderte (Brücken Auriglia und Loveira).

Randbedingungen

Im Bereich der Brücke Auriglia weist die Strassenachse eine Wendeklothoide auf mit Radien zwischen –75 m und +100 m. Das Quergefälle variiert dementsprechend von –5 % bis +5 %. Die Breite der Fahrbahn variiert längs der Brücke ebenfalls zwischen 7,45 m und 8,10 m. Im Bereich der Brücke Loveira weist die Strassenachse ebenfalls eine Klothoide auf mit einem minimalen Radius von 51 m. Das Quergefälle und die Fahrbahnbreite variieren dementsprechend von 2 % bis 5 % bzw. zwischen 7,55 m und 8,70 m. Die Längsgefälle betragen 3,9 % bei der Brücke Auriglia und 0,7 % bei der Brücke Loveira. Diese stark variablen Verhältnisse verlangten somit eine sorgfältige Projektierung.

Entlang des Projekttrassees besteht der Untergrund mehrheitlich aus grobem Blockschutt mit eingelagerten Sedimenten und Linsen der Calancasca. Die zwei Brücken weisen ein Freibord von 1,50 (Auriglia) bzw. 1,20 m (Loveira) gegenüber dem 100-Jahre-Hochwasser auf.

Introduction

The Calanca road is part of the connecting road network of the canton of Graubünden and links the communities of the Calanca valley in southern Switzerland. South of the junction to Selma, the road crossed an area at high risk of rockfall until 2022 and had therefore to be moved. With the new road project, the endangered area is bypassed by a new road construction about 360 m long. This required two new crossings of the Calancasca River with two new bridges (Auriglia and Loveira bridges).

Boundary conditions

In the area of the Auriglia bridge, the road follows an S-shaped clothoid with radii between –75 m and +100 m. The crossfall and the width of the road varies accordingly from –5 % to +5 % and between 7.45 m and 8.10 m, accordingly. In the area of the Loveira bridge, the road axis also follows a clothoid with a minimum radius of 51 m. The transverse slope and the carriageway width are also variable, between 2 % to 5 % and

Beschreibung des Tragwerkkonzepts

Wegen der Trassierung mit relativ engen Kurven sind beide Brücken von der Strasse gut sichtbar, jedoch aus ganz verschiedenen Blickwinkeln. Ausserdem ist zum Teil wenig Freiraum zwischen Tragwerk und Fluss vorhanden. Aus diesen Gründen war eine sorgfältige Gestaltung mit einer möglichst transparenten und filigranen Tragkonstruktion angebracht.

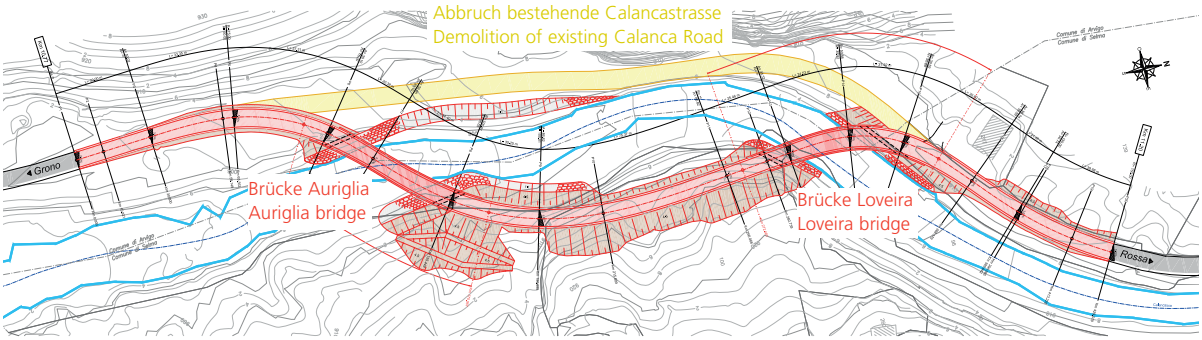

Fig. 1
Neues Strassenprojekt.
New road project.

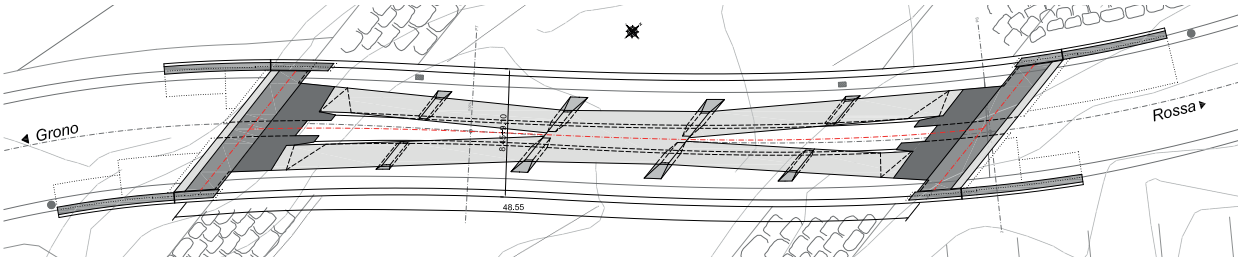

Fig. 2
Grundriss der Brücke Auriglia.
Plan view of Auriglia bridge.

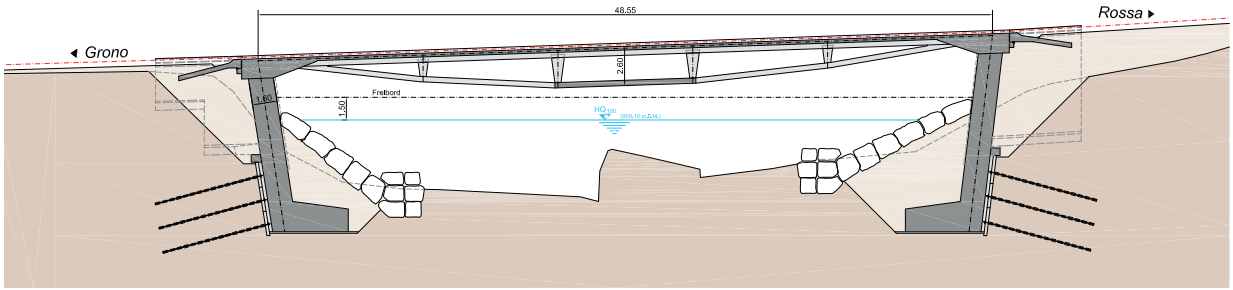

Fig. 3
Längsschnitt der Brücke Auriglia.
Longitudinal section of Auriglia bridge.

between 7.55 m and 8.70 m, respectively. The longitudinal gradients are 3.9 % for the Auriglia bridge and 0.7 % for the Loveira bridge. These highly variable geometrical conditions thus required careful project planning.
Along the project route, the subsoil consists mainly of coarse block rubble with inlaid alluvial lenses of the Calancasca River. The two bridges have a freeboard of 1.50 (Auriglia) and 1.20 m (Loveira) against the 100-year flood.

Description of the structural concept

Due to the relatively tight curves in the route, both bridges are relatively well visible following the road, but with very different viewing angles. At the same time,

Beide Brücken Auriglia und Loveira sind als schief gelagerte, gekrümmte einfeldrige Rahmentragwerke konzipiert. Sie sind als integrale Brücken ausgebildet, indem die wandartigen Widerlager mit dem Überbau monolithisch verbunden sind. Um die Horizontalkomponenten der Bodenreaktionen zu minimieren, sind die Widerlagerwände geneigt.
Die Brückenträger haben Spannweiten von 48,55 m bei der Brücke Auriglia und 42,85 m bei der Brücke Loveira. Um die Materialmengen zu minimieren und die gewünschte Transparenz zu erzielen, sind die Träger als unterspannte dünne Platten ausgebildet. Damit kann im Randbereich die Trägerhöhe auf 0,60 m reduziert wer-

there is relatively little free space between the structure and the river. For these reasons, a careful design with a supporting structure that is as transparent and light as possible has been seen as appropriate.
Both the Auriglia and Loveira bridges are designed as inclined, curved frame-like single-span girders. They are designed as integral bridges in that the wall-like abutments are monolithically connected to the superstructure. To minimise the horizontal components of the soil reactions, the abutment walls are inclined.
The bridge girders have spans of 48.55 m for the Auriglia bridge and 42.85 m for the Loveira bridge. In order to minimise the amount of material and to achieve the de-

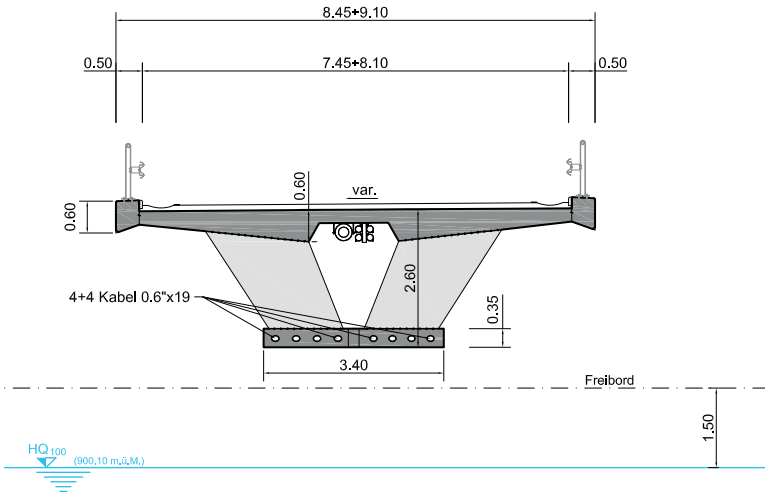

Fig. 4
Querschnitt der Brücke Auriglia.
Cross section of Auriglia bridge.

den. Die maximale Trägerhöhe in Feldmitte beträgt 2,60 m bei der Brücke Auriglia bzw. 2,20 m bei der Brücke Loveira (Verhältnisse Spannweite/Trägerhöhe gleich 18,7 bzw. 19,5).
Die Unterspannung besteht aus einer vorgespannten Betonplatte mit einer konstanten Stärke von 0,35 m (8 Kabel 0.6" x 19 Litzen,

sired transparency, the girders are designed as under-spanned thin slabs. This allows the girder height to be reduced to 0.60 m in the peripheral area, so that the walks along the riverbanks are impeded as little as possible. The maximum girder height in the centre of the girder is 2.60 m for the Auriglia bridge and 2.20 m for

zentrische Druckspannung des Zugbandes infolge Vorspannung allein $P_0/A_{Zugband}$ = 23,6 MPa, infolge Vorspannung und Eigengewicht 12,0 MPa, infolge Vorspannung und sämtlichen ständigen Lasten inkl. Langzeiteffekte 7,4 MPa). Zur Verbesserung der Tragwirkung infolge Brückenschiefe und Krümmung weisen

Fig. 5
Ansicht der Brücke Auriglia.
View of Auriglia bridge.

the Loveira bridge (span/height ratios equal to 18.7 and 19.5, respectively).
The tension band consists of a prestressed concrete slab with a constant thickness of 0.35 m (8 cables 0.6" x 19 strands, centric compressive stress due to prestressing only P_0/A_{band} = 23.6 MPa, due to prestressing and self-weight 12.0 MPa, due to prestressing and permanent loads incl. longtime effects 7.4 MPa). To improve the load-bearing behaviour due to bridge skew and curvature, the tension bands of both bridges have an X-shaped geometry in plan.
The deck slab has a variable width of 8.45 m to 9.10 m (Auriglia) and 8.55 m to 9.70 m (Loveira). Their thickness varies from 0.25 m to 0.60 m. In the central area, over a width of 2.40 m, it has a thickness of 0.25 m and thus offers space for the infrastructures without impairing the appearance of the bridge.
As other projects have shown and theoretical studies have confirmed, the structural efficiency of under-spanned systems can be significantly increased by designing the connecting elements between the tension and compression chords in such a way that large variations of chord forces can be transmitted [1, 2]. For this reason, these elements are designed in such a way that they can transfer relatively large moments into the slab under compression.
The structure is relatively flexible on twisting and thus allows possible differential rotations of the foundations in the coarse-block subsoil with potentially large discontinuities.
The abutments consist of an inclined wall into which the bridge deck is embedded. The foundation level of the flat footings was set about 2.5 m below the lowest point in the riverbed. In order to minimise differential settlements,

die Zugbänder eine X-förmige Geometrie im Grundriss auf.
Die Fahrbahnplatte mit zwei 50 cm breiten Konsolköpfen weist eine variable Breite von 8,45 m bis 9,10 m (Auriglia) resp. von 8,55 m bis 9,70 m (Loveira) auf. Ihre Dicke variiert von 0,25 m bis 0,60 m. Im Mittelbereich, auf einer Breite von 2,40 m, beträgt die Stärke 0,25 m und bietet somit Platz für die Werkleitungen, ohne das Erscheinungsbild der Brücken zu beeinträchtigen.
Wie schon andere Projekte gezeigt und theoretische Untersuchungen bestätigt haben, kann die statische Effizienz von unterspannten Systemen deutlich erhöht werden, indem die Verbindungselemente zwischen Zug- und Druckgurt so konzipiert werden, dass grosse Variationen der Gurtkräfte übertragen werden können [1, 2]. Aus diesem Grund sind diese Elemente so ausgebildet, dass sie relativ grosse Einspannmomente in die druckbeanspruchte Fahrbahnplatte einleiten können.
Die Struktur reagiert weich auf Verdrillung und erlaubt somit

Bauherrschaft/Owner
Kanton Graubünden, Tiefbauamt
Bauingenieur/Civil engineering
Lurati Muttoni Partner SA, Mendrisio-Roveredo
Ausführung/Execution
CSC Costruzioni SA, Lugano

Fig. 6
Ansicht der Brücke Loveira.
View of Loveira bridge.

Fig. 7
Untenliegendes Lehrgerüst der Brücke Auriglia.
Underslung falsework of Auriglia bridge.

eventuelle differenzielle Rotationen der Flachfundamente im grobblockigen Untergrund mit potenziellen grossen Diskontinuitäten.
Die Widerlager bestehen aus einer geneigten Wand, in der die Fahrbahnplatte eingespannt ist. Die Fundationskote der Flachfundamente wurde zum Schutz vor Unterkolkung rund 2,5 m unter dem tiefsten Punkt im Flussbett festgelegt. Um differenzielle Setzungen zu minimieren, musste bei der Ausführung darauf geachtet werden, dass der Baugrund auf Fundationskote möglichst homogen ist. Wo dies nicht der Fall war, wurde ein zusätzlicher Aushub ausgeführt und das Material ersetzt. Die 0,5 m starken Flügelmauern sind ebenfalls flach fundiert und von der Widerlagerwand dilatiert, was temperaturbedingte Ausdehnungen des Oberbaus ohne grosse Zwängungen erlaubt.
Dank der Ausbildung als integrale Brücke sind keine Lager und keine Dilatationsfugen vorgesehen. Dies gewährleistet eine hohe Dauerhaftigkeit bei einem Minimum an Unterhalt.
Die gewählten Bauteilabmessungen lassen den Einsatz von Baustoffen üblicher Qualität zu (Druckfestigkeitsklasse des Betons C30/37 Überbau, C25/30 Unterbau).
Das auf der Brücke anfallende Meteorwasser fliesst aufgrund des Brückenquergefälles zu den Brückenrändern und durch die seitlichen Rigolen zuerst in die Einlaufschächte und dann direkt in die Calancasca. Die Anordnung der Schächte wurde so gewählt, dass auch bei Wind kein Salzwasser auf die Unterspannung gelangt.

care had to be taken during construction to ensure that the ground was as homogeneous as possible at the foundation level. Where this was not the case, additional excavation was carried out and material replacement was provided. The 0.5 m thick wing walls also have shallow foundations and are detached from the abutment main wall, which allows the tem-perature expansion of the superstructure without major constraints.
Thanks to the design as an integral bridge, no bearings and no movement joints are provided. This guarantees a high durability with a minimum of maintenance.
The chosen component dimensions allow the use of building materials of usual quality in this region (concrete class C30/37 deck, C25/30 abutments and footings).
The meteoric water accumulating on the bridge is collected at one edge of the carriageway and led through the lateral channels first into the inlet shafts and then directly into the Calancasca. The arrangement of the shafts was chosen in such a way that even in

Literatur/Literature
[1] Muttoni, A., Brücken mit einem innovativen statischen System, Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 26, 1997, p. 548–551, http://dx.doi.org/10.5169/seals-79272
[2] Muttoni, A., Two bridges with composite prestressed tension chords, Structural Concrete in Switzerland 1998–2002, Report of the Swiss national group of fib, 1st fib Congress at Osaka, 2002, p. 72–75

Fig. 8
Obenliegendes Lehrgerüst der Brücke Loveira.
Overslung falsework of Loveira bridge.

windy conditions, no water containing deicing salt reaches the tension band.

Construction process

The construction of the new road section was carried out using conventional construction methods. The Auriglia bridge was built with an underslung falsework with an intermediate support in the middle of the river. The Loveira bridge, on the other hand, was built with an overslung falsework without intermediate support due to the insufficient space between the bridge and the river.
After the construction of the abutments, the tension band was built. Then the connecting elements between tension and compression chords were concreted and the carriageway slab was constructed. Finally, the tension band was prestressed and the bracket head was concreted.

Bauvorgang

Die Erstellung des neuen Strassenabschnitts erfolgte in konventioneller Bauweise. Die Brücke Auriglia wurde mit einem untenliegenden Lehrgerüst mit einer Abstützung in Flussmitte erstellt. Die Brücke Loveira wurde zur Gewährleistung der Abflusskapazität im Bauzustand dagegen mit einem obenliegenden Lehrgerüst ohne Zwischenabstützung gebaut. Nach dem Bau der Widerlager wurde jeweils das Zugband erstellt. Danach wurden die Querträger betoniert und am Schluss die Fahrbahnplatte erstellt. Schliesslich wurde das Zugband vorgespannt und der Konsolkopf betoniert.

Autoren/Authors

Franco Lurati
Ing. dipl. ETHZ

Livio Muttoni
Ing. dipl. SUPSI

Mirko Rezzonico
Ing. dipl. EPFL

Aurelio Muttoni
Prof. Dr ès techn., ing. dipl. ETHZ

Lurati Muttoni Partner SA
CH-6850 Mendrisio
CH-6535 Roveredo
info@lmpartner.ch