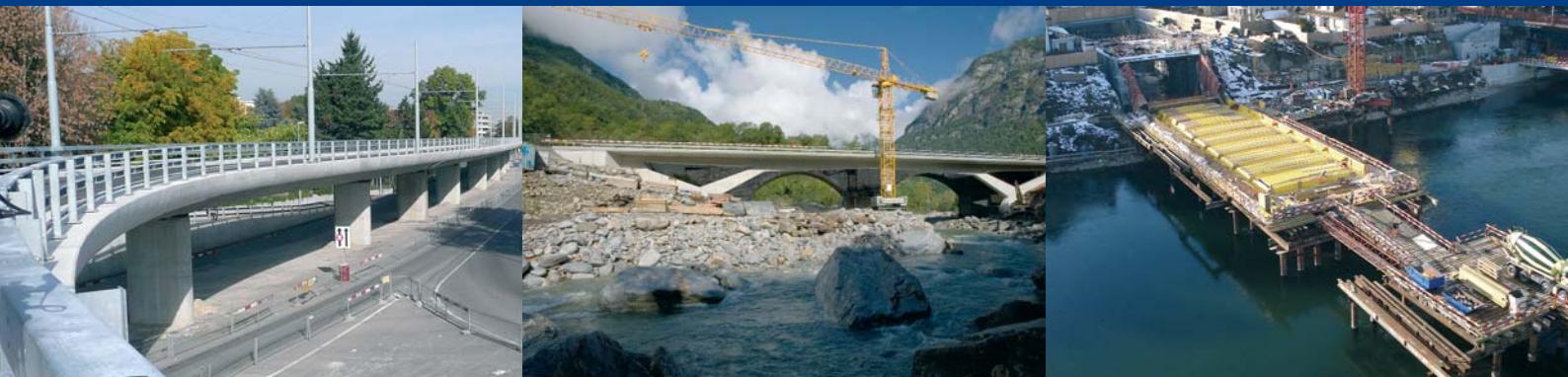


Brücken

Ponts

Bridges



Viaduc Lect à Genève – concepts et méthodes pour de fortes contraintes urbaines

Design and construction for severe constraints: the Lect Viaduct, Geneva

Jean-François Klein, Nicolas Guillot

Introduction

Devoir maintenir en tout temps la circulation sous ouvrage et travailler dans un espace restreint au centre du trafic a orienté le choix de la méthode de construction de cet ouvrage vers la réalisation de voussoirs préfabriqués. En effet, ces derniers sont une réponse efficace au problème de coffrage et de sécurité inhérentes à une solution coulée en place et permettent d'isoler le chantier du trafic en élévation. De plus, la solution préfabriquée est judicieuse vis-à-vis du respect du planning des travaux. Non seulement les voussoirs sont construits en temps masqué par rapport à l'infrastructure du viaduc (pieux, piles, culées ...), mais le concept permet une réalisation sur site de 24 mois.



Fig. 1
Plan de situation de l'ouvrage.
Viaduct situation plan.

Introduction

The necessary continuity of the traffic under the viaduct restricted the available working space to a very limited area and led to the choice of a structure made of precast segments. As a matter of fact, this is an efficient response in the context, since a cast-in-place method has specific requirements in terms of working environment and security around the structure. Here, the prefabrication method efficiently separates traffic under the structure from construction works on top. In addition, the prefabrication method has big advantages regarding the construction timeframe: not only are the segments built in concurrent operation time with the supports (foundation piles, bridge piles, abutments ...), but also this concept allows rather quick on-site works (ten segments laid in two days). This permitted keeping the construction period to less than a maximum of 24 months.

Situation, géométrie

The viaduct Lect is the aerial portion of a new tramway line on Lect St., between Meyrin Road and Livron St. (in Geneva). The structure is a concrete box girder prestressed by post-tensioning, and is 333.5 m long. The new TCMC tramway line joins Cornavin Railway Station to the CERN. The viaduct is S-shaped in plan view, with a small curvature at the south end (min. radius 50 m), followed by a straight portion, and a slightly larger curvature at the north end (radius 100 m).

Structural concept

The deck of the first viaduct is fixed to the south end abutment and rests on longitudinally sliding

Situation, géométrie

Le Viaduc Lect permet une liaison aérienne de la nouvelle ligne de tram sur la rue Lect, reliant la route de Meyrin à la rue de Livron (Canton de Genève). L'ouvrage est en béton précontraint (post-tension) et s'étend sur une longueur totale de 333,5 m.

Le tracé permettra au futur tramway du TCMC de relier la gare Cornavin de Genève à la ville de Meyrin jusqu'au CERN. Vue en plan, le tracé en S présente une courbure prononcée à l'entrée côté sud (rayon min 50 m), suivi d'un alignement et d'une courbure plus légère à la sortie côté nord (rayon 100 m).

Système statique

Le tablier du premier ouvrage est encastré sur la culée sud et dissocié des autres piles par des appuis glissants. Il est en outre guidé latéralement sur les piles et aux joints de dilatation intermédiaire.

Le tablier du second ouvrage est encastré sur 4 piles (piles P6 à P9) et libre de se dilater longitudinalement sur les autres appuis. Transversalement, l'ouvrage est tenu à chaque appui.

Les portées des 11 travées standard varient entre 24 et 25 m. Celles des 4 travées de rive varient entre 13,5 et 18 m.

Section transversale

La section transversale de l'ouvrage a été développée pour exploiter au mieux la faible hauteur statique à disposition à l'axe de l'ouvrage, tout en respectant les gabarits routiers latéraux sur la rue Lect. La hauteur statique disponible est de 1,50 m entre l'intrados du tablier et le niveau des rails. L'intrados voûté des ailes latérales de la section permet non seule-

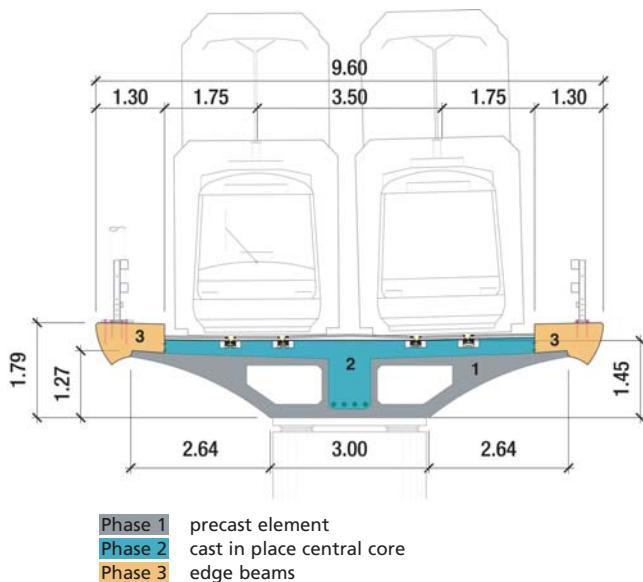


Fig. 2

Coupe transversale type du viaduc.
 Typical cross section of the viaduct.

bearings on the piles. It is also guided transversally on every pile and on the intermediate expansion joints.

The deck of the second viaduct is rigidly connected to 4 piles (P6 to P9), and free to expand longitudinally on the other supports. It is also guided transversally on every support.

The length of the main spans varies between 24 m and 25 m. The length of the four side spans varies between 13.5 and 18 m.

Cross section

The cross section of the viaduct was conceived in a way that optimizes the rather small available structural height, maintaining at the same time the lateral clearance on Lect St. The available height for the structure is 1.50 m between the intrados of the deck and the altitude of the rails. The concave sides of the intrados help maintain the lower and lateral clearances, but above all provide more light and give a visual feeling of slenderness for people on Lect St.

The overall width of the deck is 9.25 m, and goes up to 10.20 m in its widest section (on the south abutment). The change in width is achieved by varying the central part of the section. Thus the two

ment de dégager les gabarits latéraux, mais surtout d'apporter de la lumière et un élancement visuel échappatoire aux usagers de la rue Lect.

La largeur hors tout du tablier est de 9,25 m en alignement et atteint 10,20 m dans sa partie la plus large (côté culée sud). L'adaptation de largeur se fait par une variation de la partie centrale de la section. Par conséquent, les deux ailes restent à géométrie constante.

La section transversale du tablier est évidée en travée, ce qui permet de réduire son poids propre, et pleine sur appui pour pouvoir reprendre la compression due aux moments négatifs et garantir la ductilité de la section. Le « noyau central » de la section est plein en continu afin de permettre le cheminement des câbles de précontrainte de continuité (4 x 6-22).

Cinématique de construction

Diverses raisons, qu'elles soient techniques, architecturales, de rapidité de construction, d'encombrement au sol, de limitation de la gêne aux usagers, ont conduit au choix de la construction de cet ouvrage à l'aide de voussoirs préfabriqués posés sur cintre et complétés par un béton coulé

sur les parties latérales qui ont une géométrie constante.

The cross section is hollow in the spans, to reduce the dead weight, and solid on the supports to take the compression due to negative bending moments and ensure the ductility of the section. The "central core" of the section is continuously solid because this is where continuous prestressing cables, which preserve the continuity, are located (4 x 6-22).

Construction steps

Different reasons led to the adoption of a solution using precast segments placed on a temporary centering, completed by cast-in-place parts (top part of slab and edges built with a moving carriage): these reasons concern construction techniques as well as architecture, construction time, available space on site, and reduction of disturbance to people locally. The construction was sequenced as follows:

- digging foundation piles and casting footings,
- construction of piles and abutments,
- installation of bearings,
- construction of temporary centering,
- placing, assembling and connecting the prefabricated segments,
- post-tensioning of lower prestressing cables span by span,
- casting of central core and top part of slab including continuous prestressing cables,
- casting of deck edges,
- post-tensioning of two-span-long prestressing cables,
- waterproofing and security equipment,
- other equipment.

The on-site construction of one span took about two weeks, excluding the installation of equipment.

Prefabrication of the segments

Despite its plan curvature, the viaduct can be constructed by prefabricating the lower part of the section, dividing the deck into 2.5 m length of segments. These



Fig. 3
Réalisation d'un voussoir préfabriqué en usine.
Prefabrication of a segment in the plant.

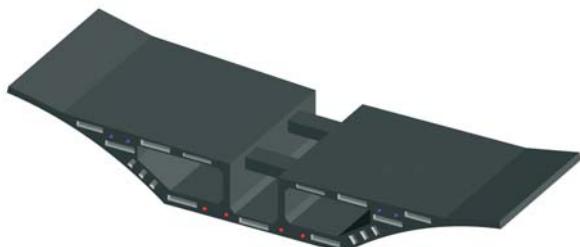


Fig. 4
Voussoir préfabriqué en travée.
View of a span-located segment.

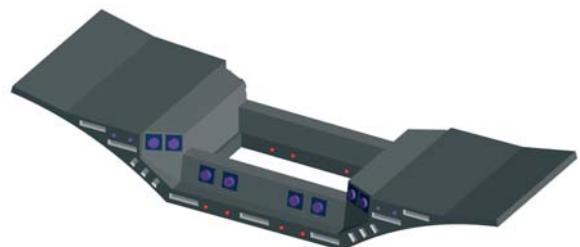


Fig. 5
Voussoir préfabriqué sur pile.
View of a pile-located segment.

en place (surbéton puis bordures latérales réalisées à l'aide de chariots mobiles).

La cinématique de construction du viaduc est la suivante :

- exécution des pieux et semelles,
- réalisation des piles et culées,
- pose des appuis,
- pose de cintres provisoires,
- montage, assemblage et collage des voussoirs préfabriqués travée par travée,
- mise en tension de la précontrainte inférieure travée par travée,
- exécution du surbéton et pose des câbles de continuité,
- exécution des bordures,
- mise en tension des câbles de continuité toutes les 2 travées,

segments are produced using C50/60 concrete, and each segment is cast directly next to the previous one in the plant, so that the contact surface is as identical as possible and then the on-site joint as thin as possible.

The transmission of shear forces is achieved through shear keys on end sides of the segments (on vertical webs and lower slab). The prefabricated segments are assembled on-site using a high-strength epoxy adhesive, and tightened with temporary prestressing bars. The prefabrication method (casting each segment next to the previous one) imposes a very strict construction tolerance. As a matter of fact, the segments are then assembled on-site, with the geometry resulting from the prefabrication casting process. The complexity of the Lect viaduct then lies in the definition of this geometry in the precasting plant, that has to fit perfectly on-site to create the 3D geometry of the structure.

Segment placing

A thin layer of epoxy adhesive is laid only on the vertical parts of the end-side of a segment. The sloping sides of the gear mesh do not require adhesive. The parts that do receive adhesive are previously sanded before being brought to the construction site. Immediately after placing the segment next to the previous one, a temporary prestressing is tightened to connect the two adjacent segments. Prestressing bars are used for this temporary prestressing.

Once the whole span is assembled, the segment located on the pile is constructed. The lower prestressing cables are then tensioned on the new span.

Construction of top slab and deck edges

The C40/50 concrete of the top slab is cast in place on the span preceding the one that is being assembled. The prestressing cable ducts are laid in the central part of the segments. The formwork used for this step contains reen-

- pose de l'étanchéité et des éléments de sécurité,
- pose des équipements.

Globalement, le cycle d'exécution d'une travée complète hors équipements est de l'ordre de deux semaines.

Prefabrication des voussoirs

Malgré son tracé curviligne variable, l'ouvrage se prête favorablement à la préfabrication de la partie inférieure par des voussoirs en découpant l'ouvrage en tranches rayonnantes de 2,5 m à l'axe. Les voussoirs, constitués de béton C50/60, sont fabriqués selon la méthode des joints conjugués en les bétonnant directement contre l'élément adjacent déjà fabriqué, de façon à obtenir une surface de contact identique et un joint le plus mince possible.

La transmission des efforts de cisaillement se fait grâce à une série de clés à engrènement réparties de façon régulière sur toute la hauteur des âmes et de la dalle inférieure. Les éléments préfabriqués sont solidarisés sur place lors de la pose par une colle époxy haute résistance et serrés par des barres de brelage.

Le processus de construction par joints conjugués réduit à néant les tolérances de fabrication. En effet, sur chantier les voussoirs vont s'emboîter les uns dans les autres suivant la géométrie définie lors du bétonnage sur la table de préfabrication. La complexité majeure du Viaduc Lect réside ainsi dans la définition de cette géométrie en usine, qui doit au final parfaitement reconstituer l'ouvrage en trois dimensions.

Pose des voussoirs

La colle se met en couche fine et ne s'applique que sur les faces verticales. Les faces inclinées des gravures ne seront pas enduites de colle. Les surfaces de collage sont sablées en usine avant acheminement des voussoirs sur chantier. Immédiatement après collage, un brelage local de voussoir à voussoir est appliqué sous forme de barres de précontrainte. Après la pose et le collage d'une travée de voussoirs, le voussoir sur

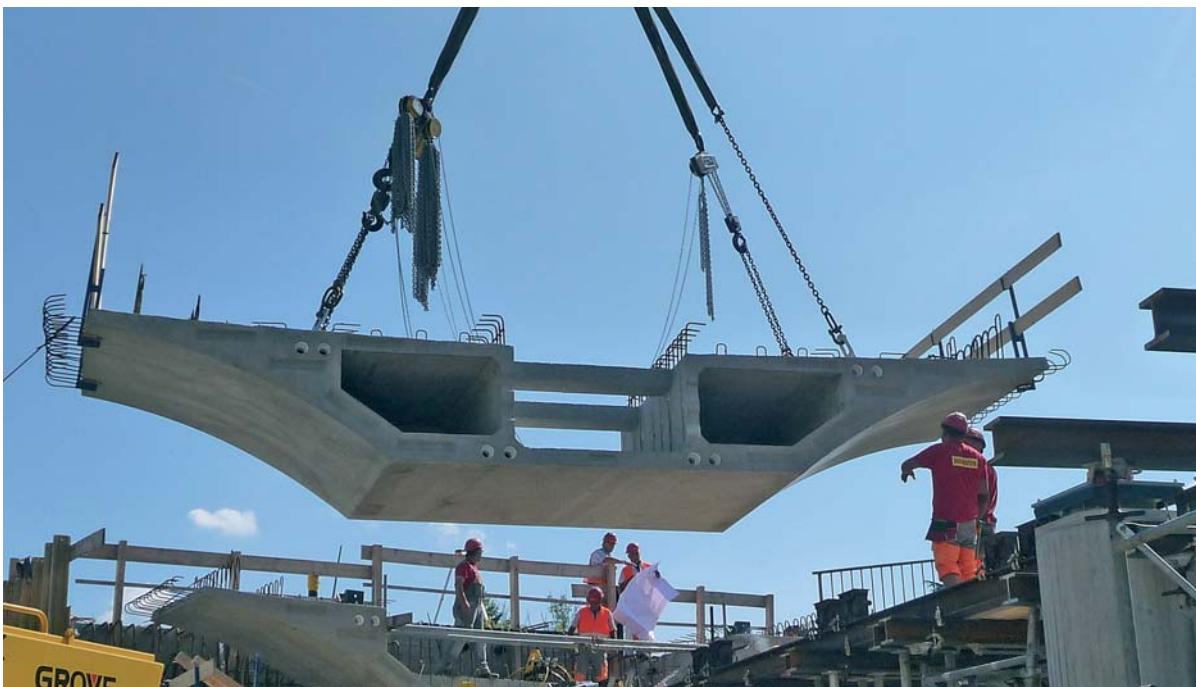


Fig. 6

Mise en place du 2^{ème} élément préfabriqué sur site.
Assembling the second prefabricated segment on site.

trant parts that create a space in which the rails are then sealed with epoxy resin.

After the top part of the cross section has been finished, the continuous prestressing cables are tensioned (4 x 6-22). Niches are left in the deck to anchor further cables. The deck edges are cast using two moving carriages with the formwork. These carriages are laid on the central part of the deck and have an overhanging part on the edges. The edges are constructed on the spans for which the cross section is already complete. Six metre lengths are built per casting step (five framework panels of 1.20 m).

Post-tensioning

The continuity of the viaduct is ensured by prestressing cables and by the cast-in-place central core of the deck and top slab.

There are three distinctive groups of prestressing cables in the deck:

- The “installation prestress” is made of straight cables running in one span. The ducts are put in the prefabricated segments. These cables are tensioned in each span after all segments have been assembled,

pile est bétonné. La précontrainte de brélage est alors mise en tension sur la dernière travée posée.

Exécution du surbéton et des bordures

Le mise en œuvre du surbéton C40/50 s’effectue sur la travée qui précède celle de la pose des voussoirs. Les gaines de précontrainte sont posées à vide dans le noyau central des voussoirs. Le coffrage de ce béton additionnel intègre des réservations dans lesquels seront scellés les rails à l’aide d’une résine époxy (système de pose en voie noyée).

A la fin de l’exécution du surbéton de la travée considérée, la précontrainte de continuité (4 x 6-22) est enfilée puis mise en tension. Aux ancrages des autres câbles, des niches de mise en précontrainte sont réservées dans le béton.

Le bétonnage des bordures est réalisé à l’aide de deux chariots mobiles tenus en encorbellement latéral et appuyés sur la partie centrale du tablier. Les bordures sont bétonnées sur les travées arrières dont le surbéton a déjà été mis en place. La longueur de bétonnage des bordures est de 6 m

and the segment concreted on the pile. It is composed of six cables (type 6-12).

- The “continuity prestress” has a parabolic shape and features two pairs of two cables running on two adjacent spans, with alternate overlap on piles supports. Thus four cables are located in the lower part of the section at mid-span, and six cables cross in the upper part of the section of a pile. All the



Fig. 7

Tracé de la précontrainte de continuité sur appui.

View of continuity prestressing cables above a pile.

(cinq panneaux de coffrage de 1,20 m).

Mise en précontrainte par post-tension

La continuité de l'ouvrage est garantie par des câbles de précontrainte et par le bétonnage sur place du noyau central et de la dalle supérieure du tablier. La précontrainte du tablier est constituée de trois groupes de câbles distincts :

- La précontrainte appelée « précontrainte de brêlage » est une précontrainte rectiligne courante sur une travée, intégrée dans les éléments préfabriqués et assurant le serrage des voussoirs après mise en place et collage de ceux-ci et bétonnage du voussoir sur pile. Elle est constituée de six câbles type 6-12.
- La précontrainte appelée « précontrainte de continuité » est une précontrainte parabolique courante par paire de deux câbles sur deux travées, alternés avec recouvrement sur appui. De cette manière, quatre câbles sont en position basse au centre de chaque travée, et six câbles se croisent en position haute sur les appuis. Cette précontrainte est totalement placée dans le surbéton du noyau central. Elle est constituée de câbles type 6-22.
- La précontrainte appelée « précontrainte de serrage » est une précontrainte rectiligne cou-

cables are located in the concrete of the central core of the section. It is made of type 6-22 cables.

- The “tightening prestress” is made of straight cables running in one span. The ducts are installed in the prefabricated segments. It is composed of two cables (type 6-12), and ensures compression of the deck edges once the whole structure is completed in the span.

All the prestressing elements are electrically insulated to avoid problems due to stray currents from equipment and running tramways (cables are category C). To do so, special coupling sleeves were designed and executed by VSL. Those sleeves located at every segment joint in the ducts ensure water tightness and electrical insulation of the prestressing cables. The efficiency of the system is measured in electrical boxes integrated in the deck, and the general concept also features a way to connect each cable to electrical ground in the case of an insulation failure.

rante sur une travée, intégrée dans les éléments préfabriqués. Constituée de deux câbles type 6-12, elle assure une compression dans les bordures après achèvement sur la travée considérée.

L'ensemble de la précontrainte est isolée électriquement afin d'éviter les problèmes liés aux courants vagabonds provenant du matériel roulant (câbles de catégorie C).

A cet effet, des manchons spéciaux ont été conçus et mis en œuvre par VSL. Ces éléments garantissent à chaque joint entre voussoirs préfabriqués l'étanchéité et l'isolation électrique des câbles de précontrainte. L'intégrité de ce système est mesuré à l'aide de coffrets électriques intégrés dans les caissons de l'ouvrage, le concept général permettant de relier chaque câble à la terre en cas de problème.

Auteurs/Authors

Jean-François Klein
Dr ès sc. techn., ing. civil dipl. EPFL
Administrateur de T ingénierie sa
CH-1211 Genève
Email: gva@t-ingénierie.com

Nicolas Guillot
Ing. Chebap, ingénieur ouvrages d'art
T ingénierie sa
CH-1211 Genève
Email: gva@t-ingénierie.com



Fig. 8

Vue de l'ouvrage depuis le bas de la culée sud.
View of the viaduct from the bottom of south abutment.



Fig. 9

Vue de l'ouvrage depuis le haut de la culée sud.
View of the viaduct from the top of south abutment.

Aarebrücken, Entlastung West in Solothurn

Bridges across the Aare River, by-pass West in Solothurn

Armand Fürst, Massimo Laffranchi

Einleitung

Seit Beginn der fünfziger Jahre wurde der Verkehrsfluss in Solothurn – einhergehend mit der starken Zunahme des motorisierten Individualverkehrs, die ungünstige Lage der vorhandenen Brückebauten und die engen Verhältnisse in der historischen Altstadt – zunehmend behindert. Aus diesem Grund wurde bereits sehr früh nach Möglichkeiten für eine Entlastung der Innenstadt gesucht und schliesslich die Variante einer westlich der Stadt angeordneten Umfahrungsstrasse favorisiert. Nach dem Studium verschiedener Varianten und langem politischen Seilziehen führte man im Jahr 2003, nachdem die Finanzierung unter Mithilfe des Bundes gesichert war, einen Ingenieursubmissionswettbewerb zur Planung der gesamten Entlastungsstrasse durch.

Die Ausschreibung des Wettbewerbs über die gesamte Anlage (Fig. 1) verfolgte das Ziel, hinsichtlich Gestaltung und Funktion eine optimale Lösung zu erreichen. Wegen der unmittelbaren Nähe zum Siedlungsgebiet wurde dem Lärmschutz eine grosse Bedeutung beigemessen. Die Attraktivität für den Langsamverkehr

Introduction

With the big increase in motorized individual traffic since the early fifties, the traffic flow in Solothurn has been increasingly hindered. The unfavorable locations of the existing bridges and the lack of space in the historic part of the town have exacerbated the problem. As a result, several possibilities of providing traffic relief in the town centre have been investigated for a long time. In the end, the alternative of a bypass running to the west of the town was the favored solution. After studying the various project alternatives and a lengthy political dispute, a design competition was advertised in 2003 for the whole of the by-pass road. The financing was guaranteed with the help of the Swiss Government. The advertisement of the competition for the project as a whole (Fig. 1) aimed to achieve an optimal solution with regard to form and function. Much importance was attached to noise prevention because of the proximity to a residential area. The attractiveness of non-motorized traffic was to be achieved by a pedestrian and cycle path separate from the bypass road. Additional technical obstacles were caused by the difficult geology, which is characterized by a thick layer of soft lacustrine deposits.

Leporello project

The Leporello project was the winning one from among 13 entries in the two-stage design competition. The core idea of this project was the creative design of a by-pass road in the form of a channel, which had to fulfill different demands with regard to traffic and noise prevention along its alignment.

The road channel is entirely open in areas with development poten-

sollte durch eine von der Entlastungsstrasse getrennte Führung der Verbindungen erreicht werden. In bautechnischer Hinsicht ergaben sich aufgrund der Geologie, die von weichen Seebodenablagerungen mit grosser Schichtmächtigkeit geprägt ist, zusätzliche Erschwernisse.

Projekt Leporello

Das Projekt Leporello wurde im zweistufigen Ingenieursubmis-

Projektdaten

Bauherr

Amt für Verkehr und Tiefbau des Kantons Solothurn und Stadt Solothurn

Planer Gesamtanlage

IG Leporello: Gruner Ingenieure AG; Fürst Laffranchi Bauingenieure GmbH; Nissen Wenzlaff Architekten AG

Entwurf und Projekt Brücken

Fürst Laffranchi Bauingenieure GmbH

Örtliche Bauleitung

Gruner Ingenieure AG

Unternehmungen

Aarebrücke: Arge ASW mit Porr Suisse AG, Zürich; Züblin-Strabag AG, Zürich; Dywidag Bau GmbH, Nürnberg; Porr Technobau und Umwelt AG, Wien; Vorspannung: Stahlton AG, Zürich

Aaresteg: Arge Go West mit Rothpletz Lienhard und Cie AG, Aarau; Marti AG, Solothurn; Astrada AG, Subingen; Implenia Bau AG, Zürich; Seilbau: Pfeiffer AG, D-Memmingen

Technische Daten Aarebrücke

Totale Länge: ca. 390 m

Spannweiten: von 25,9 bis 78 m

Bruttobreite: 13,0 m

Konstruktionsbeton: 7000 m³

Bewehrungsstahl: 1000 t

Vorspannung: 110 t

Ortbetonrammpfähle: 3200 m

Mikropfähle: 770 m

Technische Daten Aaresteg

Totale Länge inkl. Rampen: 190 m

Spannweiten: 15,1 – 72,0 – 15,1 m

Bruttobreite: 6,1 m

Konstruktionsbeton: 910 m³

Bewehrungsstahl: 105 t

Vorspannstahl: 2 t

Seiltragwerk: 22 t

Konstruktionsstahl: 22 t

Ortbetonrammpfähle: 830 m

Mikropfähle: 1100 m

Kosten

Aarebrücke: CHF 16 Mio.

Aaresteg: CHF 6 Mio.



Fig. 1

Westtangente Solothurn.
By-pass West Solothurn.



Fig. 2

Brückenüberbau mit integriertem Lärmschirm.
Bridge girder with integrated noise protection barrier.

tial, enabling an outflow of traffic, while it is closed or partially closed in areas with connecting character in order to adequately protect the adjacent areas from noise. Based on this idea, in the area "Obach", where a future urban development is planned, the channel is enclosed in the cut and cover tunnel and partly open between noise-protection barriers in the bank area.

An architectonic unity between tunnel, ramp, noise-protection barriers and bridge was achieved by integrating the noise protection into the bridge structure (Fig. 2). As a result of this innovative design, the bridge appears slender in spite of its nearness to the ground in the foreland areas. The road network for the pedestrian and cycle traffic runs independently over long stretches.

sionswettbewerb aus insgesamt 13 Lösungsansätzen als Sieger erkoren. Kernidee dieses Projekts war die gestalterische Auffassung der Umfahrungsstrasse als Kanal, der entlang seines Trassees unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich Verkehr und Lärmschutz zu erfüllen hat. Während in Bereichen der Strasse mit Erschließungscharakter der Kanal vollständig offen ist und ein Ausströmen des Verkehrs ermöglicht, ist er in Bereichen mit Verbindungscharakter ganz oder teilweise geschlossen, um die angrenzenden Gebiete adäquat vor Lärm zu schützen. Aus dieser Idee leitet sich ab, dass im Gebiet Obach, in dem eine zukünftige Stadtentwicklung geplant ist, der Kanal geschlossen im Tagbautunnel und im Uferbereich teilweise offen zwischen Lärmschutzwänden geführt wird.

Due to the low speed of the traffic, its character differs clearly from that of the bypass road. The design of the footbridge takes into account this aspect. The path crosses the river at right angles and is supported by a very light cable structure, which is consciously intended to contrast with the heavy motorized traffic.

Aare bridge

The Aare bridge is the most distinctive structure of the western by-pass. It crosses the river area with span lengths increasing from both sides towards the river (Fig. 3 and 4). To obtain a maximum degree of transparency under the bridge, the support structure is adapted in its form and

Project Data

Client

Amt für Verkehr und Tiefbau des Kantons Solothurn und Stadt Solothurn

Design

IG Leporello: Gruner Ingenieure AG; Fürst Lafraanchi Bauingenieure GmbH; Nissen Wenzlaff Architekten AG

Bridges, Concept and Design

Fürst Lafraanchi Bauingenieure GmbH

Construction site management

Gruner Ingenieure AG

Contractors

Aare bridge: Consortium ASW with Porr Suisse AG, Zurich; Züblin-Strabag AG, Zurich; Dywidag Bau GmbH, Nürnberg; Porr Technobau und Umwelt AG, Wien; Prestressing: Stahlton AG, Zurich

Aare footbridge: Consortium Go West with Rothpletz Lienhard und Cie AG, Arau; Marti AG, Solothurn; Astrada AG, Subingen; Implenia Bau AG, Zurich; Cable Structure: Pfeiffer AG, D-Memmingen

Technical data road bridge

Total length: ca. 390 m

Span length: between 25.9 and 78 m

Gross width: 13.0 m

Structural concrete: 7000 m³

Reinforcing steel: 1000 t

Prestressing steel: 110 t

Driven cast-in-place piles: 3200 m

Micro piles: 770 m

Technical data footbridge

Total length ramps inclusive: 190 m

Span length: 15.1 – 72.0 – 15.1 m

Gross width: 6.1 m

Structural concrete: 910 m³

Reinforcing steel: 105 t

Prestressing steel: 2 t

Cable structure: 22 t

Steel: 22 t

Driven cast-in-place piles: 830 m

Micro piles: 1100 m

Costs

Aare bridge: CHF 16 million

Aare footbridge: CHF 6 million

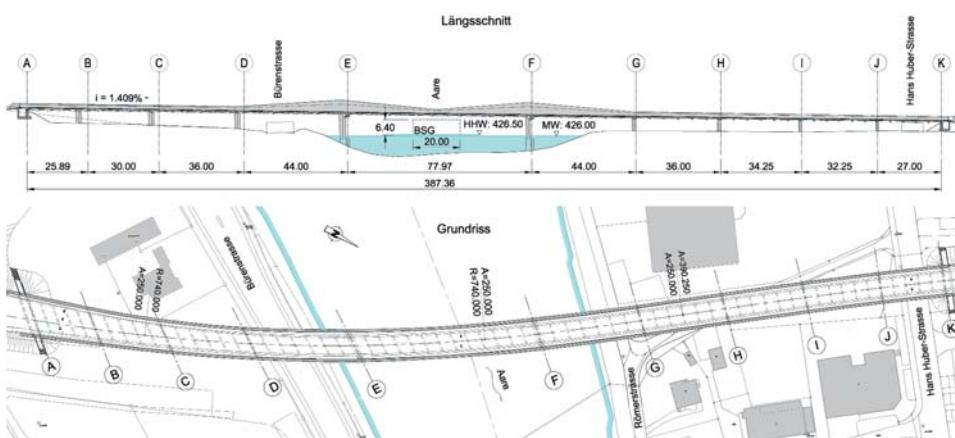


Fig. 3

Aarebrücke: Längsschnitt und Situation.
Aare bridge: longitudinal section and plan view.

Eine gestalterische Einheit zwischen Tunnel, Rampen, Lärmschutzwänden und Brücke wurde durch Integration des Lärmschutzes ins Brückentragwerk erreicht (Fig. 2). Diese innovative Gestaltung des Brückenbaus ermöglichte, dass die Brücke trotz ihrer Nähe zum Boden in den Vorlandbereichen schlank erscheint. Das Verkehrsnetz für den Langsamverkehr, das über weite Bereiche unabhängig geführt wird, unterscheidet sich durch die Kleinmasstäblichkeit der Verkehrsteilnehmer und die geringe Geschwindigkeit des Verkehrs deutlich von jenem der Strasse. Diesem Umstand trägt die Gestaltung der Fussgängerbrücke Rechnung, indem der Fluss senkrecht und mit einem sehr leichten Seiltragwerk überspannt wird, womit bewusst ein Kontrapunkt zum motorisierten Verkehr gesetzt wird.

Aarebrücke

Die Aarebrücke, als markantestes Bauwerk der Entlastung West, überbrückt die Aarelandschaft mit wachsenden Spannweiten gegen den Fluss (Fig. 3 und 4). Um unter der Brücke eine möglichst grosse Transparenz zu erhalten, passt sich ihr Unterbau in seiner Form und Anordnung dem Gelände an. Die grösste Spannweite über den Fluss von ca. 78 m erfordert, dass die Höhe des tröpfchenförmigen Brückenquerschnitts mit integrierter Lärmschutzfunktion ausgehend von 2,5 m im Vorland auf 6,0 m bei den Flusspfeilern E und F vergrössert wird, was das Erscheinungsbild prägt und die Lage des Flusses erkennbar macht.

Aufgrund der grossen Länge des Bauwerks ist der durchlaufende Überbau schwimmend gelagert, damit die Dehnwege bei den Widerlagern beschränkt sind. Den Festpunkt des Systems bilden die beiden Flusspfeiler E und F, die monolithisch mit dem Überbau verbunden sind. Diese Ausbildung des Festpunkts begründet sich neben der zentralen Lage innerhalb des Tragwerks auch dadurch, dass der Unterbau einem Schiffsanprall mit beachtlicher Einwirkung standhalten muss.



Fig. 4

Aarebrücke: Ansicht von der Oberwasserseite.

Aare bridge: view from upstream.

arrangement to the terrain. The longest span of 78 m, which is above the river itself, requires that the height of the bridge with its trough-shaped cross section, which at the same time provides noise protection, increases from 2.5 m in the foreland area to 6.0 m above the river piers E and F. This lends it a characteristic appearance, pinpoints the location of the river.

Due to the great length of the structure, the continuous superstructure is conceived as a floating system, in order to restrict the movements at the abutments. The fixed point of the system is given by the two river piers E and F, which are monolithically connected with the superstructure. Besides the central position of the river piers along the structure, this choice is also justified by the

Der gesamte Unterbau ist bedingt durch die geologischen Verhältnisse auf Ortbetonrammpfählen fundiert, die beim Einbringen eine Nachverdichtung des Bodens und damit eine Erhöhung der Steifigkeit gewährleisten. Im Bereich des Flusses, wo die Bodensteifigkeit besonders klein ist, müssen neben den gravitativen Einwirkungen auch Anprall- und Bremskräfte abgetragen werden. Da die seitliche Bettung der Pfähle zur Abtragung dieser Kräfte nicht ausreichend ist, sind die Fundamente durch stark geneigte Mikropfähle verstärkt. Der Bau der Brücke erfolgte innerhalb zweier Jahre. Da die Aare lediglich im Winter kurzfristig schiffahrtsfrei ist, musste der Fluss im Unterschied zu den konventionell auf einem Lehrgerüst hergestellten Vorlandspannweiten



Fig. 5

Freivorbauphase.

Free cantilever construction stage.

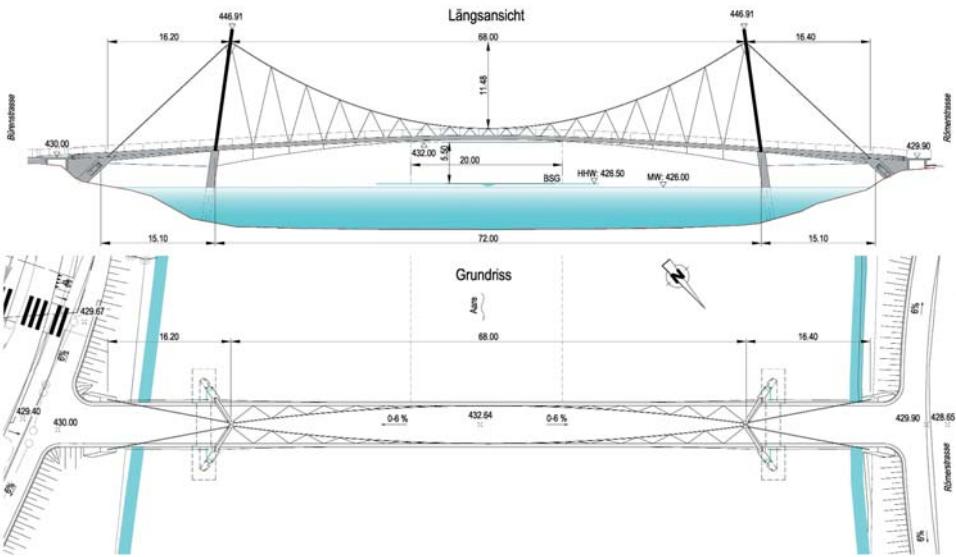


Fig. 6
Aaresteg: Ansicht und Grundriss.
Aare footbridge: elevation view and plan view.

fact that the foundation had to be designed to resist a ship collision of considerable impact. The foundation concept is determined by the geological conditions. The whole foundation rests on driven cast-in-place piles, which during installation compress the ground resulting in an increase of ground stiffness. In the area of the river, where the ground stiffness is particularly low, collision and braking forces also have to be supported by the foundations. The foundations are strengthened by strongly inclined micropiles, because the lateral embedding of the piles is inadequate to support the horizontal forces. The construction procedure, together with the trough-shaped

im Freivorbau überbrückt werden (Fig. 5).

Aus konstruktiven Gründen bestimmte der Abstand der Querträger die Längen der Etappen; sie betragen ca. 5,9 m. Die Herstellung jeder Etappe nahm jeweils rund zwei Wochen in Anspruch.

Der Freivorbau stellte mit dem trogförmigen Querschnitt und der im Grundriss gekrümmten Linienführung grosse Anforderungen an die Planung und an die Ausführung.

Aaresteg

Der Aaresteg steht mit seinem Erscheinungsbild im bewussten Gegensatz zur Aarebrücke (Fig. 6 und 8). Die geringen Einwirkun-

cross section, imposes strict requirements on planning and execution of the bridge. The construction of the bridge took two years. In contrast to the foreland spans, which were executed with conventional falsework, the spans over the river had to be erected by the free cantilever method, as the Aare is navigable except for a short period in winter (Fig. 5). The length of construction stages was determined for design reasons by the distance between the cross members and was about 5.9 m. The work on each stage took about two weeks. The balanced cantilever construction procedure together with the trough-shaped cross section and the curved layout of the bridge placed high demands on the design and execution of the bridge.

Aare footbridge

The appearance of the Aare footbridge was consciously designed to contrast with the Aare bridge (Fig. 6 and 8). The light loading due to pedestrian traffic allows a slender and light structure, which crosses the river in the form of a lightweight suspension bridge. The ship traffic requires sufficient clearance beneath the bridge. For this reason the bridge deck must rise more than 3 m above the banks. The connecting access ramps are designed to guarantee use by disabled persons.

The design of the cross section of the ramps is based on that of the bridge girder. Thus, the deck has the appearance of a slender band connecting the banks. The cable-support structure over the river itself is divided symmetrically into two short side spans of 15.1 m with a central span of 72 m. The pylons for guiding the suspension cable system rise approximately 15 m above the deck. The cable truss with hanging cables arranged in the form of a triangle allows a very slender plate-girder with edge stiffening and a maximum height of 0.5 m. In order to increase the stiffness of the cable-support system a tensioning cable is positioned under the girder. It positively influences the state of



Fig. 7
Bau der Flussspannweite.
Construction of the central span.



Fig. 8

Aaresteg: Ansicht von der Oberwasserveite.
Aare footbridge: view from upstream.

gen des Fußgängerverkehrs erlauben eine sehr leichte Gestaltung des Tragwerks, das den Fluss als Seilbinder überbrückt. Da die Schifffahrt einen ausreichenden Freiraum unter der Brücke erfordert, muss der Brückenträger ab den Ufern um mehr als drei Meter ansteigen, was in den Uferbereichen zur Gewährleistung einer behindertengerechten Nutzung Zugangsrampen erfordert. Diese Rampen lehnen sich in der Gestaltung des Querschnitts an die Form des Brückenträgers an, womit die Gehfläche als ein die Ufer verbindendes leichtes Band erscheint.

Das Tragwerk im Flussbereich ist symmetrisch und in zwei kurze Randspannweiten von 15,1 m und in eine Mittelspannweite von 72 m gegliedert. Die Pylone zur Führung des Seilsystems ragen ca. 15 m über die Fahrbahn, und der Seilbinder mit dreieckförmig angeordneten Hängern ermöglicht einen ausserordentlich schlanken, als Platte mit Randverstärkungen ausgebildeten Brückenträger, mit einer maximalen Höhe von 0,5 m. Um die Steifigkeit des Seilsystems zu erhöhen, ist unter der Fahrbahn ein Spannseil angeordnet, das den Spannungszustand in den Hängeseilen günstig beeinflusst. Der Unterbau des Stegs wurde analog zur Aarebrücke über Ort-betonrammpfähle und Mikro-

stress in the hanging cables. The foundation of the footbridge is similar to that of the Aare bridge and consists of driven cast-in-place piles and micropiles. Introducing the cable forces into the ground is also achieved using this system.

The construction process was influenced by shipping traffic. It was carried out without false-work by suspending prefabricated girder elements from the supporting cables. The elements were mounted firstly to a link chain and were connected afterwards monolithically (Fig. 7). To determine the equilibrium shapes of the cable system during assembly and in the final state, an algorithm specially programmed for this purpose was applied.

For the cable support system fully locked spiral ropes of diameter 85 (suspension cables) and 45 mm, (stay cables) were employed. The hanging cables were designed as open spiral stainless steel ropes with matching diameters varying between 16 and 24 mm.

pfähle fundiert, die ihrerseits auch die Eintragung der Seilkräfte in den Baugrund ermöglichen.

Bedingt durch den Schifffahrtsverkehr erfolgte der Bau der Brücke ebenfalls ohne Gerüst durch Einhängen von vorfabrizierten Fahrbahnteilen, die zuerst zu einer Gelenkkette montiert und anschliessend monolithisch verbunden wurden (Fig. 7).

Zum Bestimmen der Gleichgewichtsformen des Seilsystems während der Montage und im Endzustand kam ein speziell zu diesem Zweck programmierte Algorithmus zur Anwendung.

Für die beiden Trag- und die beiden Sogseile wurden vollverschlossene Spiralseile mit Seildurchmessern von 85 bzw. 45 mm verwendet. Die Hängeseile wurden als offene Spiralseile in rostfreiem Stahl mit den Beanspruchungen angepassten Durchmessern von 16 bis 24 mm ausgeführt.

Autoren/Authors

Armand Fürst
Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH
Fürst Laffranchi Bauingenieure GmbH
CH-4628 Wolfwil
fuerst@fuerstlaffranchi.ch

Massimo Laffranchi
Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH
Fürst Laffranchi Bauingenieure GmbH
CH-4628 Wolfwil
laffranchi@fuerstlaffranchi.ch

Glattalbahn-Viadukt Glattzentrum, Wallisellen

Glatt Valley Rail Viaduct at the Glatt Shopping Mall, Wallisellen

Beat Meier, Rolf Meichtry

Einleitung

Im Norden der Stadt Zürich entsteht seit 2004 mit der Glattalbahn ein neues Stadtbahnnetz. Bis Ende 2010 werden Flughafen sowie Teile der Agglomerationsgemeinden mit dem nördlichen Stadtgebiet und der City von Zürich verbunden sein (Fig. 1). Zwei der drei Bauetappen der Glattalbahn sind bereits in Betrieb, die dritte und vorerst letzte Etappe wird im Dezember 2010 abgeschlossen sein (Fig. 2).

Kernstück der dritten Etappe bildet der 1200 m lange Viadukt Glattzentrum, der die Bahn in Wallisellen in Hochlage um das Einkaufszentrum Glatt führt. Der Viadukt beginnt unmittelbar beim Bahnhof Wallisellen und endet bei der Haltestelle Neugut kurz vor Dübendorf. Dazwischen müssen die Bahnanlage der SBB (Linie Zürich–Winterthur), diverse Kantons- und Gemeindestrassen sowie die sechsspurige Autobahn A1 (Zürich–Winterthur) inklusive Autobahneinfahrt überbrückt



Fig. 2

Brückenbau in städtischer Umgebung (© Simon Vogt).
Bridge construction in urban environment (© Simon Vogt).



Fig. 1
Streckennetz der Glattalbahn.
Network of the Glatt Valley Rail.

Introduction

The new light rail system has been under construction in the Glatt valley since 2004. Zurich airport as well as several municipalities just north of Zurich will be linked up with downtown Zurich by the end of 2010 (Fig. 1). Two development stages of the new light rail system have already been put into operation. The third part will be completed in December 2010. For the time being this will be the final development stage of the new light rail system in the Glatt valley (Fig. 2). The viaduct with a total length of 1,200 m is the key construction element of the third development stage. The new bridge connects the municipalities of Wallisellen and Dübendorf. The service

werden. Zusätzlich muss die Autobahnausfahrtsbrücke Richtung Dübendorf unterquert werden (Fig. 3).

Die städtische Umgebung mit derart vielen über- und unterirdischen Hindernissen verlangt eine sehr aufwändige Linienführung und eine sorgfältige Platzierung der Stützen. Vier Kurven ($R_{min} = 110$ m), zwei Hochpunkte (Maximalgefälle 5,5 %) sowie sehr unterschiedliche Spannweitenabfolgen resultieren aus diesen Randbedingungen.

In unmittelbarer Nähe des Einkaufszentrums Glatt befindet sich auf der Brücke eine Haltestelle, die eine Direktanbindung in Hochlage an das Einkaufszentrum ermöglicht. Dieser Brückenabschnitt ist um die Perronbreiten erweitert.



Fig. 3
Übersicht.
Overview.

level between the shopping mall Glatt and the public transport system will be substantially improved by the new light rail system. The viaduct bridges the Swiss Federal Railways tracks (Zurich–Winterthur) as well as several roads including the 6-lane motorway A1 (Zurich–Winterthur). In addition, the new viaduct has to cross beneath the existing bridge of the motorway exit (Fig. 3). The light rail system required a limitation of the max. longitudinal slopes of 5.5%. 110 m complies with the min. horizontal curvature specified for the horizontal alignment. Further, the viaduct's alignment in the urban sur-

Konzept und Gestaltung

Die Glattalbahn strebt über sämtliche Bauwerke ein einheitliches Erscheinungsbild an. Dabei wurde ein schlichtes, dem Material Beton entsprechend grosszügiges, sauber ausgestaltetes Bauwerk gesucht. Die Querschnittsgeometrien von Überbau und Stützen entspringen diesem Grundgedanken (Fig. 4).

Das Bauwerk ist als vorgespannte Hohlkastenkonstruktion ausgebildet. Der generelle Brückenquerschnitt weist bei einer Breite von 8,30 m (Kurvenbereich bis 9,20 m) eine konstante Konstruktionshöhe von 2,0 m auf. Übliche Spannweiten liegen im Bereich von 35 m, während die Maximalspannweite rund 46 m aufweist.

Die beiden Stege, die jeweils unter den beiden Bahnsäulen liegen, weisen eine starke Neigung zur Vertikalen auf. Einerseits erscheint damit die Brücke dynamischer, andererseits kann mit dieser Neigung der direkte Bezug zur Stütze geschaffen werden.

Die Vorspannung wird vornehmlich definiert über die Vorgabe einer Begrenzung der Betonzugspannungen $\leq 0,7 f_{ctm}$, die einen ungerissenen Querschnitt unter Nutzlasten sicherstellt. Im Regelfall sind dafür über den Stützen 2 x 6 Kabel (15 bzw. 19 Litzen Ø 0,6") und im Feld 2 x 4 Kabel (15 bzw. 19 Litzen Ø 0,6") erforderlich (Fig. 5). Aufgrund des Gleichstrombetriebs der Glattalbahn und der daraus folgenden streustrominduzierten Korrosionsgefährdung müssen die Vorspannkabel nach der Astra-Richtlinie 12 010 vollständig elektrisch isoliert ausgeführt werden (Vorspannkategorie C).

roundings was significantly influenced by obstacles located both below and above ground level. Possible pier locations were evaluated in respect of existing services. The boundary conditions led to highly variable span lengths. The viaduct includes a station linking the light rail system to the shopping mall Glatt. The width of the bridge has been enlarged to suit the needs of the new station.

Concept and Architectural Layout

One of the goals of the light rail system in the Glatt valley was to achieve a uniform appearance. Concrete has been chosen as the main construction material. The geometries of the cross section of the superstructure and the piers are a result of this concept (Fig. 4). In general, the viaduct consists of a single cell box girder carrying two light rail tracks. The superstructure has been designed as a prestressed cast-in-situ girder. The width of the deck is 8.30 m (widened to a max. of 9.20 m in horizontally curved areas) with a constant girder depth of 2.0 m. The standard span length is 35 m, whereas the max. span length reaches approx. 46 m.

The two webs are located in the axis of each track. They have a

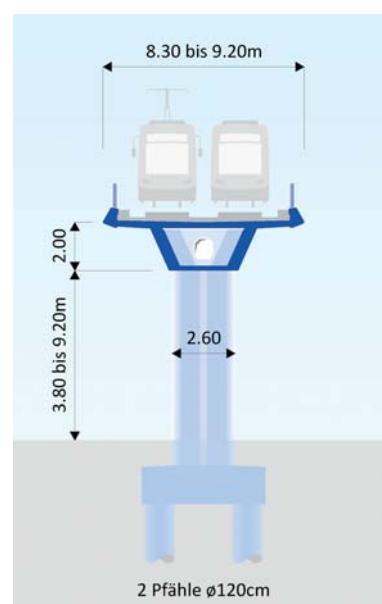


Fig. 4
Brückenquerschnitt.
Cross section of the bridge.

Projektdaten	
Bauherrschaft	VBG Verkehrsbetriebe Glattal AG, Glattbrugg, im Auftrag des Bundesamts für Verkehr (BAV) sowie der Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich
Projekt und Bauleitung	dsp Ingenieure & Planer AG, Greifensee (Federführung); Höltchi & Schurter AG, Zürich; Eichenberger AG, Zürich
Ausführung	Marti AG, Bauunternehmung, Zürich (Federführung); Stutz AG, Frauenfeld (techn. Leitung); Strabag, Zürich (techn. Leitung)
Technische Daten	
Totale Länge:	1210 m
Spannweiten:	17,00 m bis 45,60 m (mittlere Spannweite: 35 m)
Anzahl Felder:	34
Brückenbreite:	8,30 m bis 9,20 m
Konstruktionsbeton:	9950 m ³
Bewehrungsstahl:	1700 t
Vorspannung:	180 t
Kosten	Rohbau inkl. Werkleitungsverlegungen und Strassenanpassungen: CHF 32,0 Mio.
Inbetriebnahme	Dezember 2010



Fig. 5
Typische Abspannstelle.
Typical anchoring of prestressing tendons.



Fig. 6
Abschnittsgrenze.
Expansion joint.

Der Gleiskörper wird als feste Fahrbahn ausgebildet. Die (Vignol-) Schienen werden auf einer Betontragplatte befestigt, die über Schubnöcken kraftschlüssig mit der Brückenkonstruktion verbunden ist. Zwischen der Oberfläche des Konstruktionsbetons und der Gleistragplatte liegen eine Abdichtung aus Polymerbitumen und eine Gussasphaltschutzschicht. Der Viadukt ist in sechs statisch unabhängige Bewegungsabschnitte

large inclination for aesthetical reasons. This results in a vibrant structure and allowed optimizing the appearance of the transition between pier and superstructure. The tensile stresses in the single cell box section have been limited to less than $0.7 f_{ctm}$. The superstructure can be considered as uncracked for the serviceability limit state in the case of a max. live load. 2×6 prestressing tendons (15 and 19 strands 0.6", respectively) are required above the piers and 2×4 tendons (15 and 19 strands 0.6", respectively) in the span to fulfil this criterion in the case of a standard span length of 35 m (Fig. 5). The electrical direct current of the light rail system induces stray currents, which may lead to corrosion. In order to prevent this an electrically-insulated prestressing system (category C) had to be used. This system complies with the Astra guideline 12 010.

The railroad embankment consists of a slab track. The rails are fixed to a reinforced concrete membrane slab, which is force-fit into the prestressed superstructure by means of shear keys. A bituminous waterproofing (PBD) has been provided on top of the deck slab of the box section, which is covered and protected by a layer of mastic asphalt.

The viaduct, with a total length of 1,200m, was split into six independent units. The unit length varies between 110 m and 310 m.

aufgeteilt. Die einzelnen Brückenabschnitte sind schwimmend gelagert. Eine Ausnahme bilden jene Abschnitte an den Brückenenden, die in den Rampenkonstruktionen eingespannt sind. Die Längen der einzelnen Brückenabschnitte liegen zwischen 110 m und 310 m. Diese Abschnittslängen sind generell über die Begrenzung der Kapazität einer Schienendilatation definiert, die bei ± 150 mm liegt. Nach Möglichkeit wird aus Unterhaltsgründen auf Brückenlager auf den Stützen verzichtet. Zwei Stütztypen bilden jedoch Ausnahmen: Einerseits die Stützen bei den Dilatationen. Diese sind mit der Nachbarstütze des Folgeabschnittes fest verbunden, um differenzielle Querverschiebungen bei den Schienenauszügen zu verhindern, weshalb sie vom Überbau mit Brückenlagern losgelöst werden (Fig. 6). Anderseits mussten bei nicht orthogonalen Querungen von untenliegenden Verkehrsträgern (SBB, Autobahn, Kantonstrasse) die Stützen in Richtung dieser Verkehrsträger orientiert werden (Fig.7). Eine monolithische Verbindung dieser teilweise stark schief gestellten Stützen mit dem Überbau hätte (Torsions-)Zwängungen im Überbau zur Folge. Dies wird durch die Anordnung zentraler Topflager auf den Stützen verhindert. Sämtliche Stützen wie auch die Widerlager sind auf Grossbohrpfählen $\varnothing = 90$ cm/120 cm fundiert. Die Pfähle im Raum Bahn-

Project Data

Client
VBG Public Transport Services Glattal AG, Glattbrugg, commissioned by the Federal Office of Transport (FOT) as well as the Department of Economics, Canton Zurich

Project and Site Management
dsp Ingenieure & Planer AG, Greifensee (general management); Höltchi & Schurter AG, Zurich; Eichenberger AG, Zurich

Execution
Marti AG, Bauunternehmung, Zurich (lead); Stutz AG, Frauenfeld (technical supervision); Strabag, Zurich (technical supervision)

Technical data

Total length: 1210 m
Spans: 17.00 m to 45.60 m (mean span: 35 m)
Number of spans: 34
Bridge width: 8.30 m to 9.20 m
Structural concrete: 9,950 m³
Reinforcing steel: 1,700 t
Prestressing steel: 180 t

Costs
Structural works including road works and relocation of public utility pipes: CHF 32.0 mio

Planned date to begin operation
December 2010

It was restricted by the capacity of the rail dilatation of ± 150 mm. In general, flexible structural systems were chosen. The longitudinal forces due to wind, earthquake and breaking as well as other horizontal actions are transferred to the foundation through the columns. Where appropriate fixed systems have been used at the abutments. In such cases the superstructure is monolithically connected and integrated into the concrete structure of the access ramps.

Wherever possible, bearings were avoided to increase the durability of the structure and keep maintenance costs low. Exceptions were made in the case of two pier types: Twin piers are provided at the expansion joints. Differential horizontal displacements cannot be tolerated in the rail track dilation. They demand a uniform displacement behaviour perpendicular to the bridge axis. Therefore the individual piers have been connected with each other by a concrete slab in the top part of the twin piers. Pot bearings allowing displacements in the longitudinal direction of the bridge axis are provided on top of the twin piers to allow differential longitudinal displacements between the independent bridge units separated by the expansion joint (Fig. 6).

The existing traffic carriers (railway tracks, roads and motorways) influence the orientation of the columns (Fig. 7). One single pot bearing has been provided on top of the skew-oriented piers. The pot bearing was used to release the torsional restraint between the column and the superstructure.

All pile caps are supported by vertically drilled piles. The chosen diameters vary between 90 cm and 120 cm. The piles along the railway tracks at the station of Wallisellen are end bearing piles and embedded in compact moraine. The geological conditions change towards the motorway crossing. The pile lengths therefore increase up to 35 m. The pile loads are transferred to the soil (lacustrine

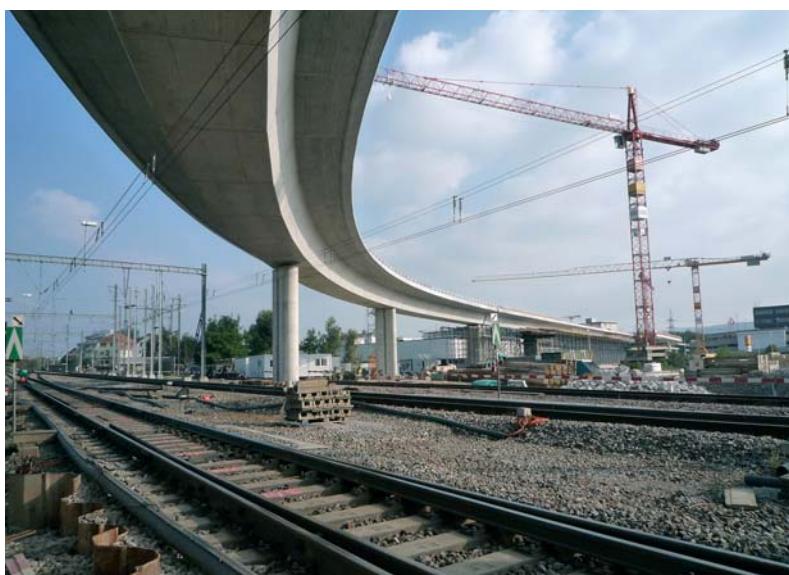


Fig. 7

Elegant schwingt sich der Viadukt über die Bahngleise.
Elegant crossing of the railway tracks.

hof Wallisellen sind vornehmlich als Spitzendächer in der kompakten Moräne eingebunden, während die Gründung im Raum der Autobahnquerung über rund 35 m lange Reibungspfähle in den hier mächtigen Seeablagerungen erfolgt.

Im Bereich der Autobahn muss die Autobahnausfahrtsbrücke unterfahren werden. Der Viadukt setzt hier in einer fangdammähnlichen Konstruktion auf einer Länge von rund 50 m auf dem Terrain auf. Die Böschung entlang der Autobahn muss für diese Konstruktion angeschnitten werden (Fig. 8). Die erforderliche Differenzkonstruktion besteht aus einer permanenten Nagelwand (ungespannte Anker mit Korrosionsschutzstufe 3 nach Norm SIA 267). Das darüberliegende Widerlager der bestehenden Autobahnausfahrtsbrücke war ursprünglich flach im oberen Bereich der Böschung fundiert. Neu wird dieses Widerlager autonom mit einer Tiefegründung unterfangen. Es werden Mikropfähle verwendet, die zur Minimierung der Setzungen mit verlorenen Flachpressen aktiv vorgespannt sind.

Bauablauf/Kosten

Für die Erstellung des Rohbaus standen aus übergeordneten Ab-

deposits) by skin friction. The light rail system has to cross under the existing bridge of the motorway exit. The chosen structural system is similar to a coffer-dam with a total length of approx. 50 m. Space requirements for the new concrete structure necessitated a substantial modification of the existing slope along the motorway (Fig. 8). Permanent soil nails (unstressed threaded bars with corrosion protection class 3 according to SIA 267) have been used to reinforce the steep slope (10:1). The abutment of the existing motorway exit bridge rested on a flat foundation located in the upper part of the existing slope. The stresses between the existing foundation slab and the soil have been transferred to new vertical micropiles (underpinning of existing flat foundation). The micropiles have been prestressed using flat jacks to minimise abutment settlements.

Construction Time and Costs

In total, we had only 16 months to complete the construction works (June 2008 – October 2009) of the 1,200 m long viaduct before the bridge was handed over to the subsequent contractor for the installation of the light rail infra-

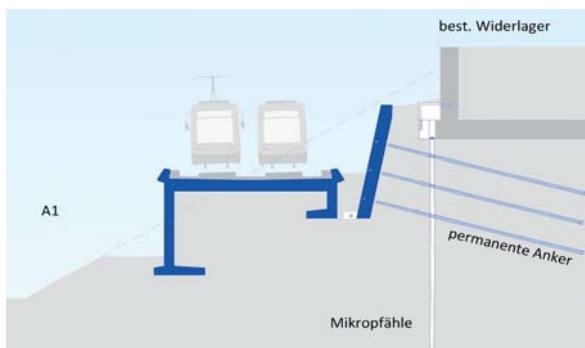


Fig. 8
Querschnitt im Bereich der Autobahn.
Cross section along the motorway.

hängigkeiten lediglich 16 Monate zur Verfügung (Juni 2008 bis Oktober 2009). Nach den Rohbauarbeiten wurde das Bauwerk den Folgeunternehmern für die gesamte bahntechnische Ausrüstung übergeben. Die Inbetriebnahme ist auf den Dezember 2010 festgesetzt. Diese äusserst enge Terminvorgabe bestimmte die Festlegung des Bauablaufs.

Nach den Umlegungen der Werkleitungen und der Erstellung der ersten Unterbauten konnte das Lehrgerüst einer ersten Überbauetappe bereits nach rund zwei Monaten gestellt werden. Für eine Überbauetappe, die generell zwei Brückenfelder umfasst, musste mit acht Wochen Erstellungszeit gerechnet werden. Da in einem Brückenabschnitt bis zu vier Überbauetappen vorgesehen waren, die wegen des Vorspannkonzepts nacheinander betoniert werden mussten, ergab sich eine Bearbeitungszeit für den Überbau eines gesamten Brückenabschnitts von rund acht Monaten. Unter Berücksichtigung der vorhergehenden Unterbauarbeiten sowie der nachfolgenden witterungsabhängigen Abdichtungsarbeiten zeigte sich, dass sämtliche sechs Brückenabschnitte gleichzeitig erstellt werden mussten. Dies wurde logistisch zu einer grossen Herausforderung. Einerseits war sehr viel Lehrgerüst- und Schalmaterial erforderlich, das nur zu kleinen Teilen umgesetzt bzw. wiederverwendet werden konnte. In Spitzenzeiten war weit mehr als die Hälfte der Brücke eingerüstet. Zwölf Turmdrehkrane standen gleichzeitig im Einsatz. Aber nicht

structure. The new light rail system will be fully operational in December 2010. The construction sequence has been defined by this extremely tight schedule. Before starting with the drilled piles it was necessary to make service diversions. Only two months after the start of construction, the falsework for the first superstructure unit was already under erection. It took eight weeks to build two spans of the superstructure. The six independent bridge units consist of up to four construction stages, which have been cast subsequently as necessitated by the chosen post-tensioning layout. The construction of each bridge superstructure unit took approx. eight months. Construction works have been performed simultaneously on all six bridge units to meet the construction schedule. Logistics became a major challenge at this exceptionally complex construction site. The demand for falsework and formwork was very high. The reuse of this material was limited because of the short construction time. In the peak construction period more than half of the viaduct was covered by falsework. Twelve tower cranes were used simultaneously. Besides the material logistics, the allocation of human resources was another major issue. The demanding job has been managed and accomplished by five foremen and their teams. The construction costs of the viaduct amount to CHF 32 mio. This includes road works and the installation of public utilities, but not the light rail infrastructure.

nur in Bezug auf die Materiallogistik, sondern auch bezüglich Personaleinsatz waren die Ausführenden gefordert. Fünf Poliere mit jeweils eigenständigen Teams waren zur Bewältigung der anspruchsvollen Aufgabe notwendig.

Die Baukosten für das Brückenbauwerk, die Werkleitungsverlegungen und die Strassenanpassungen belaufen sich auf 32 Millionen Franken, wobei die Bahntechnik darin nicht eingerechnet ist.

Autoren/Authors

Beat Meier
dipl. Bauing. ETH
dsp Ingenieure & Planer AG
CH-8606 Greifensee
meier@dsp.ch

Rolf Meichtry
dipl. Bauing. ETH
Höltchi & Schurter AG
CH-8050 Zürich
rmeichtry@hoeltschi-schurter.ch

Neue Aarebrücke Olten

New Aare River Bridge, Olten

Harry Fehlmann, Rudolf Vogt



Fig. 1

Stand der Arbeiten im Februar 2010. Der Tagbautunnel ist im Rohbau erstellt. In Bildmitte ist die Schalung für die erste Überbauetappe sichtbar.

The state of construction in February 2010, with the completed tunnel and, in the middle of the picture, the formwork for the first stage of the cover slab.

Einleitung

Die neue Aarebrücke ist Teil der geplanten Entlastungsstrasse Olten. Diese wird bei einem neu zu erstellenden Knoten von der bestehenden Kantonstrasse abzweigen, die Aare überqueren und am anderen Ufer direkt in einen Tunnel münden.

Mit dem Brückenprojekt geht auch die Umgestaltung der Uferwege einher. Der rechtsufrige Weg muss im Bereich der Brücke auf einer Länge von rund 200 m neu erstellt werden. Außerdem ist das über dem Tunnel liegende Quartier mit einem Fuss- und Veloweg neu zu erschliessen.

Das Brückenprojekt maya ging als Sieger aus einem Projektwettbe-

Introduction

The new Aare River Bridge is part of the planned bypass road that will give the city of Olten some relief from through-traffic. A new node will link the bypass road with the existing one. After crossing the Aare River the new road will lead directly into a tunnel.

The reshaping of the riverside walks is also part of the bridge project. The footpath on the right bank will be reconstructed over a length of 200 m. The urban area above the tunnel is made accessible by a new path for pedestrians and cyclists.

The maya bridge project was selected out of more than sixty contestants due to its excellent

werb mit über 60 Teilnehmern hervor, da es die vielfältigen Anforderungen am besten erfüllt.

Randbedingungen

Für den Entwurf der Brücke und deren Konzept waren diverse Randbedingungen von Bedeutung: Im Mittelbereich der Aare dürfen keine Pfeiler gestellt werden. Es gilt, beim 100-jährigen Hochwasser ein Freibord von 1,0 m in den Uferzonen und 1,5 m im Mittelbereich der Aare einzuhalten. Der Lärmschutz ist von zentraler Bedeutung, da die Brücke in unmittelbarer Nähe von Wohnquartieren liegt. Es wurden darum beim Wettbewerb 1,5 m hohe Lärmschutzwände im Brückenbe-



Fig. 2
Blick von der Oberwasserseite über die Aare Richtung Tunnel.
View in the direction of the tunnel from upstream of River Aare.



Fig. 3
Blick über die Brücke Richtung Hausmatt-Tunnel.
View over the bridge in the direction of the Hausmatt Tunnel.

fulfilment of the diverse requirements.

Boundary conditions

For the design of the bridge and its concept, different preconditions had to be met: No piers are allowed in the middle of the Aare River. For a one hundred year flood, a freeboard of 1.0 to 1.5 m is required. Noise control is also a very important issue because of the project's proximity to residential districts. The competition's terms specified 1.5 m high noise barriers on the bridge and in additional noise protection measurements in the tunnel portal area.

Concept and design

The goal was to design a bridge that reflects the asymmetry of the river banks without being too prominent. The construction was meant to be innovative while still following the trend in contemporary civil engineering.

The aim of the design was to fully incorporate the tunnel portal into the bridge project to give the impression of an integral structure. Together with the portal, the bridge marks the start of the bypass road. The tunnel portal, however, was not intended simply to blend aesthetically with the bridge as a whole, but also to form an integral part of the structural design concept.

The maya project proposed a single-span bridge of span length 88.5 m with no supporting piers

reich gefordert. Zusätzliche Lärmschutzmaßnahmen wurden im Portalbereich des Tunnels verlangt.

Konzept und Gestaltung

Das Ziel unseres Projektteams war, eine Brücke zu entwerfen, die die Asymmetrie der Ufer widerspiegelt, ohne zu markant in Erscheinung zu treten. Es sollte eine innovative Konstruktion entstehen, die den heutigen Zeitgeist des Ingenieurbaus repräsentiert.

Es wurde das Ziel angestrebt, die Gestaltung des Tunnelportals in das Brückenprojekt mit einzubeziehen. Die Brücke soll zusammen mit dem Portal den Auftakt der Umfahrungsstrasse signalisieren. Das Tunnelportal soll aber nicht nur ästhetisch, sondern auch statisch in das Gesamtkonzept integriert werden, um dem Grundsatz der Brücke als integrales Bauwerk gerecht zu werden.

Das Projektteam maya schlug darum eine Brücke vor, welche die Aare stützenfrei überquert und am Tunnelportal aufgehängt ist. Die Gestaltung der Brücke zeigt den Kraftfluss auf und widerspiegelt die Gegensätzlichkeit der beiden Flussgestade.

Die Brücke weist einen Trogquerschnitt auf. Die beiden seitlichen, vorgespannten Hauptträger bilden gleichzeitig auch die Absturzsicherung und den Lärmschutz. Sie überspannen den Fluss stützenfrei mit einer Spannweite von

founded in bed of the river Aare, supported on the one side by the tunnel portal. The bridge was also designed to take into account the natural flow of forces in the structure and the asymmetry of the riverbanks, without it being too prominent in the landscape. The two prestressed main girders of the trough bridge provide the structural safety and also act as noise barriers. To reduce stresses and deformations, the main girders are suspended on prestressed

Projektdaten

Bauherr

Kanton Solothurn, Amt für Verkehr und Tiefbau, Solothurn

Bauunternehmung

Argo Brücken Olten: Implenia Bau AG, Zürich (Federführung); Rothpletz, Lienhard + Cie, Aarau; Frutiger AG, Thun; Meier + Jäggi AG, Olten

Planer

Planergemeinschaft maya: Bänziger Partner AG, Ingenieure + Planer SIA USIC, Baden (Federführung); ACS-Partner AG, dipl. Bauingenieure ETH SIA USIC, Zürich; Eduard Imhof, Architekt, Luzern; David + von Arx, Landschaftsarchitekten, Solothurn

Technische Daten

Längs und quer vorgespannte Trogbrücke

Gesamtlänge: 140 m (inkl. Dreispur-Tagbautunnel)

Spannweite über der Aare: 88,50 m

Breite: 15,60 m

Bohrpfähle: Ø 90 cm und Ø 130 cm

Materialverbrauch

Beton: 5100 m³

Bewehrungsstahl: 690 t

Spannstahl: 110 t

Baukosten

ca. CHF 16,5 Mio.

Bauzeit

2008–2011

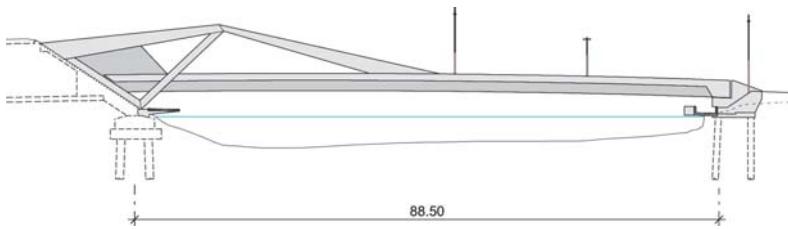


Fig. 4

Ansicht von der Oberwasserseite.

Plan view from upstream side.

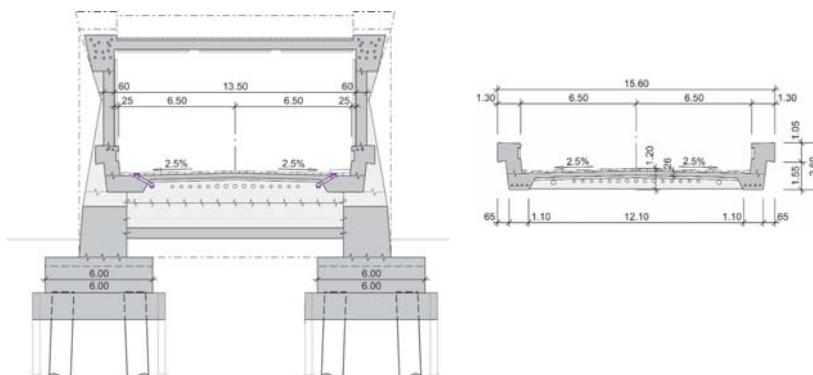


Fig. 5

Querschnitte Portalbereich und Brückenbereich.

Cross sections in the portal and bridge regions.

88,50 m. Zur Reduktion der Beanspruchungen und der Verformungen sind die Träger an vorgespannten Betonsegeln aufgehängt und zum Tunnelportal hin abgespannt. Damit wird das Portalbauwerk zu einem tragenden Bestandteil der Brücke.

Die Trogkonstruktion selbst und in die Längsträger eingelassene,

so-called "concrete sails" and anchored to the tunnel portal. In this way the tunnel becomes a load-bearing component of the bridge.

The trough structure itself as well as inlaid sound-absorbing elements provide the noise protection. Load-bearing members overlap with noise-protection ele-

schallabsorbierende Elemente gewährleisten den Lärmschutz. Statische Bauteile und Schallschutzelemente überlagern sich und generieren keine zusätzlichen Flächen. Außerdem ist die monolithische Verbindung von Tunnel und Brücke von Vorteil, da so auf einen Geräusch erzeugenden Fahrbahnübergang verzichtet werden kann. Das Wohnquartier oberhalb des Tunnels wird durch ein bis in den Flussbereich herausragendes Portaldach vom Verkehrslärm abgeschirmt. Wände und Decke sind im Portalbereich mit lärmabsorbierenden Elementen ausgekleidet.

Das gewählte oben liegende Tragwerk ermöglicht eine tief liegende Strassenlinie und ergibt die bestmögliche vertikale Linienführung für die Straße und den angrenzenden Tunnel.

Tragkonstruktion

Die Brücke wirkt als einfeldriger, einseitig eingespannter Balken mit einem Trogquerschnitt. Zwischen den Hauptträgern sind vorgespannte Querträger eingehängt, welche die Fahrbahnplatte tragen. Diese wirken als einfache Balken mit einer Spannweite von 13,00 m. Die Gesamtspannweite beträgt 88,50 m. Die Längsträger weisen eine konstante Höhe von 2,60 m auf. Dank Einspannung des Überbaus im Tunnelportal und dem Betonsegel kann die Aare stützenfrei überspannt werden.

Beim Widerlager Ost ist die Brücke in Längsrichtung verschieblich gelagert. Dort sind Gleitlager und ein Fahrbahnübergang vorgesehen.

Der Überbau ist in Längsrichtung so stark vorgespannt, dass der Beton unter ständigen Lasten ungerissen bleibt. Dies gilt auch für die Querträger. Damit wird eine gute Dauerhaftigkeit gewährleistet. Ein Teil der Kabel steigt vom Brückenträger in die Betonsegel und läuft von dort weiter durch das Portalbauwerk bis in den Querschnitt des Dreispurtunnels. Im Betonsegel musste eine gekrümmte Kabelführung gesucht werden, die mit ihren Umlenkräften das Eigengewicht des

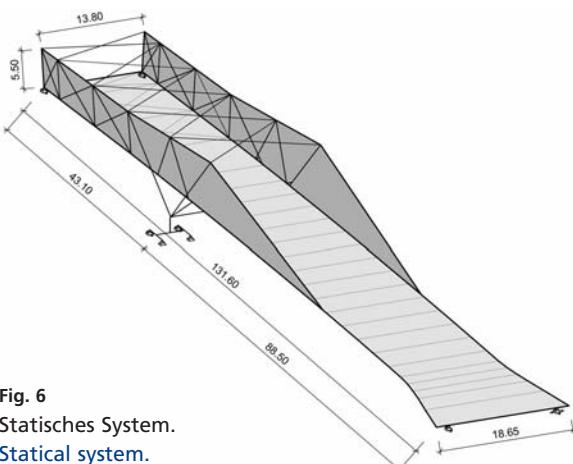


Fig. 6

Statisches System.

Statistical system.

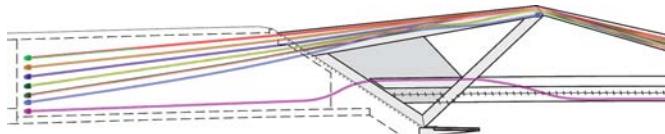


Fig. 7
Längsvorspannung Abschnitt West.
Longitudinal prestressing Section West.

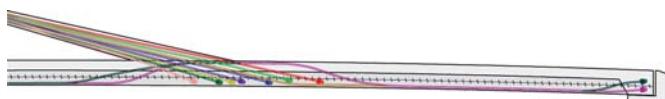


Fig. 8
Längsvorspannung Abschnitt Ost.
Longitudinal prestressing Section East.

ments and thus do not generate any additional surfaces. Furthermore, the monolithic connection of tunnel and bridge makes it possible to omit a noisy transition joint. The tunnel portal reaches into the river area, which helps protect the residential area above the tunnel from traffic noise. The walls and the roof in the tunnel portal area are lined with sound absorbing elements.

Thanks to the overhead load-bearing structure, a low gradient marker is possible, which results in the optimal vertical alignment of the road and tunnel.

Structure

The structure is a single-span trough bridge which is fixed on one side. Prestressed cross girders are hinged to the main girders and support the deck. These cross girders are simply supported and span 13.0 m each.

The bridge spans 88.5 m and the main girders are 2.60 m high. The fixation of the bridge to the tunnel portal, together with the concrete sails enables a pier-free crossing of the Aare River.

A movable bearing support and an expansion joint allow longitudinal movements of the bridge at the eastern abutment.

Prestressing in the longitudinal and transversal directions prevents the superstructure from cracking under the effects of

Segels kompensiert. Die Vorspannung ist so ausgelegt, dass unter ständigen Lasten auch in den Querschnitten am oberen und unteren Ende des Segels keine wesentlichen Randzugsspannungen auftreten.

Für die gesamte Vorspannung werden Kunststoffhüllrohre (Kategorie b) verwendet.

Statisches System

Die Schnittkraftermittlung erfolgte an einem räumlichen Stabmodell. Dabei ist die Brücke mit zwei Längsträgern, 20 Querträgern und zwei Zugstreben (Betonsegel) modelliert. Auch das Tunnelportal wurde mit Stäben modelliert. Um die Scheibenwirkung der Tunnelwände und -decken zu simulieren, wurden Fachwerkdiagonalen eingeführt. Die Lagerung der Brücke wurde mit elastischen Federn abgebildet, welche die Nachgiebigkeit der Pfähle berücksichtigen.

Die Schnittkräfte des Tunnelportals aus der Quertragwirkung wurden an einem ebenen, rahmenförmigen Stabmodell mit zwei unten eingespannten Stielen, einem oberen Horizontalträger sowie einem elastisch gelagerten Riegel (Bodenplatte) ermittelt.

Die Optimierung der Kabelführung war sehr aufwändig, da sowohl die Auswirkungen auf die Spannungen in Gebrauchszustand zu berücksichtigen waren als auch

dead loads and therefore provides enhanced durability. Some of the prestressing tendons rise through the superstructure and go up through the sails and into the tunnel portal. They are anchored in the tunnel structure.

In the sails, a curved tendon routeing had to be determined in order to compensate the dead load by deflection forces. The prestressing has been specifically designed so that, under dead loads, no edge tensile stresses occur in the cross sections of the sails. Only plastic ducts are used for the tendons.

Structural System

Internal forces were determined by the use of a three-dimensional truss model. The bridge was modeled with two longitudinal girders, 20 cross girders and two ties (concrete sails). A truss model was also applied to determine the stresses in the tunnel portal. Diagonal members were added to take into account the diaphragm action of tunnel walls and cover slab. Elastic springs were chosen to model the flexibility of the piles in the ground.

The effects in the tunnel portal resulting from the transverse load-bearing behavior were determined using a linear elastic frame model. The model consists of two posts fixed at the bottom, an upper cross girder and a lower,



Fig. 9

3-D-Modell vom Anschluss Querträger – Längsträger und fertiges Muster-element in Originalgrösse.
3-D model of connection of transverse and longitudinal beams and completed prototype element in original size.

die konstruktive Ausgestaltung der dreidimensionalen Führung von Längs- und Quervorspannung (Kreuzungs- und Verankerungsstellen). Außerdem wurde grosser Wert auf die einwandfreie Verlegbarkeit der Bewehrung und das Verarbeiten des Betons gelegt.

Die Bewehrung und Vorspannung wurden in den Knotenbereichen dreidimensional aufgezeichnet und optimiert. Um die Verarbeitbarkeit zu überprüfen, wurde je ein Musterelement erstellt vom Bereich des Portalknotens und vom Anschluss des Querträgers an den Hauptträger. Die Musterelemente wurden in Originalgrösse geschalt, bewehrt und mit dem für die Brücke vorgesehenen Beton C50/60 betoniert.

Tagbautunnel

Der beim Portal beginnende Dreispurbereich des Tagbautun-

nelastically bedded cross girder (as floor slab).

The optimization of the prestressing tendon profile was quite complex. The effects on the stresses under service loads as well as the structural detailing had to be considered. Special attention had to be paid to the crossings of longitudinal and transverse prestressing and the anchorage zones. Another important issue was to design a reinforcement layout that would allow proper reinforcement placement and concrete workability.

In order to optimize the reinforcement and the prestressing profile in the nodal zones, three-dimensional drawings were made. Specimens of the portal node and the connection between cross girder and main girder were built to test the concrete's workability. These specimens were fabricated in full-scale and cast with a con-

nels ist monolithisch mit der Brücke verbunden und gehört zum Brückentragwerk. Er ist rund 40 m lang und dient der Brücke als Gegengewicht. Die in Querrichtung als Rahmen wirkende Konstruktion ist schlaff bewehrt. Mit der Längsvorspannung in den Tunnelwänden wird das Gegengewicht für die Brücke aktiviert. Vollflächig verklebte Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen dichten die Decke und die Wände ab.

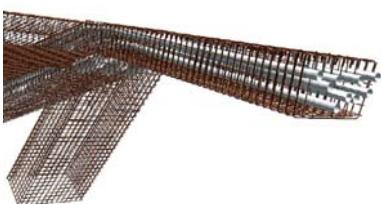


Fig. 10

3-D-Modell des Portalknotens und fertiges Musterelement in Originalgrösse.
3-D model of portal nodes and completed prototype element in original size.

Project data

Owner

Canton of Solothurn, Amt für Verkehr und Tiefbau, Solothurn

Contractors

Consortium Brücken Olten: Implenia Bau AG, Zurich (lead); Rothpletz, Lienhard + Cie, Aarau; Frutiger AG, Thun; Meier + Jäggi AG, Olten

Design

Design team maya: Bänziger Partner AG, Ingenieure + Planer SIA USIC, Baden (lead); ACS-Partner AG, dipl. Bauingenieure ETH SIA USIC, Zurich; Eduard Imhof, Architekt, Lucerne; David + von Arx, Landschaftsarchitekten, Solothurn

Technical information

Trough bridge, prestressed in longitudinal and transverse directions
Length (incl. three-lane cut-and-cover tunnel): 140 m
Span: 88.50 m
Width: 15.60 m
Pile foundation: Ø 90 and Ø 130 cm

Costs

Approx. CHF 16.5 Mio.

Construction period

2008–2011

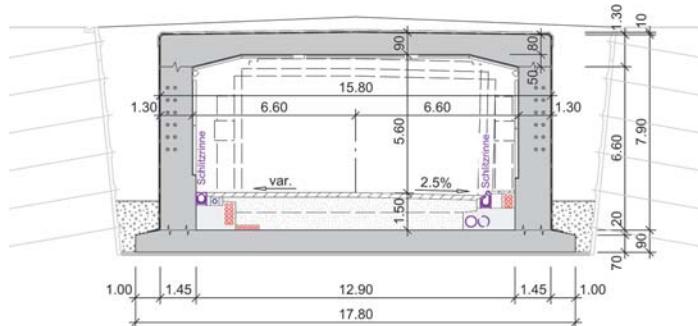


Fig. 11
Querschnitt Tagbautunnel mit Längsvorspannung in den Tunnelwänden.
Cross section of cut-and-cover tunnel with longitudinal prestressing in the tunnel walls.

crete of the same strength class C50/60 that will be used for the bridge as well.

Cut-and-cover tunnel

Beginning at the portal, the three-lane cut-and-cover section is monolithically connected with the bridge and belongs to the load-bearing structure of the bridge. This section is 40 m long and acts as a counterbalance for the bridge. In the transverse direction, the structure functions like a frame. It is not prestressed.

The longitudinal prestressing in the tunnel walls activates the counterbalance for the bridge. The tunnel deck slab and walls are sealed with polymer-bitumen sheets.

Abutments

The eastern abutment features a chamber that allows the inspection of the bearings and the expansion joint and – if necessary – a smooth replacement of these wearing parts. The abutment is founded on six bored piles Ø 90 cm. The depth of embedment in the gravel is 17 m. The western abutment has to transfer loads from the bridge as well as the tunnel.

Therefore, two groups consisting of four bored piles of Ø 130 cm are planned. With a length of 35 m, they reach solid rock. Their anchoring depth in the rock averages 3 m. As a consequence, practically no settlements are expected.

Widerlager

Das Widerlager Ost ist mit einer Widerlagerkammer ausgestattet, um Lager und Fahrbahnübergang kontrollieren und im Bedarfsfall austauschen zu können. Es ist auf sechs Bohrpfählen Ø 90 cm fundiert. Diese sind 17 m im Niederterrassenschotter eingebunden. Beim Widerlager West werden sowohl Lasten aus dem Tunnel als auch aus dem Brückenkörper in den Untergrund abgeleitet. Dies geschieht über zwei beidseitig von der Brücke angeordnete Pfahlgruppen à vier Bohrpfählen Ø 130 cm. Diese reichen mit 35 m Länge bis auf den Fels und sind dort 3 m tief eingebunden. Damit ist eine praktisch setzungsfreie Fundation gewährleistet.

Bauablauf und -verfahren

Der Bauvorgang basiert auf erprobten und bewährten Verfahren und Abläufen:

- Hilfsbrücke zur Erschliessung der linksufrigen Baugrube
- Erstellen des Tagbautunnels über die Hilfsbrücke
- Umbau Hilfsbrücke zu Lehrgerüst
- Erstellen des Überbaus in zwei Etappen
- Erstellen von Portal und Betonsegel.

Die Herstellung der teilweise ungewöhnlichen Formen ist sehr anspruchsvoll und verlangt vom Unternehmer eine gute Arbeitsvorbereitung und ein hohes Fachwissen.

Construction sequence and methods

Construction methods are based on well-proven and reliable procedures and workflows:

- Temporary bridge for the development of the left-bank construction pit
- Construction of the cut-and-cover tunnel using the temporary bridge
- Conversion of the temporary bridge into falsework
- Construction of the superstructure in two stages
- Construction of the tunnel portal and concrete sails.

The fabrication of the partly unusual shapes is very challenging and requires high-quality process engineering and the know-how of the contractor.

Autoren/Authors

Harry Fehlmann
dipl. Bauing. ETH
Bänziger Partner AG
CH-5400 Baden
h.fehlmann@bp-ing.ch

Rudolf Vogt
Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH
ACS-Partner AG
CH-8050 Zürich
rudolf.vogt@acs-partner.ch

Il nuovo ponte sulla Verzasca a Frasco

The new bridge at Frasco over the Verzasca River

Aurelio Muttoni, Livio Muttoni, Franco Lurati

Introduzione

Il nuovo ponte sulla Verzasca a Frasco, concepito nel 2002 e realizzato nel 2009, è caratterizzato da un concetto strutturale innovativo scaturito dall'esigenza di ottenere la massima trasparenza, facilitare il deflusso del fiume Verzasca, aumentare la durabilità e ridurre i costi di costruzione e di manutenzione.

Inserimento nel paesaggio e scelte progettuali

La strada che raggiunge l'alta valle Verzasca attraversa il fiume omonimo su un ponte in muratura costruito nel XIX secolo. L'antico ponte a due campate poggia su un blocco roccioso situato al centro dell'alveo. La larghezza esigua della carreggiata (4,80 m),

Introduction

In this paper the main aspects with respect to the design and the construction of the new bridge over the River Verzasca at Frasco (Switzerland) are presented. The structure was designed in 2002 and built in 2009. It presents an innovative structural concept coming from the need to achieve maximum transparency for the structure, minimizing the impact on the flow of the River Verzasca, enhancing the durability and robustness of the structure and reducing construction and maintenance costs

Landscape considerations and design

The road through the Verzasca Valley crosses over the River Ver-

lo stato deteriorato della volta e la stabilità precaria dei muri di timpano al passaggio dei veicoli pesanti avevano spinto il committente a richiedere l'elaborazione di un progetto di risanamento che prevedeva la costruzione di una nuova piattabanda in calcestruzzo armato e un intervento di rinforzo sistematico della struttura muraria. Il costo elevato di questo progetto e l'impatto visivo della nuova piattabanda aveva indotto il committente, in alternativa al risanamento del ponte esistente, alla costruzione di un nuovo ponte situato a valle. La situazione delicata, con l'antico ponte nelle vicinanze, richiedeva un progetto nello stesso tempo sobrio, elegante e con un carattere sufficientemente forte. Si è



Fig. 1

Il nuovo ponte visto da valle.

View of the new bridge.



Fig. 2

Lavori di sistemazione a ponte ultimato. Sullo sfondo s'intravede il ponte ad arco del XIX secolo.

Work during construction. 19th century bridge can be seen in the background.

zasca by means of a 19th century masonry bridge. The existing bridge has two spans, with a pier founded on the rocks in the middle of the river. The bridge presented some restrictions such as a rather limited width (4.8 m), damage in the arched sections and stability problems with the vertical walls. A rehabilitation project for the bridge however did not materialise due to its high cost. As an alternative, the project for a new bridge was proposed. In this paper the new bridge project is presented.

The design of the new bridge was greatly influenced by the pre-

pertanto optato per una struttura monolitica in calcestruzzo armato precompresso con una campata unica che garantisse la massima trasparenza in modo da non nascondere l'antico ponte con il suo caratteristico appoggio centrale. Il fiume Verzasca ha un carattere torrenziale e una portata media che non raggiunge i 10 m³/s; nel caso di precipitazioni si possono verificare forti aumenti della massa d'acqua e la piena centennale è stimata a ben 660 m³/s. Inoltre, in caso di piena, l'alveo può diventare instabile fino a una profondità di alcuni metri. Per questo motivo, le fondazioni hanno do-

sence of the existing one, as it needed to be smooth and unobtrusive but with some character. While taking into account these considerations, it presented an opportunity to design a slender prestressed concrete girder, ensuring maximum transparency, so that the existing masonry bridge was not hidden. The cross-section of the bridge is T-shaped with a single web.

The River Verzasca experiences significant flooding in spring and summer. Typically, the flow is no more than 10 m³/s. However, during floods, the river may carry up to 660 m³/s. In addition, during floods, the first few metres of the soil can become unstable. Due to these considerations, foundations needed to be deep enough to avoid the danger of scour. In order to comply with such exigencies and to fix the ends the T-shaped girder to increase the slenderness of the bridge, an efficient structural concept was developed. It consists in creating two supports (one at each end) founded on deep footings. Each support is composed of a narrow inclined wall and an inclined strut, the girder being fixed to both elements. The shape

Client
Canton Ticino, Dipartimento del Territorio
Design
Ing. Aurelio Muttoni, Livio Muttoni, Franco Lurati e Marco Tajana (Grignoli Muttoni Partner Studio d'ingegneria SA, Lugano)
Landscape consulting
Arch. Michele Arnaboldi, Locarno
Construction firm
Mancini e Marti SA, Bellinzona
Cost
3,100,000 CHF (VAT and design costs included)

Committente
Canton Ticino, Dipartimento del Territorio
Progetto
Ing. Aurelio Muttoni, Livio Muttoni, Franco Lurati e Marco Tajana (Grignoli Muttoni Partner Studio d'ingegneria SA, Lugano)
Consulente per l'inserimento paesaggistico
Arch. Michele Arnaboldi, Locarno
Impresa costruttrice
Mancini e Marti SA, Bellinzona
Costo totale
3 100 000 CHF IVA inclusa (onorari compresi)



Fig. 3
Telaio con sezione a T e trave unica centrale.
T-shaped girder and support.

vuto essere impostate a una profondità sufficiente da scongiurare il pericolo di scalzamento. L'esigenza di garantire la massima trasparenza e quella di permettere il deflusso in caso di piena hanno portato allo sviluppo di uno schema strutturale innovativo costituito da una trave molto snella, sostenuta da due puntoni inclinati appoggiati a loro volta su due piedritti adagiati sulle due rive della Verzasca e fondati su due piastre di fondazione profonde.

Struttura

Il ponte presenta una lunghezza totale di 85,20 m e una luce di 41,60 m all'innesto dei puntoni. La piazzalanda larga 7,00 m e la nervatura centrale larga 1,10 m formano una sezione a T. Questa sezione risulta dalla volontà di garantire la massima trasparenza e massimizzare la durabilità con la struttura portante protetta dalla piazzalanda. La torsione nell'impalcato generata dai carichi asimmetrici sulla sezione è trasmessa dalla nervatura centrale ai puntoni e ai piedritti. L'impalcato con snellezza pari a $1,50/43,10 = 1/29$ in campata e $2,50/43,10 = 1/17$ all'appoggio sui puntoni, è pre-

and dimensions of the various elements were optimized in order to provide maximum transparency.

Structure

The bridge is 85.20 m long, with a central clear span of 41.60 m. The deck slab is 7.0 m wide, supported on a central web 1.10 m thick (T-shaped cross-section). Such a cross-section was selected in order to ensure maximum transparency and to increase durability due to the protection offered by the deck slab. Torsion due to eccentric loading is transmitted by the central web to the supports. The gir-

presso su tutta la lunghezza con tre cavi da 19 trefoli ø 15,7 mm. I due puntoni sono impostati a un'altezza ben superiore a quella delle fondazioni in modo da garantire il deflusso del fiume Verzasca e una buona trasparenza. Ne risulta una sollecitazione importante dei piedritti che sono stati pertanto precompressi con due cavi da 19 trefoli ø 15,7 mm ciascuno. La forma dei piedritti, come pure quella dei puntoni, è stata ottimizzata in funzione degli sforzi mediante un'analisi con campi di tensione e modelli bielle-e-tiranti.

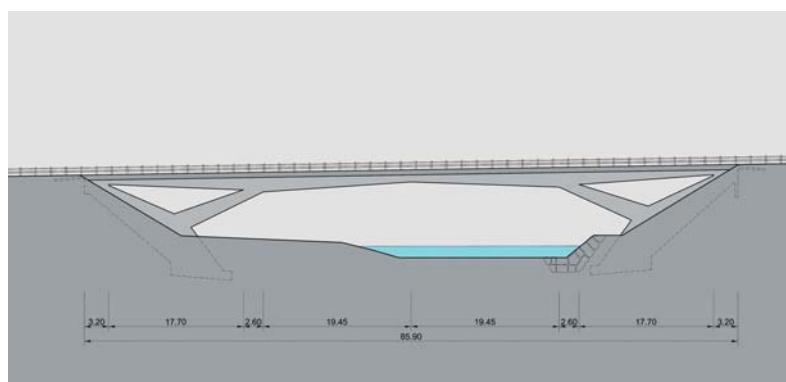


Fig. 4
Vista.
Elevation view.

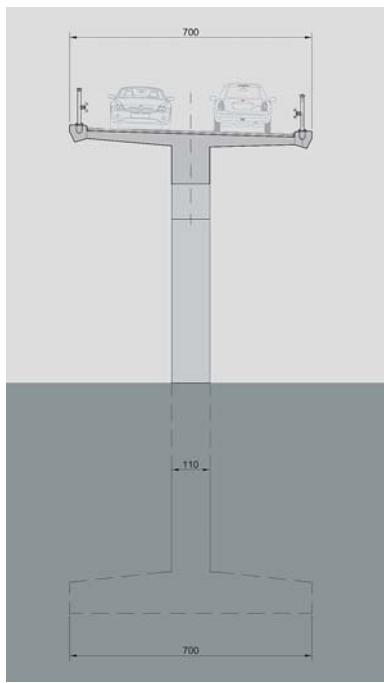


Fig. 5
Sezione trasversale.
Cross-section.

der has a slenderness ratio equal to $1.50/43.10 = 1/29$ at mid-span and to $2.50/43.10 = 1/17$ at the supports. Prestressing of the girder consists of three tendons with 19 strands of 15.7 mm diameter. In order to minimize interference with the flow of the River Ver-

la struttura a telaio è completamente monolitica con le spalle e con le solette d'assestamento. Ciò permette di evitare l'impiego di giunti di dilatazione, sia nella struttura che nella pavimentazione, in modo da ridurre i costi di manutenzione.

Costruzione

Il cantiere è stato aperto durante il mese d'ottobre 2008. Dopo il getto delle fondazioni avvenuto nella primavera 2009 si è provveduto alla costruzione dei piedritti precompressi e dei puntoni. L'impianto è in seguito stato realizzato nel mese di giugno 2009 su una centina convenzionale con un getto unico su tutta la lunghezza del ponte. I cordoli sono stati gettati in seguito al fine di correggere le inevitabili imprecisioni della centinatura usando un calcestruzzo resistente al gelo e ai sali di disgelo. I lavori di finitura sono stati ultimati nel mese di settembre 2009. Per tutto il ponte sono stati utilizzati 750 m³ di calcestruzzo (classe C25/30 per le fondazioni e i cordoli; C30/37 per il resto della struttura), 140 t d'acciaio d'armatura e 7,8 t d'acciaio armonico per cavi di precompressione.

asca, the struts of the supports do not carry the loads directly to the foundations. As a result, significant forces develop in the wall. Therefore two tendons with 19 strands 15.7 mm in diameter are installed to ensure sufficient strength at the ultimate load and satisfactory behaviour under service loads. The shape of the supports was optimized during design by considering stress fields and strut-and-tie models.

The framed structure is fully monolithic to the abutments and approach slabs. This avoided placing expansion joints or bearings with the aim of reducing maintenance costs.

Construction

Construction started in October 2008. After casting of the foundations (in spring 2009), the supports were installed. Finally, the T-shaped girder was concreted in June 2009. Concreting took place on conventional falsework and in one sequence. The edge beams (supporting the safety barriers) were subsequently cast (using a concrete resisting icing and defrosting salts) and allowed correcting potential inaccuracies of the falsework.

Casting of the bridge required 750 m³ of concrete. The specified compressive strength of concrete was 25 MPa for the foundations and 30 MPa for the rest of the structure. 140 tons of ordinary reinforcement was used and 7.8 tons of prestressing steel.

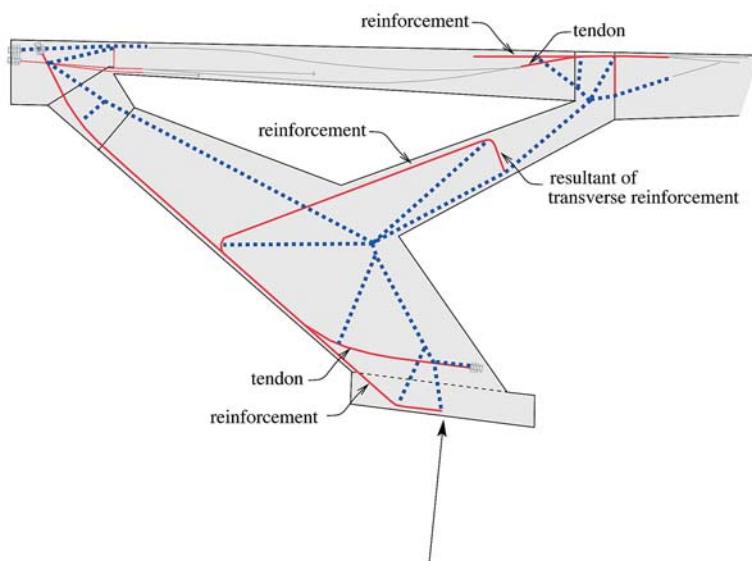


Fig. 6
Modello a bielle-e-tiranti per il dimensionamento dei piedritti e dei puntoni.
Strut-and-tie model for dimensioning of support elements.

Autori/Authors

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

Livio Muttoni
Ing. dipl. SUPSI

Franco Lurati
Ing. dipl. ETHZ

Grignoli Muttoni Partner Studio
d'ingegneria SA
CH-6900 Lugano
info@gmpartner.ch

Punt d'En Vulpera (Innbrücke Vulpera)

Inn Bridge Vulpera

Walter Kaufmann, Oliver Müller, Rudolf Vogt

Einleitung

Die Verbindungsstrasse Nairs-Tarasp ist die einzige Strassenverbindung zum Kurort Tarasp-Vulpera. Die schmale, an mehreren Stellen unübersichtliche Strasse ist bautechnisch in einem schlechten Zustand. Ein Variantenstudium zeigte, dass der Bau einer neuen Brücke die beste Lösung zur Beseitigung dieser unbefriedigenden Situation ist. Aus diesem Grund wurde im Jahr 2005 ein Projektwettbewerb für eine neue Brücke durchgeführt, aus dem das in diesem Beitrag beschriebene Projekt LUNA als Siegerprojekt hervorging.

Situation

Die rund 240 m lange Innbrücke Vulpera überspannt die Inn schlucht in einer Höhe von rund 70 m. Die zweispurige Strassenbrücke ist im Grundriss gerade und weist ein Längsgefälle von generell 7,5% auf.

Introduction

The road Nairs–Tarasp is the only road connection to the tourist destination Tarasp–Vulpera. The narrow and windy road is in a poor condition. A concept study showed that the construction of a new bridge is the best solution to eliminate this unsatisfying situation.

As a result, a design competition took place in 2005. The project LUNA was the winning design and the project details are presented in the following article.

Situation

The approximately 240 m long Inn Bridge Vulpera spans the Inn gorge at a height of about 70 m. The straight two lane bridge has a longitudinal slope of 7.5%. The design and construction of this structure was technically and aesthetically demanding. The structural concept is the result of an intensive evaluation of the

Die Projektierung und Ausführung dieses Bauwerks war in technischer und in gestalterischer Hinsicht anspruchsvoll. Das Tragwerkskonzept ist das Resultat einer intensiven Auseinandersetzung mit den topografischen, landschaftlichen und geologischen Besonderheiten des Ortes.

Der für die Fundation einer Brücke geeignete Fels (stabiler Bündnerschiefer) steht erst in grösserer Tiefe an, und die linke Talflanke ist instabil. Daher sollten keine Horizontallasten infolge vertikaler Beanspruchungen resultieren und die Horizontallasten in Kombination mit grossen Vertikallasten abgeben werden können.

Die Zugänglichkeit der Talflanken ist durch Hangneigungen von über 100% erschwert. Es sollten möglichst wenige Einzelbaustellen in den Talflanken erforderlich sein, um die Baustelle mit vernünftigem Aufwand erschliessen zu können.

Die neue Brücke ist aus manchen Perspektiven gut einsehbar und wird das Landschaftsbild grossräumig prägen. Sie soll sich selbstbewusst, aber ohne spektakuläres Pathos in die dramatische Landschaft einfügen.

Die gewählte Lösung, eine sorgfältig gestaltete und durchkonstruierte Freivorbaubrücke, wider spiegelt die hohen Anforderungen, welche die Umgebung an das Bauwerk stellt.

Tragwerkskonzept

Gesamtsystem

Die Innbrücke Vulpera wurde als Freivorbausystem mit zwei Pfeilern und einem gevouteten Träger konzipiert. Im Endzustand wirkt das Bauwerk als in den Pfeilerfundamenten eingespannter verschieblicher Rahmen (schwimmende Lagerung). Damit kann die im Bauzustand erforderliche Pfeilersteifigkeit auch im Endzu-

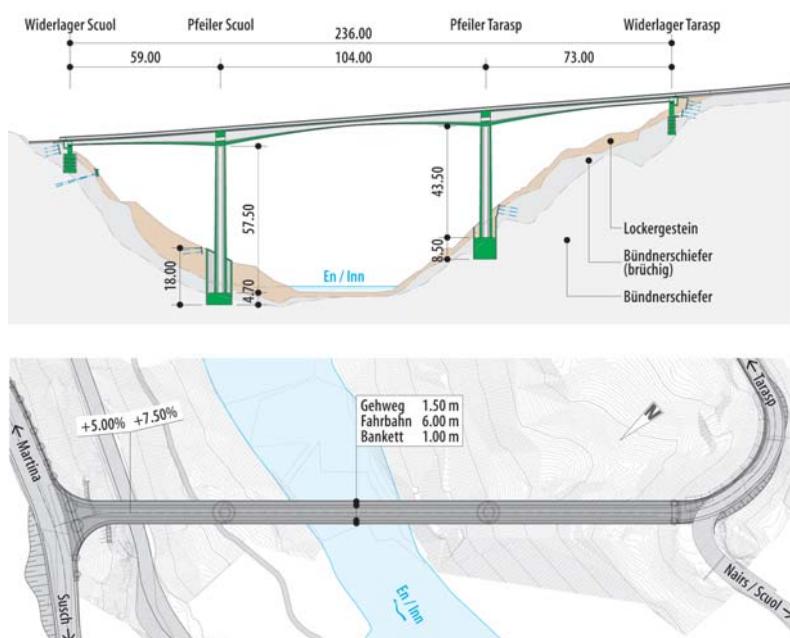


Fig. 1

Längsschnitt und Situation.
Longitudinal section and situation.



Fig. 2
Freivorbau Tarasp (4. Etappe).
Cantilever construction on the side Tarasp (4th segment).

Project data

Owner and project management
Canton Grisons, Civil Engineering Office, Structures Department, Chur
Design and construction support
ACS-Partner AG, Bauingenieure, Zürich; dsp Ingenieure & Planer AG, Greifensee; Eduard Imhof, Architekt, Luzern; Dr. Vollenweider AG, Geotechnik, Zürich
Construction supervision
Canton Grisons, Civil Engineering Office, Structures Department, Chur; Bänziger Partner AG, Chur
Contractors
Strabag, Zürich; J. Erni Bauunternehmung, Flims; G. Lazzarini & Co. AG, Samedan; Foffa + Conrad SA, Zernez; Bezzola Denoth AG, Scuol

Technical data
construction period 2007 – 2010
construction costs approx. CHF 17.5 Mio (incl. road work)
length 236.0 m
deck width 9.26 m
girder depth 2.10–6.14 m
max. pier height 57.50 m

Quantities

concrete	approx. 6600 m ³
formwork	approx. 15 800 m ²
reinforcing steel	approx. 900 t
post-tensioning cable	approx. 88 t
soil excavation	approx. 5300 m ³
rock excavation	approx. 2800 m ³

topographical, environmental and geological issues at the project site.

The sound rock (Grisons shale) is suitable for bridge foundations; however it is found only at great depth. In addition, the left valley slope is unstable. This is why no horizontal foundation forces should result from vertical loads and other horizontal forces should only occur in combination with large vertical forces.

The access to the site is very difficult due to the steep valley slopes. An important project goal was to build this bridge with the least amount of access points.

The new bridge can be seen from many locations and will have a great impact on its surroundings. It should be a prominent and elegant structure, without overpowering the spectacular alpine landscape.

The chosen structure, a carefully designed and detailed concrete box girder bridge, reflects the high demands imposed by its surroundings.

stand ausgenutzt werden, und die Widerlager in den steilen, teilweise instabilen Talflanken müssen keine Horizontalkräfte abtragen. Auch reduziert dieses Lagerungskonzept die Erdbebeneinwirkungen erheblich.

Die Pfeilerstandorte wurden aufgrund von statischen und gestalterischen Überlegungen so gewählt, dass die Spannweiten der einzelnen Felder in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen, die beiden Pfeiler ähnliche Höhen aufweisen und auf eine zusätzliche Stütze auf der Seite Tarasp verzichtet werden konnte. Die Gesamtlänge der Brücke beträgt 236,0 m, mit Feldlängen von 59,0+104,0+73,0 m. Die Form des Überbaus und der Pfeiler wurde in Anlehnung an die statischen Erfordernisse entwickelt und hinsichtlich Bauablauf und Gestaltung optimiert.

Überbau

Die Geometrie des Überbaus wurde so festgelegt, dass eine symmetrische Bauweise von den

Structural concept

Structural System

The Inn Bridge Vulpera is a cast-in-place segmental concrete box girder bridge. The variable depth girder has two piers and is constructed using the balanced cantilever method. The superstructure is monolithically connected to the piers and has expansion bearings at the abutments. The required pier stiffness during the construction period can also be used in the final structure. Therefore, the abutments, located in the steep, partly unstable valley slopes, do not have to resist horizontal forces. This bearing layout reduces the earthquake forces as well.

The pier locations were determined taking into consideration the structural and aesthetic constraints. Criteria included: a well balanced span layout, similar pier heights and avoidance of an additional pier on the Tarasp side. The total length of the bridge is 236 m, with spans of 59.0 + 104.0 + 73.0 m. The shape of the superstructure and the piers were developed



Fig. 3
Winterpause auf der Baustelle im Engadin.
Winter break at the construction site in the Engadin.



Fig. 4
Freivorbau Scuol (8. Etappe).
Cantilever construction on the side Scuol (8th segment).

Pfeilern aus auf einer Länge von jeweils 51 m möglich war. In den Endfeldern wurden die verbleibenden Restlängen von 8 m bzw. 22 m mit freitragenden Lehrgerüsten konstruiert, die an den bereits gebauten Überbau angehängt und bei den Widerlagern abgestützt wurden. Der Überbau besteht aus einem gevouteten Hohlkastenquerschnitt. Seine Höhe beträgt maximal 6,14 m in den Pfeilerachsen und verringert sich in Feldmitte bis auf 2,10 m. Der Verlauf der Querschnittshöhe entspricht einer Parabel mit dem Exponenten 1,7. Dies ergibt eine gleichmässige Ausnutzung der Stege.

foremost by considering the structural performance and optimized with regard to construction process and design.

Superstructure

The geometry of the superstructure was developed to allow a balanced construction method from the piers over a length of 51 m to each side. The remaining side span portions of 8 m and 22 m were constructed using falsework attached to the tip of the cantilever and supported again at the abutments.

The variable depth box girder has a maximum depth of 6.14 m over the piers and decreases to 2.10 m

Die Vorspannung ist so konziert, dass weder im Bau- noch im Endzustand Zugspannungen unter ständigen Lasten auftreten. Damit ist die Bruchsicherheit in allen Querschnitten mit einer vernünftigen schlaffen Bewehrung erfüllt.

Die Stege des Trägers sind V-förmig nach innen geneigt. Dadurch werden die Flanken der unteren Kastenplatte, die eine konstante Breite aufweist, freigespielt, was ihre von der Feldmitte zu den Pfeilern kontinuierlich zunehmende Stärke sichtbar macht. Die Plattenstärke verläuft affin zur Trägerhöhe und ist direktes Abbild der auftretenden Kräfte.

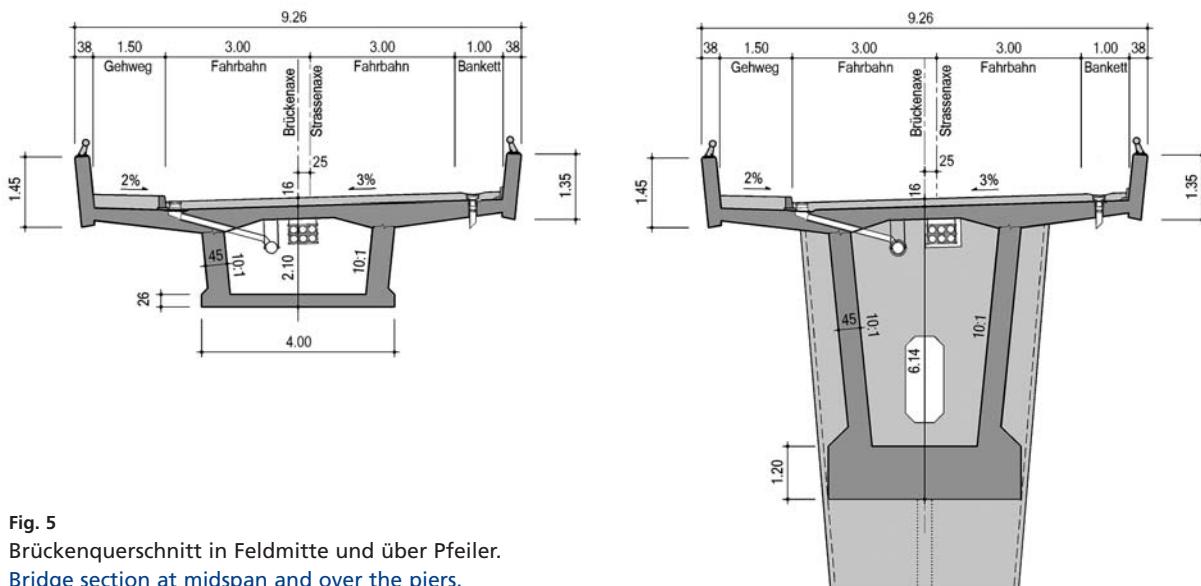


Fig. 5
Brückenquerschnitt in Feldmitte und über Pfeiler.
Bridge section at midspan and over the piers.



Fig. 6

Fugenschluss im Mittelfeld.
Closure pour at midspan.

at midspan. The variation of the girder depth follows a parabola with an exponent of 1.7 and yields a fairly uniform shear stress distribution in the webs.

The post-tensioning cables are laid out to avoid any tension stresses under permanent loads.

Projektdaten

Bauherr und Gesamtprojektleitung
Kanton Graubünden, Tiefbauamt,
Abteilung Kunstbauten, Chur
Projektverfasser und technische Bauleitung
ACS-Partner AG, Bauingenieure,
Zürich; dsp Ingenieure & Planer AG,
Greifensee; Eduard Imhof, Architekt,
Luzern; Dr. Vollenweider AG, Geotechnik,
Zürich
Örtliche Bauleitung
Kanton Graubünden, Tiefbauamt,
Abteilung Kunstbauten, Chur;
Bänziger Partner AG, Chur
Bauausführung
Strabag, Zürich; J. Erni Bauunternehmung, Flims; G. Lazzarini & Co. AG,
Samedan; Foffa + Conrad SA, Zernez;
Bezzola Denoth AG, Scuol

Technische Daten

Bauzeit 2007–2010
Baukosten ca. CHF 17,5 Mio. (mit Strassenanpassungen)
Länge 236,0 m
Brückenbreite 9,26 m
Trägerhöhe 2,10–6,14 m
Max. Pfeilerhöhe 57,50 m

Hauptmassen

Beton	ca. 6600 m ³
Schalung	ca. 15 800 m ²
Bewehrungsstahl	ca. 900 t
Vorspannkabel	ca. 88 t
Aushub Lockergestein	ca. 5300 m ³
Aushub Fels	ca. 2800 m ³

With this post-tensioning steel and a reasonable amount of additional mild steel, the ultimate capacity is guaranteed.

The bottom slab of the box girder has a constant width. Due to the inclined webs and the variable depth girder, the side faces of the bottom slab become visible. This shows the continually increasing depth of the bottom slab and emphasizes the flow of the forces.

Piers

The piers have a height of 57.50 m and 43.50 m, respectively. They provide the horizontal stabilization of the superstructure during the balanced cantilever construction as well as in the final structure.

The dimensions of the pier sections correspond with the bending moments in the longitudinal and transverse directions. The waist of the pier is located in the area of minimal forces. The basic form is a rhomboid. Two inclined planes cut the waist out of the basic form and bring the geometry of the pier head and the pier base together. The result is an interesting pier shape, which is – analogous to the superstructure girder – a picture of the force flow.

Abutments

The superstructure rests on expansion bearings at the abutments and is free to move in the longitudinal direction. Modular expansion joints are required due to the large expansion/contraction movements. The abutments allow easy inspection of expansion joints and bearings. Troughs are installed under the expansion joints as a second level of protection. They allow a controlled drainage of leaking water. New retaining walls had to be constructed next to the abutments. They reach a considerable height due to the steep slopes and had to be founded on caissons.

Foundations

The foundations are located in steep labile to unstable slopes.



Fig. 7
Pfeiler Scuol.
Pier Scuol.



Fig. 8
3D-Pfeilergeometrie.
3D geometry of the piers.

wegen der sehr steilen Hangneigungen teilweise recht hoch sind und auf Schächten fundiert wurden.

Fundation

Die Fundationen in labilen bis instabilen, steilen Hängen in der vorliegenden geotechnischen Situation haben ausführungstechnische und kostenrelevante Folgen. Daher wurde das Projekt in dieser Beziehung optimiert.

Das Fundationskonzept mit Schächten erlaubte, sehr flexibel auf die effektiv angetroffenen Baugrundverhältnisse, insbesondere die Oberfläche des gesunden Bündnerschiefers, zu reagieren.

Der Pfeiler Scuol wurde auf einem Schacht Ø 10,0 m mit 4,7 m Stärke in einer Tiefe von rund 18 m im stabilen Bündnerschiefer fundiert. Über der Fundation folgt ein Zylinderschacht mit drei verschiebblichen, in den Fugen knautschbaren Trapezringen, welche die tiefliegenden langsamem Verschiebungen des Untergrunds mitmachen. Der oberhalb dieser Ringe liegende, biegesteife Schachtansatz von rund 8 m Höhe übernimmt die Kriechdruckkräfte aus der oberflächlichen, schnelleren Rutschmasse. Der Schachtdurchmesser wurde so festgelegt, dass – unter Ansatz eines oberen Grenz-

These geotechnical challenges had considerable consequences on the construction costs and also on the construction process. In this regard the project had to be optimized during the design process.

The foundation concept with caissons allowed adjustment to the actually encountered geotechnical conditions, such as the actual level of the sound rock (Grisons shale).

The pier Scuol is founded on a Ø 10.0 m caisson with a length of 4.7 m and a depth of approximately 18 m in the stable Grisons shale. On top of the foundation there is a cylindrical, hollow shaft including three movable rings (separated by compressible joint material), which can adjust to the slow horizontal deformations of the deep layers. Above the three rings is a bending stiff hollow shaft of approximately 8 m height, which resists the pressure from the faster creeping slope on the surface. The shaft diameter was determined such that – based on an upper bound of the creep velocity of the slope – a lifetime (period without intervention) of 100 years can be achieved.

The pier Tarasp is founded on a Ø 9.0 m caisson with a length of 8.5 m and a depth of approximately 15 m in the stable Grisons

werts für die Kriechgeschwindigkeit des Hangs – eine Lebensdauer (interventionsfreier Zeitraum) von 100 Jahren gewährleistet ist.

Der Pfeiler Tarasp wurde auf einem Schacht Ø 9,0 m mit 8,5 m Stärke in einer Tiefe von rund 15 m fundiert. Das Widerlager Scuol steht auf zwei Schächten Ø 4,0 m (Tiefe 7,5 m), das Widerlager Tarasp auf zwei Schächten Ø 3,0 m (Tiefe bis 10,0 m). Diese Schächte wurden konventionell mit Beton verfüllt.

Bauausführung

Für den Bau der Fundamentschächte in den steilen Talflanken wurde der bergseitige Hangschnitt mit ungespannten Ankern (Felsnägel) und Spritzbeton gesichert. Im Anschluss konnte der eigentliche Schachtaushub in Etappen von 1 bis 2 m Höhe (je nach Standfestigkeit des Bodens) erfolgen.

Die Erstellung der Pfeiler erfolgte mit Kletterschalungen in Etappen von 4,50 m. Die Grundetappe des Überbaus mit einer Länge von 14 m wurde auf einem am Pfeilerkopf befestigten Lehrgerüst betoniert. Anschliessend wurden die Freivorbauwagen installiert und der Überbau in zehn symmetrischen Freivorbauetappen mit Längen von 3,50 + 3,50 + 4,00 + 4,00 +



Fig. 9
Erstellung der Randfelder.
Construction of the closure spans.

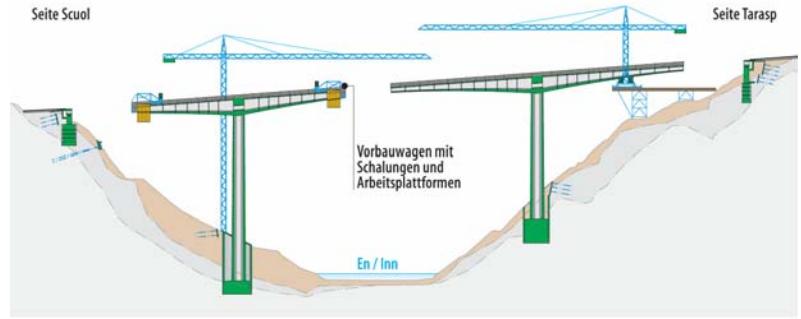


Fig. 10
Bauvorgang.
Construction sequence.

shale. The abutment Scuol is founded on two caissons Ø 4.0 m (length 7.5 m), and the abutment Tarasp on two caissons Ø 3.0 m (length up to 10.0 m). The caissons were conventionally filled with concrete.

Construction

For the caisson construction, the steep valley slope first had to be secured with non-prestressed ground anchors (rock nails) and shotcrete. The caisson excavation was done in 1 to 2 m deep stages depending on the stability of the ground.

The piers were constructed with climbing formwork in 4.50 m high segments. The 14 m long pier table was cast on falsework attached to the top of the pier. Later on, the travelers were installed and the cantilevers erected in ten symmetrical segments of $3.50 + 3.50 + 4.00 + 4.00 + 4.50 + 4.50 + 5.00 + 5.00 + 5.00 + 5.00$ m.

The segment lengths were established such that the segment weights and therefore the loads on the traveler were nearly equal over the different stages. The weights varied between 920 and 700 kN. The segments were cast simultaneously in a 2-week cycle,

$4.50 + 4.50 + 5.00 + 5.00 + 5.00 + 5.00$ m erstellt.

Die Etappenlängen wurden so festgelegt, dass das Gewicht der Vorbauetappen, und damit die Beanspruchung der Vorbauwagen, annähernd konstant waren; das Gewicht variierte zwischen rund 920 und 700 kN. Die Erstellung erfolgte in einem Takt von zwei Wochen pro Vorbauetappe, wobei der Querschnitt in zwei Betonieretappen (Trog, Fahrbahplatte) erstellt wurde. Zwei grosse Turmdrehkrane erschlossen die Baustelle. Beim Widerlager Tarasp wurde eine Kranbahn auf einer in der steilen Talflanke fundierten Stahlkonstruktion erstellt, damit der Kran mit einem Ausleger von 70 m Lasten bis zur Brückenmitte bringen konnte. Der andere Kran mit einem Ausleger von 70 m war stationär und wurde unmittelbar neben dem Pfeiler Scuol auf Mikropfählen fundiert. Dieser Kran deckte die ganze nördliche Brückenhälfte ab.

with the section poured in two parts (bottom slab together with webs then deck).

The site was accessed with two tower cranes. The crane near the abutment Tarasp was installed on tracks, which were founded in the steep valley slope. This allowed the crane with a 70 m boom to lift material up to the middle of the main span. The other crane with a 70 m boom, located next to the pier Scuol, was stationary and founded on micro piles. This crane covered the whole northern half of the bridge.

Autoren / Authors

Walter Kaufmann
Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH
dsp Ingenieure & Planer AG
CH-8606 Greifensee
kaufmann@dsp.ch

Oliver Müller
PE, dipl. Bauing. ETH
dsp Ingenieure & Planer AG
CH-8606 Greifensee
mueller@dsp.ch

Rudolf Vogt
Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH
ACS-Partner AG
CH-8050 Zürich
rudolf.vogt@acs-partner.ch

Les viaducs du Creugenat

The Creugenat Viaducts

Bernard Houriet, Jean-François Gnaegi, Sylvain Plumey

Introduction

Situés sur le tracé de la route nationale A16 dans le canton du Jura, les viaducs du Creugenat sont actuellement en phase de construction à l'ouest de Porrentruy, à proximité du village de Courtedoux. Au terme d'une procédure sélective à deux degrés inhabituelle, avec concours de projet en phase 1 et mandat parallèle en phase 2, le projet d'ouvrages en béton réalisés par encorbellement du bureau GVH Delémont SA a été retenu pour l'exécution.

Site

L'autoroute A16 franchit la vallée sèche du Creugenat à une hauteur maximale de 50 m. Les viaducs enjambent une large brèche trapézoïdale d'environ 180 m de longueur dont les versants dissymétriques sont boisés. Le versant Ouest présente une faible pente; le versant Est est plus escarpé et difficile d'accès.

Le fond de la vallée, constitué par le lit du déversoir occasionnel de la rivière souterraine l'Ajoulotte, est protégé par une zone d'interdiction de construire de 60 m de largeur, aussi bien en phase de réalisation qu'en phase d'exploitation de l'ouvrage.

Introduction

Located on the A16 national highway in Canton Jura, the Creugenat viaducts to the west of Porrentruy are currently under construction, near the village of Courtedoux. Under the terms of an unusual two-stage selection procedure, with project bidding in phase 1, and a parallel contract in phase 2, the project based on a concrete cantilever structure design, proposed by GVH Delémont SA, was selected.

Site

Highway A16 crosses the dry valley of the Creugenat at a maximum height of 50 m. The viaducts span a wide trapezoidal-shaped gap approximately 180 m in length, whose dissymmetric sides are wooded. There is a gentle gradient on the West side, whereas the East side is steeper and difficult to access.

The valley floor, constituting the bed for the occasional surface flow of the Ajoulotte underground river, is protected by a 60 m-wide building prohibition zone, both during the construction phase and the operational phase for the structure.

Géologie

Les calcaires à Ptéroceres du Kimmeridgien affleurent sur les deux versants de la brèche; les marnes à Ptéroceres sont interceptées localement côté Ouest.

Dans la plaine du Creugenat, on rencontre une couche quaternaire constituée d'alluvions et de lehms dont l'épaisseur maximale atteint 8 m.

La campagne de reconnaissances géologiques complémentaires 2008, réalisée au terme de la procédure sélective, a mis en évidence la présence d'importants karsts dans les calcaires sous-jacents.

Conception structurale de l'ouvrage

Les viaducs Nord et Sud sont divisés en trois parties distinctes :

- La partie centrale, constituée de quatre fléaux d'une longueur cumulée de 384 m y compris les clavages, réalisée par encorbellement à 50 m au-dessus du fond de la vallée (fig. 1).
- Le viaduc d'accès Ouest d'une longueur de 148 m, réalisé sur cintre fixe, avec des portées de 38,6, 48,2 et 48,2 m et un porté-à-faux provisoire de 13 m (avant le clavage avec le fléau 4).



Fig. 1

Coupe longitudinale : zone d'interdiction de construire en rouge.
Longitudinal section: construction prohibition zone in red.

Geology

The Kimmeridgian Pteroceras limestone is present on the surface of both sides of the gap. The Pteroceras marl is encountered locally on the West side. In the Creugenat valley floor, there is a quaternary layer made up of alluvia and silty clay, whose maximum thickness reaches 8 m. The additional geological investigation in 2008, carried out under the terms of the selection procedure, revealed the significant presence of karsts in the underlying limestone.

Structural design

The North and South viaducts are divided into three separate sections:

- The central section, comprising four beams with a total length of 384 m (including the zones of the mid-span connections), constructed using the balanced cantilever method at a height of 50 m above the valley floor (Fig. 1).
 - The West access viaduct, 148 m in length, constructed on a fixed centring, with spans of 38.6, 48.2 and 48.2 m and a temporary 13 m cantilever (before the connection with beam 4).
 - The East end span, 26.8 m and 12.50 m in length for the North

- La travée de rive Est d'une longueur respective de 26,8 et 12,50 m pour les viaducs Nord et Sud, réalisée également sur cintre fixe.

La longueur totale des viaducs atteint 558,8 m (viaduc Nord) et 544,5 m (viaduc Sud). En plan, les viaducs Nord et Sud suivent un tracé courbe caractérisé par un rayon de courbure de 869,275 m et 912,875 m. La largeur totale du tablier est de 11,55 m (avec les parapets). La largeur utile est de 10,75 m (sans les parapets).

and South viaducts respectively, also constructed on a fixed centring.

The total length of the viaducts is 558.8 m (North viaduct) and 544.5 m (South viaduct). The drawings show that the North and South viaducts have a curved alignment described by a radius of curvature of 869.275 m and 912.875 m. The total width of the deck is 11.55 m (with the parapets). The operating width is 10.75 m (without the parapets).

Static system

During the operating phase, the static system is floating. The longitudinal stability is essentially guaranteed by piers 4 to 6, linked monolithically to the deck. Piers 1 and 2 are separated from the deck via a mobile support (moving in all directions) and a transversally locked support. Pier 3 has a support locked in all directions and a transversally locked support.

Two mobile supports (moving in all directions) and a guide support are provided at each abutment.

During the assembly phase, abutment 0 is provisionally locked in the longitudinal direction until connections 4–5 have been completed.

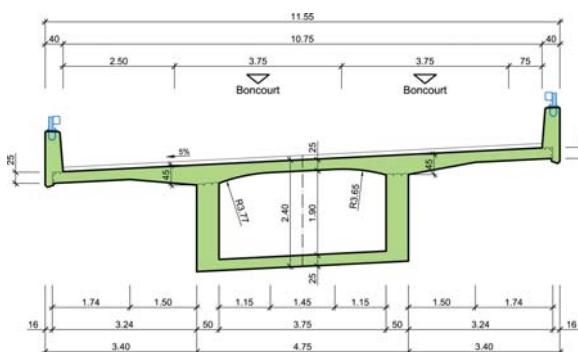


Fig. 2
Section transversale du tablier – viaduc d'accès.
Cross section of deck – access viaduct.

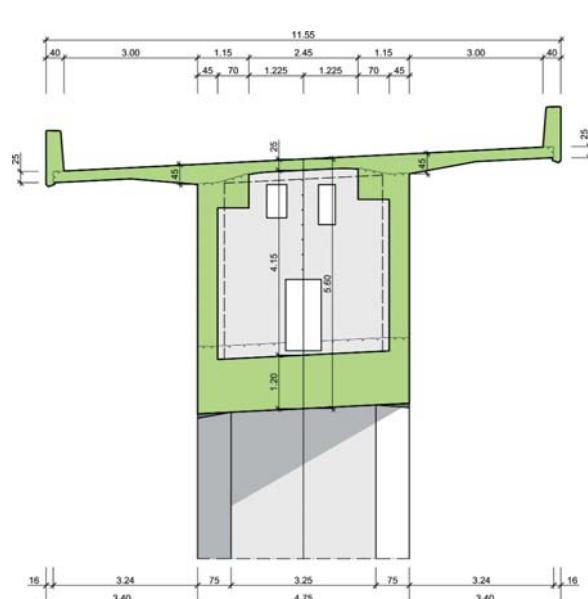


Fig. 3
Section transversale du tablier – culots 5 et 6.
Cross section of deck – footings for piers 5 and 6.

Intervenants
Maître d'ouvrage et direction générale des travaux
République et canton du Jura Service des Ponts et Chaussées, Section route nationale
Auteur du projet et direction locale des travaux
GVH Delémont SA
Entreprise
F. Bernasconi & Cie SA
Précontrainte
Freyssinet SA
Chariot d'encorbellement
Wito-Konstruktionen GmbH

Parties involved
Owner and general management of works
Republic and Canton of Jura Department of Bridges and Roadways, Highways Division
Author of project and local management of works
GVH Delémont SA
Contractor
F. Bernasconi & Cie SA
Prestressing
Freyssinet SA
Cantilever system
Wito-Konstruktionen GmbH

Tablier

Le tablier en béton armé précontraint est constitué d'un caisson à âmes verticales d'une largeur de 4,75 m muni de deux porte-à-faux de 3,4 m.

La hauteur du tablier des viaducs d'accès, fixée à 2,4 m pour faciliter l'entretien de l'ouvrage, est maintenue constante dans toute la zone réalisée sur cintre fixe (fig. 2). La hauteur du tablier des fléaux réalisés par encorbellement varie de 2,4 m au droit des clavages en travées à 5,60 m (fléaux 5 et 6) respectivement 4,66 m (fléaux 4 et 7) au droit des culots sur appuis (fig. 3). L'épaisseur des âmes est fixée à 0,50 m pour le viaduc d'accès Ouest et à 0,45 m pour le solde de l'ouvrage. L'épaisseur de la dalle inférieure du caisson varie longitudinalement de 1,20 m sur les piles 5 et 6 à 0,25 m dans les étapes de clavage et dans les viaducs d'accès. L'épaisseur de la dalle de roulement varie transversalement de 0,25 m au droit des parapets et à l'axe du tablier à 0,45 m sur appuis.

Deck

The prestressed reinforced concrete deck comprises a hollow box section, 4.75 m wide, with two 3.4 m cantilevers.

The height of the deck for the access viaducts, fixed at 2.4 m to facilitate maintenance of the structure, is regularly maintained throughout the area on the fixed centring (Fig. 2). The height of the deck of the cantilever-constructed beams varies from 2.4 m over the mid-span connections to 5.60 m (beams 5 and 6), respectively, and 4.66 m (beams 4 and 7) over the support bases (Fig. 3). The thickness of the webs is specified as 0.50 m for the West access viaduct and 0.45 m for the remainder of the structure. The thickness of the lower slab of the box section varies longitudinally from 1.20 m on piers 5 and 6 to 0.25 m at the mid-span connections and in the access viaducts. The thickness of the deck slab varies transversally from 0.25 m over the parapets and the deck axis to 0.45 m on supports.

Des entretoises en béton armé assurent la rigidité du caisson et le transfert des sollicitations du tablier aux piles.

Après la réalisation de la pile et du culot, le tablier est bétonné par étapes successives et symétriques d'une longueur variant de 4 à 5 m au moyen de deux chariots d'encorbellement.

Le clavage des fléaux est réalisé au moyen d'une structure métallique munie de butons dans l'axe de la dalle de roulement et disposée à la face supérieure du tablier. Cette structure permet de compenser les écarts de position horizontaux et verticaux entre les extrémités des fléaux.

Deux câbles de précontrainte provisoires situés sur la dalle inférieure du caisson complètent le dispositif susmentionné.

Le tablier des viaducs d'accès est réalisé en deux étapes transversales (auge + dalle de roulement) sur cintre fixe.

Précontrainte

La zone réalisée par encorbellement comprend 3 types de précontrainte (fig. 4) :

- La précontrainte d'encorbellement (câbles 7T15s et 12T15s) logée dans la dalle de roulement et constituée de 4 câbles par étapes.
- La précontrainte de clavage (câbles 12T15s) disposée dans la dalle inférieure.
- La précontrainte de continuité à tracé parabolique (câbles 19T15s), logée dans les âmes, constituée de 2 câbles par âme alternativement recouverts sur appuis et enfilés au moyen de bossages.

Le viaduc d'accès Ouest comprend deux types de précontrainte :

- Une précontrainte d'auge, constituée de 4 câbles 12T15s maintenus dans l'auge, alternativement couplés au nez des étapes de bétonnage.
- Une précontrainte de dalle, constituée de 2 câbles 12T15s par âme, alternativement couplés au nez des étapes de bétonnage.

La précontrainte des viaducs d'accès Est (travées de rive) est consti-

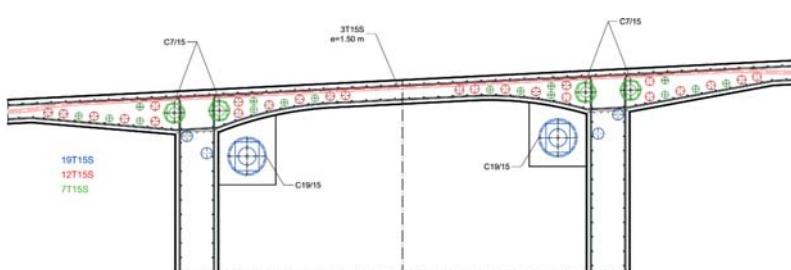


Fig. 4

Coupe transversale du tablier – précontrainte – culots 5 et 6: câbles 19T15s en bleu, câbles 12T15s en rouge et câbles 7T15s en vert.

Transverse section of deck – prestressing – footings for piers 5 and 6: cables 19T15s in blue, cables 12T15s in red and cables 7T15s in green.

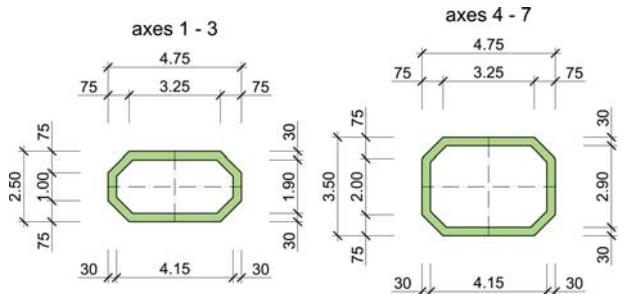


Fig. 5

Sections transversales des piles.
Cross sections of piers.

The reinforced concrete spacers guarantee the rigidity of the box section and the transfer of stresses from the deck to the piers.

After the construction of the pier and the base, the deck is concreted in successive and symmetrical stages with a length varying from 4 to 5m via two cantilever form traveller systems.

The beam connection consists of a steel construction fitted with braces in the axis of the deck slab and arranged on the upper side of the deck. This structure is used to compensate for any differences in horizontal and vertical positions between the ends of the beams.

Two provisional prestressing cables located on the lower slab of the box section supplement the aforementioned system.

The deck for the access viaducts is constructed in two transversal stages (trough + deck slab) on fixed centring.

Prestressing

The area created by cantilevering comprises three types of prestressing (Fig. 4):

- Cantilever prestressing (cables 7T15s and 12T15s) housed in the deck slab and comprising 4 cables per stage.
- Connection prestressing (cables 12T15s) arranged in the lower slab.
- Parabolic fit continuity prestressing (cables 19T15s), housed in the webs, comprising 2 cables per web covered alternately on supports and threaded via recesses.

tuee par la précontrainte de clavage prolongée jusqu'au droit des culées.

La portée de rive Est inhabituellement grande du viaduc Nord est maîtrisée par un renforcement de la précontrainte susmentionnée. Les deux viaducs sont précontraints transversalement (câbles 3T15s, $e = 1,5$ m).

Piles

Les piles sont caractérisées par une section octogonale creuse constante sur toute leur hauteur. La dimension transversale de toutes les piles est limitée à 4,75 m pour restreindre l'effet de barrage de l'ouvrage et favoriser son intégration dans le site.

La dimension longitudinale varie de 2,50 m au droit des piles 1 à 3

The West access viaduct comprises two types of prestressing:

- Trough prestressing, comprising 4 cables 12T15s maintained in the trough, coupled alternately to the "nose" of the concreting stages.
- Slab prestressing, comprising 2 cables 12T15s per web, coupled alternately to the "nose" of the concreting stages.

Prestressing for the East access viaducts (end spans) comprises connection prestressing extended as far as the abutments.

The unusually large East side span of the North viaduct is controlled by a reinforcement of the aforementioned prestressing operation. The two viaducts are transversally prestressed (cables 3T15s, $e = 1.5$ m).

Piers

The piers are characterised by a constant hollow octagonal section throughout their height. The cross dimension of all the piers is limited to 4.75 m to restrict the barrier effect of the structure and facilitate its integration into the site.

The longitudinal dimension varies from 2.50 m over piers 1 to 3, to 3.50 m over the main piers 4 to 7 (Fig. 5).

The piers are constructed using climbing forms, with prefabrication and alternating cages of bars.

Foundations

Until the invitation to tender stage, the planned foundations of the structure were entirely on unweathered limestone via surface footings on the slopes and deep footings in the valley floor.

The aforementioned additional geological investigation led to the design of the foundations being modified as follows:

- Four drilled piles (DN 130 cm) partially encased in the altered upper Pteroceras limestone were adopted over the North and South piers 3 to cross the marl layer encountered during additional drilling operations.
- Ten drilled piles (DN 130 cm) encased in loose ground (approx. 8 m) and uncased in the



Fig. 6
View of North viaduct after connection 4-5.



Fig. 7

Photomontage – vue depuis le Nord.
Photomontage – view from the North.

à 3,50 m au droit des piles principales 4 à 7 (fig. 5).

Les piles sont réalisées au moyen de coffrages grimpants, avec des cages d'armature préfabriquées et alternées.

Fondations

Jusqu'au stade de l'appel d'offres, les fondations de l'ouvrage étaient intégralement prévues sur le calcaire sain au moyen de semelles superficielles sur les versants et de semelles profondes dans la plaine. La campagne de reconnaissances géologiques complémentaires susmentionnée a conduit à modifier le concept des fondations de la manière suivante :

- Quatre pieux (DN 130 cm) forés partiellement tubés dans les calcaires à Ptérocères supérieurs altérés ont été adoptés au droit des piles 3 Nord et Sud pour franchir la couche de marnes mise en évidence lors des forages complémentaires.
- Dix pieux (DN 130 cm) forés tubés en terrain meuble (env. 8 m) et non tubés en calcaires d'une longueur totale de 20 m se sont avérés nécessaires pour traverser les karsts importants reconnus sous l'emprise de la semelle profonde des piles 5 et 6 Sud.
- Dix pieux (DN 130 cm) forés tubés en terrain meuble (env. 8 m)

limestone, with a total length of 20 m it was necessary to cross the significant karsts encountered under the area of the deep footing for piers 5 and 6 South.

- Ten drilled piles (DN 130 cm) encased in loose ground (approx. 8 m) and uncased in limestone, with a total length of 16 m, were also adopted to cover the risk linked to the possible presence of karsts under the area of the deep footing for piers 5 and 6 North.

The pile caps under piers 5 and 6 are positioned on the rock at a depth of 8 m under the ground surface. The excavation of the loose ground, as far as the rock, is carried out with a sealed sheet-pile wall to support the surrounding loose ground.

Cost of the structure

The current estimate for the total cost of the structure, including all the equipment and the adaptation of the foundations of the main piers and pier 3, stands at approximately CHF 29.3 million (pre-tax), which corresponds to a specific average cost of CHF 2,285.–/m² (pre-tax).

et non tubés en calcaires d'une longueur totale de 16 m ont également été adoptés pour couvrir le risque lié à la présence éventuelle de karsts sous l'emprise de la semelle profonde des piles 5 et 6 Nord.

Les banquettes sur pieux des piles 5 et 6 sont bétonnées sur le rocher à une profondeur de 8 m sous le terrain naturel. L'excavation des terrains meubles jusqu'au rocher est réalisée à l'abri d'une enceinte de palplanches étanche.

Coût de l'ouvrage

L'estimation actuelle du coût total de l'ouvrage, y compris l'ensemble des équipements et l'adaptation des fondations des piles principales et de la pile 3, se monte à environ CHF 29,3 mio hors taxe ce qui correspond à un coût spécifique moyen de CHF 2285.–/m² hors taxe.

Auteurs/Authors

Bernard Houriet
Dr ès sc. techn., ing. civil dipl. EPFZ/SIA
Jean-François Gnaegi
ing. civil dipl. EPFZ/SIA

Sylvain Plumey
Dr ès sciences, ing. civil dipl. EPFL/SIA
GVH Delémont SA
CH-2800 Delémont
tramelan@gvh.ch

Ponte sulla Melezza a Borgnone/Palagnedra (TI)

Bridge over Melezza at Borgnone/Palagnedra (TI)

Andrea Pedrazzini, Eugenio Pedrazzini

Introduzione

Il nuovo ponte sulla Melezza a Borgnone/Palagnedra è il risultato di un concorso di progettazione ad invito bandito dalla Divisione delle costruzioni del Canton Ticino nel giugno 2005 per la sostituzione di un ponte ad arco in calcestruzzo armato progettato dall'ing. Walter Krüsi e costruito nel 1952/53.

Il manufatto, della lunghezza complessiva di 103,7 m, garantisce l'accesso al nucleo di Moneto a partire da Camedo, l'ultimo villaggio sulla strada cantonale delle Centovalli prima della frontiera con l'Italia, attraversando la valle all'altezza del bacino artificiale della Melezza creato dalla diga della Palagnedra.

Inserimento nel paesaggio

Il ponte s'inserisce a lato di quello esistente, parallelo allo stesso e con la medesima pendenza del 3% in direzione di Moneto.

Affascinati dal paesaggio idilliaco, prediligiamo una presenza discreta anche se in relazione dialettica con la natura circostante. Lineari-

Introduction

The new bridge over the Melezza River at Borgnone/Palagnedra is the result of a design contest at the invitation of the Construction Department of Canton Ticino in June 2005 for the replacement of a reinforced concrete arched bridge designed by Walter Krüsi, built in 1952/1953.

The structure, with an overall length of 103.7 m, provides access to the centre of Moneto via Camedo, the last village on the Centovalli highway before the Italian border, crossing the valley at the level of the Melezza artificial basin formed by the Palagnedra dam.

Integration with the landscape

The bridge was constructed at the side of the existing one, parallel to it and with the same 3% slope in the direction of Moneto.

Fascinated by the idyllic scenery, we prefer a discreet presence inasmuch as it is in a logical relationship with the surrounding geographical features. Linearity and

tà, adeguato rapporto tra organicità strutturale e astrazione formale e una conformazione minimale e simmetrica degli appoggi ricercano il giusto equilibrio tra natura ed artefatto. La scelta strutturale di un'unica trave centrale rastremata e di appoggi puntuali, unita al particolare rapporto dimensionale tra lunghezza e larghezza del ponte, accentuano longilineità e leggerezza del ponte.

La struttura del nuovo ponte

La struttura proposta è un efficiente arco-portale in calcestruzzo armato precompresso a rigidezza variabile, incastrato al piede dei piedritti e appoggiato in maniera scorrevole sulle spalle (luce arco portale $L = 78,0$ m). L'impalcato del ponte ha una sezione trasversale a T, di altezza massima 2,0 m nei nodi e rastremata in direzione degli appoggi e della mezzeria della campata centrale, dove l'altezza è di 1,0 m. Anche la sezione dei piedritti è in forma di T e si rastrema in direzio-



Fig. 1 + 2

Il nuovo ponte sopra il bacino artificiale della Palagnedra.
The new bridge crossing the artificial basin of Palagnedra.

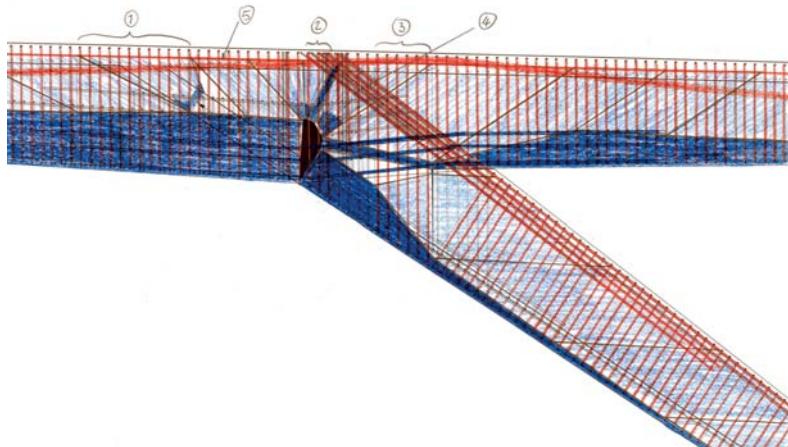


Fig. 3

Campi di tensione per il dimensionamento della zona del nodo.

Tension zones for the dimensioning of the joints.

a balanced relationship between structural organics and formal abstraction as well as the minimal symmetric layout of the abutments seek the right balance between nature and artefact. The structural choice of a single tapered central girder and abutment points, together with the particular dimensional ratio between the length and width of the bridge, accentuate the long members and lightness of the bridge.

The structure of the new bridge

The structure presented is an efficient struttured beam bridge (similar to flat arch) consisting of a prestressed concrete deck of varying stiffness fixed to the legs and with sliding supports at the abutments (distance between foundations of legs = 78.0 m). The bridge deck consists of a T-section with a maximum height of 2.0 m at the support joints. It is tapered in the direction of the abutments and the middle of the centre span, where the height is 1.0 m. Likewise the leg cross section is T-shaped (inverted) and is tapered in the direction of the foundations, both in width and height. Longitudinal stability is ensured by the frame function of the structure while lateral stability is provided by the deck slab (which is prevented from moving transversally at the abutments) and by the legs fixed at their base.

ne delle fondazioni sia in larghezza che in altezza.

La stabilità longitudinale è garantita dal funzionamento a telaio della struttura, mentre quella trasversale dal funzionamento a lastra della piattabanda, i cui movimenti in senso trasversale sono impediti alle spalle, e delle ali dei piedritti incastrate nelle fondazioni.

L'ala dei piedritti ha una triplice funzione; ne irridisce la sezione configurandosi quale zona compressa, stabilizza i piedritti dallo sbandamento trasversale e blocca la torsione della trave dell'impalcato.

Si è voluto infatti sfruttare la particolare esigua larghezza utile del manufatto di 3,5 m per concepire l'impalcato con un'unica nervatura centrale; questa sezione rappresenta una soluzione ottimale dal punto di vista dell'esecuzione e della durevolezza (possibile di messa in opera in un solo getto e struttura protetta). Il momento torcente generato dal carico stradale asimmetrico è ripreso dalla trave e trasmesso ai nodi; la coppia torcente viene trasferita da un lato lungo il piedritto al piede dello stesso e dall'altro lungo la piattabanda alle spalle del manufatto.

La precompressione, due cavi da 22 trefoli ognuno, è disposta nella nervatura dell'impalcato e fissata all'altezza delle travi trasversali poste alle spalle; grazie alla sua

The flange of the legs has a triple function; it makes the section rigid, configuring itself as a compression zone, it stabilizes the legs against transverse slippage and blocks twisting of the bridge's main girder.

In fact, it was possible to take advantage of the particularly small width of the structure of 3.5 m to design the bridge deck with a single central girder; this section represents an ideal solution from the point of view of implementation and durability (possible to place with a single casting). The torque generated by the asymmetric highway load is resisted by the main girder and transferred to the joints; the torque is transmitted from one side along the leg at its foot and from the other side along the bridge deck at the abutments of the structure.

The prestressing, with two cables each of 22 strands, is accommodated in the main girder of the bridge and fixed at the height of the transverse beams positioned at the abutments; thanks to the prestressing, with the exception of a small area at the foot of the legs, all sections of the structure remain in an uncracked condition under the action of the permanent loads.

In order to reduce and facilitate maintenance work, it has been opted not to make provision for expansion joints; the stresses generated by the partially-pre-



Fig. 4

Fase di montaggio della centina.
Erection phase for the falsework.

presenza, fatta eccezione per una piccola zona al piede dei piedritti, tutte le sezioni della struttura si trovano allo stato non fessurato sotto l'azione dei carichi permanenti.

Per ridurre e facilitare gli interventi di manutenzione si è rinunciato all'utilizzo di giunti di dilatazione; gli sforzi generati dalle deformazioni parzialmente impeditate vengono facilmente assorbiti dalla struttura e non ne disturbano il corretto funzionamento. Le apparecchiature di appoggio delle spalle sono generosamente protette dalla struttura e facilmente accessibili ed ispezionabili.

Procedimento costruttivo

Il primo passo è stato quello di creare l'appoggio delle fondazioni dei piedritti, operazione particolarmente delicata soprattutto sulla

vented strain is easily absorbed by the structure and does not affect its smooth operation. The supporting systems at the abutments are well protected by the structure and may be easily accessed and inspected.

Construction procedure

The first step was to construct the abutment for the leg foundations, which was a particularly delicate task, especially on the bank of the Camedo side, due to the steep gradient of the rock face. The type of falsework proposed by the contractor that is required to construct the structure deserves special attention on account of its elegant design. A series of anchors in the rock matching the abutments ensures the stability of the formwork for placing the legs, which was carried out in stages. Onto the triangular system provided by the new legs, tie rods anchored to the abutments and by the foundations of the legs, the trusses were subsequently hoisted that form the falsework necessary for creating the girder in the main span, 47.0 m long and the secondary trusses positioned for the side spans, 27.4 m and 29.3 m long, respectively. The beams of the centre part of the falsework were assembled along the bank of the artificial lake on

sponda lato Camedo per la forte pendenza della parete rocciosa.

La variante esecutiva proposta dall'impresa per la realizzazione della centina necessaria alla costruzione del manufatto merita un'attenzione particolare per l'eleganza del suo concetto. Una serie di ancoraggi in roccia in corrispondenza delle spalle garantisce la stabilità delle casseforme per il getto dei piedritti eseguiti a tappe.

Sul sistema triangolare generato dai nuovi piedritti, dai tiranti ancorati alle spalle e dalle fondazioni delle pile sono state successivamente issate le travi reticolari che formano la centina necessaria all'esecuzione della trave nella campata principale, della lunghezza di 47,0 m, e posate quelle secondarie per le campate laterali della lunghezza di 27,4 m e 29,3 m,

Client

Canton of Ticino, Construction Department, Bellinzona

Designer

Consortium De Giorgi & Partners
Ingegneri Consulenti S.A., Muralto;
Ingegneri Pedrazzini sagl, Lugano

Architectural Assistance

Baserga Mozzetti Architetti, Muralto

Building Contractor

Consortium F.lli Somaini S.A., Grono;
Muttoni S.A., Bellinzona

Waterproofing and Road Surfacing Works

Costra S.A., Lugano

Committente

Canton Ticino, Dipartimento del territorio, Divisione delle costruzioni, Bellinzona

Progettista

Consortio De Giorgi & Partners
Ingegneri Consulenti SA, Muralto;
Ingegneri Pedrazzini sagl, Lugano

Consulenza architettonica

Baserga Mozzetti Architetti, Muralto

Impresa di costruzione

Consortio F.lli Somaini SA, Grono;
Muttoni SA, Bellinzona

Opere di impermeabilizzazione e pavimentazione

Costra SA, Lugano

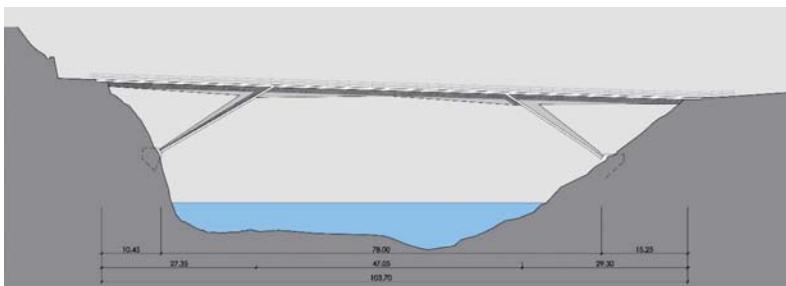


Fig. 5
Prospecto del ponte.
Side view of bridge.

floating rafts and then transported via the lake for a distance of 250 m to be hoisted into their final position.

The casting of the bridge deck, central girder and side spans, took place in a single casting phase from the centre of the bridge in the direction of the abutments with two teams working side by side.

After prestressing with the pre-stressed cables, which took place in three stages, the falsework was dismantled. Then the parapets and sliding plates were made that

rispettivamente. Le travi della centina principale sono state assemblate lungo la riva del lago artificiale su zattere galleggianti e poi trasportate via lago, per una distanza di 250 m, per essere sollevate nella posizione finale.

Il getto dell'impalcato del ponte, trave centrale e piattabanda, è avvenuto in un'unica tappa di getto a partire dal centro del ponte in direzione delle spalle con due squadre che hanno lavorato parallelamente.

Dopo la tesatura dei cavi di pre-compressione, avvenuta in tre fasi, è stata smontata la centina. Successivamente sono stati eseguiti i cordoli e le solette di assestamento, realizzate in maniera monolitica con l'impalcato e appoggiate su un piano di scorrimento in teflon per l'assorbimento delle dilatazioni longitudinali della struttura. Da ultimo si è proceduto alla posa dell'impermeabilizzazione, con manto bituminoso polimerico, della pavimentazione in asfalto fuso e dei parapetti.

Considerazioni finali

Nonostante le particolari difficili condizioni, dettate dalla conformazione del terreno e dagli accessi al sito, il progetto si è dimostrato valido non solo dal punto di vista dell'eleganza strutturale e dell' inserimento nel paesaggio, ma anche dal punto di vista economico. L'obiettivo finanziario del committente è stato raggiunto con una spesa, per il manufatto, di CHF 1 850 000 (inclusi onorari e IVA); ciò che corrisponde a 3950 CHF/m² (anno di riferimento 2007).

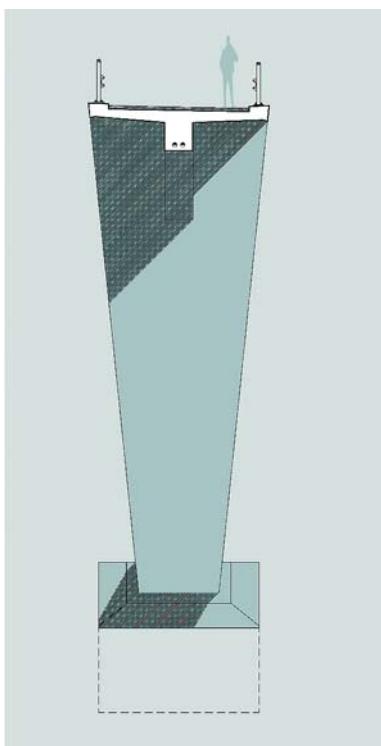


Fig. 6
Sezione trasversale del ponte.
Cross section of bridge.

form a monolithic block with the bridge deck, which is supported on a teflon bearing surface to absorb the lengthwise expansion of the structure. Finally, the waterproofing course was laid with a bituminous polymer facing membrane, the deck surfacing in molten asphalt was placed and the railings were erected.

Final considerations

In spite of the particularly difficult conditions dictated by the layout of the land and access to the site, the project proved to be successful, not only with regard to its structural elegance and integration into the landscape but also from the point of view of cost-effectiveness. The financial objective of the client was achieved at a cost for the structure of CHF 1,850,000.00 (including fees and V.A.T.) which equates with 3,950.00 CHF/m² (year of reference 2007).

Autori/Authors

Andrea Pedrazzini
ing. civile dipl. ETHZ

Eugenio Pedrazzini
ing. civile dipl. ETHZ

Ingegneri Pedrazzini sagl
CH-6900 Lugano
ingeegneri@pedrazzini.com