



Brücken

Ponts

Bridges

Andrea Pedrazzini, Eugenio Pedrazzini

Inserimento nel paesaggio

I tre nuovi ponti realizzati sono il risultato di un concorso di progettazione nell'ambito dello spostamento del fiume Flaz al di fuori del villaggio di Samedan che era a rischio di inondazioni.

La formazione di un nuovo canale sul lato opposto della piana tra Punt Muragl e Gravatscha ha richiesto la costruzione di diversi ponti per ripristinare i collegamenti stradali.

sima forma, assottigliata, bassa e differiscono leggermente tra di loro in particolare in relazione alla loro posizione nel piano e quindi alla loro precisa condizione topografica. Nel tratto a monte il nuovo canale scavato nel terreno presenta argini più bassi che nella parte a valle emergono dal piano. La scelta di inarcuare la piattabanda, assumendo ed accompagnando le rispettive pendenze delle rampe d'accesso senza ulteriori

Project data**Owner**

Municipality of Samedan, Grison, Switzerland

Design and structural engineering

Ingegneri Pedrazzini sagl,
Lugano, Switzerland

Architect

Baserga Mozzetti Architetti,
Muralto, Switzerland

Contractor

G. Lazzarini & Co AG Bauunternehmung,
Samedan, Switzerland

1

Ponte Pradé
in servizio
Pradé Bridge in
service



I ponti sono inseriti nel paesaggio straordinario della vasta piana di Samedan, nell'alta valle dell'Engadina in Svizzera, da cui si gode di una spettacolare veduta sulle cime delle montagne alpine.

La particolarità del luogo ci ha suggerito un intervento discreto, sensibile alle specifiche caratteristiche topografiche e omogeneo. I tre ponti (figura 1) hanno la mede-

rialzi o discontinuità, ha permesso l'inserimento dei manufatti alle quote più basse possibili limitandone l'ingombro e preservando la continuità spaziale e la percezione visiva attraverso il piano.

La forma dei ponti conseguenza della riduzione della stessa al puro principio statico da cui nasce diventa un gesto scevra da formalismi, strutturalmente efficiente e

Introduction

Within the Samedan flood protection project, the Flaz River has been diverted into a new channel from Punt Muragl to Gravatscha. For the racetrack of the Engadin Ski Marathon and some others rural roads, 4 new road bridges have been built.

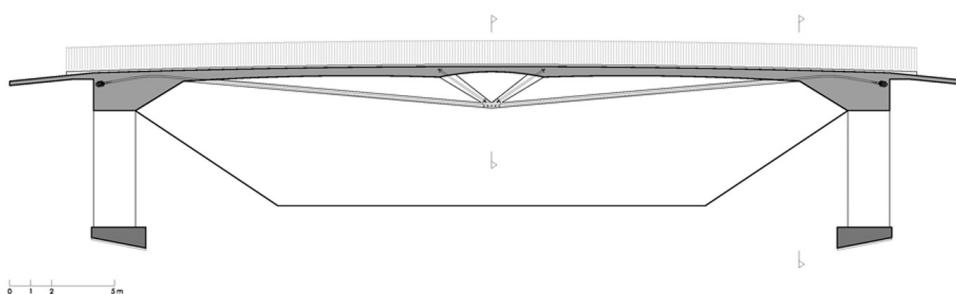
The present report describes the project ORIZONT, which won the first prize at the public competition organized by the municipality of Samedan in March 2002. With this concept 3 new bridges have been realized: Pradé Bridge, Acla Chuoz Bridge and Gravatscha Bridge are in service since October 2003.

General concept

The new bridges (figure 1) are located in a beautiful landscape, on the large and flat valley floor near the Samedan airport. The site offers an incredible view of the peaks of the Engadine mountains. At the beginning the new channel was excavated into the ground, while continuing in the direction Gravatscha the construction of dams was necessary to control the water of the river.

Starting with these conditions it was very soon clear that the bridges had to have the following properties:

- Access to the bridge at the lowest possible level



2

Sezione longitudinale
Longitudinal section

di conseguenza interessante dal profilo economico.

La scelta del calcestruzzo armato, quale materiale di costruzione di tutti gli elementi strutturali, conferisce ai ponti la necessaria omogeneità e chiarezza. Questa scelta di materiale, oltre che da riflessioni puramente costruttive ed economiche, prende spunto dalla volontà di allinearsi alla grande tradizione nella costruzione di ponti in calcestruzzo del Canton Grigioni.

Principio strutturale

La struttura portante dei ponti consiste in un particolare ed efficiente telaio composto dagli elementi seguenti (**figura 2**):

- due piedritti poggiati su una piastra di fondazione
- la piattabanda, quale elemento compresso superiore leggermente arcuato
- due tiranti deviati, quale elemento teso inferiore
- quattro aste diagonali, che stabilizzano la piattabanda per l'assorbimento dei carichi variabili

Sottostruttura, terreno di fondazione

La piana di Samedan nella zona dei tre interventi è costituita da due strati principali; sotto uno strato superficiale di sedimenti alluvionali fini costituito principalmente da sabbie e limi parzialmente organici è presente un importante strato alluvionale di vecchia generazione formato da ghiaie pulite e ghiaie limose con ciottoli e massi.

I ponti sono fondata semplicemente ad una profondità di ca. 2m al di sotto del letto del nuovo canale e in falda.

Soprastruttura- Ponte Pradé

Il rapporto di snellezza della struttura è approssimativamente $L/h = 20$. La pendenza longitudinale massima vale $i = 3\%$ in corrispondenza delle spalle. La quota superiore della piattabanda disegna un cerchio di raggio costante $R = 589.0$ m, mentre l'asse della piattabanda è di forma parabolica.

In this way the access ramps, which run perpendicular to the channel, remain sufficiently small. This aspect is important in order not to interrupt the depth of the natural plain.

To realize this it has been decided to slightly curve the bridge deck. The slope at the end of the bridge corresponds with that of the access roads.

- Simple structure

In this situation it has no sense to create an bold design, because on the one hand the presence of the natural landscape is very strong and on the other hand the size of the bridges is constrained by the surroundings.

To achieve these objectives a structure was designed with few elements and clearly defined, whether in shape or in function: a light construction, which brings out the transparency at the place, without spoiling the landscape. At the same time it is a tactful design, which does not try under any circumstances to hide itself or to camouflage itself in its surroundings.

The choice of reinforced concrete, which is the construction material for all the structural elements, gives the bridges homogeneity and clarity. This material choice arises, besides purely technical and economically very important aspects, from the desire to keep to the tradition of the Grisons in the sphere of bridge building.

Structural concept

The structure of the bridge is a special and very efficient portal frame, which is composed of the following elements (**figure 2**):

- Two abutment walls, which are built over a foundation slab
- The deck as an upper compressed element
- Two prestressed tension ties
- Four diagonals, which stabilize the deck under the action of variable loads

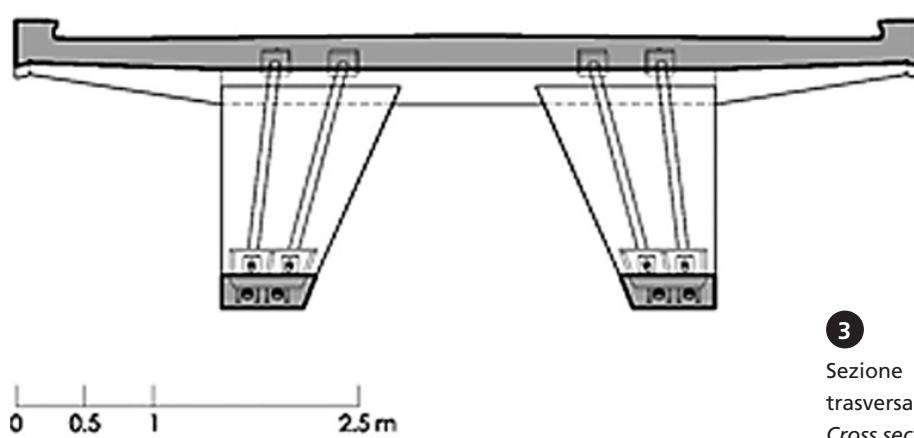
Superstructure – Pradé Bridge

The ratio of beam's length and beam's height L/h is approximately 20.

The maximum longitudinal slope is at the abutments and corresponds to $i = 3\%$. The rise height of the deck forms part of a circle with a constant radius of 589.0 m. The axis of the deck, on the other hand, has a parabolic form. The diagonal ties give the deck the necessary rigidity to absorb the variable loads.

The deck has a solid cross section (**figure 3**) of constant thickness in the central part and grows thinner towards the edges. Longitudinally the thickness of the central part varies from a minimum of 25 cm in the middle of the bridge to a maximum of ca. 50 cm at the connection with the diagonals and the portal node.

The tension ties have a trapezoidal section (22 cm x 60 cm) and are made of prestressed concrete.



3

Sezione trasversale
Cross section

4
Vista del
Ponte Pradé in
costruzione
*General view of
Pradé Bridge in
construction*



La sezione trasversale della piattaforma è massiccia di spessore costante nella parte centrale e rastremata in direzione dei cordoli (**figura 3**). Longitudinalmente lo spessore varia da un minimo di 25 cm al centro del ponte fino a ad un massimo di 50 cm nelle zone di connessione con le diagonali e le spalle.

I tiranti in calcestruzzo armato precompresso hanno sezione trapezoidale (22cm x 60 cm). Al loro interno sono inseriti 2 cavi di pre-compressione (12 DYL150, $P_0 = 2'230 \text{ kN}$) le cui teste mobili sono ancorate nei nodi del telaio alle spalle, protette dalla soletta di assestamento (**figure 2+4**).

Le diagonali hanno sezione rettangolare e variano nelle dimensioni da un minimo di 28 cm x 69 cm alla connessione col tirante ad un massimo di 52 cm x 125 cm nella parte superiore. Al loro interno due stanghe di precompressione (GS Ø36 mm, St 1080/1230, $P_0 = 874 \text{ kN}$) mantengono la sezione allo stato non fessurato sotto l'azione di qualsiasi carico.

*Each element contains 2 post-tensioning cables (12 DYL150, $P_0 = 2'230 \text{ kN}$). The mobile anchorages of the cables are fixed in the portal corner (**figures 2+4**).*

*The diagonals are made of prestressed concrete. Prefabricated reinforcement cages are welded to the steel deviation plate which is located at the connection point with the tension tie (**figure 5**). In order to maintain a good stiffness each diagonal is prestressed with a bar (GS Ø36 mm, St 1080/1230, $P_0 = 874 \text{ kN}$). The cross section varies between 28 cm x 69 cm for the lower part and 52 cm x 125 cm for the connection with the deck. The diagonals were cast on site. The reinforcement cages are galvanized.*

Construction

*During the construction of the bridges the work on the excavation and the sides for the new Flaz channel were in progress, so it was possible to erect the formwork directly on the soil, a few metres below the deck (**figure 4**).*

After the excavation work and the construction of the foundation slab and abutment walls it was

Procedimento Costruttivo

La costruzione dei tre nuovi manufatti è avvenuta parallelamente ai lavori di scavo ed arginatura del nuovo canale by-pass del fiume Flaz. Questa particolarità è stata sfruttata per poggiare la centinatura direttamente sul terreno pochi metri sotto la piattabanda (**figura 4**).

Dopo lo scavo e la costruzione delle piastre di fondazione, dei piedritti e dei nodi del telaio è stata preparata la casseratura dei tiranti. Questi sono stati gettati una volta posizionata la gabbia d'armatura delle diagonali (**figura 5**).

In successione si è poi proceduto al getto delle diagonali, alla casseratura e al getto della piattabanda. La tesatura dei cavi di precompressione è avvenuta in tre fasi; 30% dopo 3 giorni, 70% dopo 8 giorni e successivo disarmo, 100% a 28 giorni a getto dei cordoli avvenuto.

Considerazioni finali durevolezza

La durevolezza della struttura dei ponti è sempre stata alla base delle scelte progettuali operate. L'efficienza stessa del sistema struttu-

possible to prepare the formwork for the tension ties. Before casting the tension ties, the reinforcement cages of the diagonals were placed. After casting the diagonals, the formwork for the deck was mounted and then casting took place. The tensioning of the cables followed in three steps: 30% after three days, 75% after eight days with subsequent striking of formwork, 100% after 28 days after casting of the edges. The correct behaviour of the structure has been controlled on the basis of simple deformation measurements before and after the tensioning phases, before and after striking the formwork and before and after laying the paving of the deck of the bridge. The measured values of vertical deformation were very close to the calculated ones.

Final considerations, durability

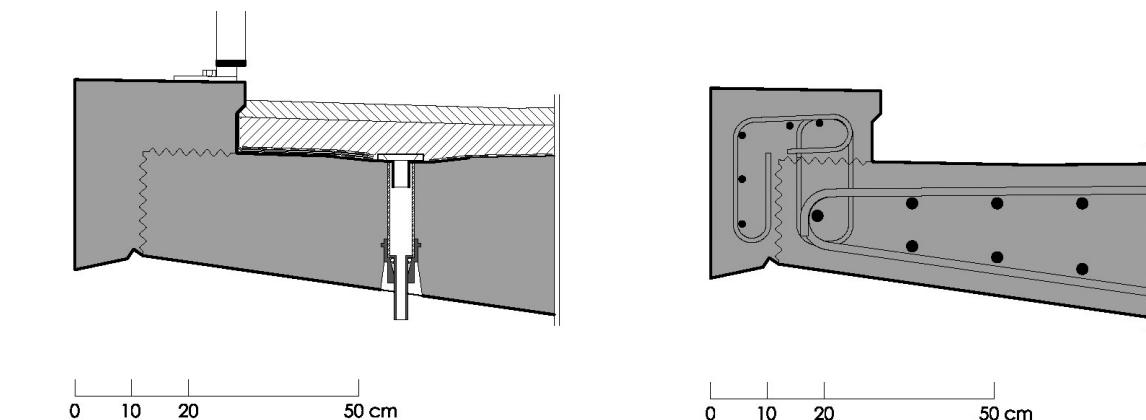
The durability of the structure has always been at the centre of all our project choices.

The efficiency of the structural system guarantees the uncracked



5

Nodo di connessione tirante-diagonali prima del getto
Connection node diagonals-tension ties before casting



6

Particolare cordoli
(finiture e
armatura)
*Detail edges
(finitures and
reinforcement)*

rale garantisce lo stato non fessurato della piattabanda sotto l'azione dei carichi permanenti. Con la giusta scelta delle forze di precompressione, i tiranti e le diagonali si trovano allo stato non fessurato in qualsiasi situazione di carico.

La piattabanda è protetta da un manto bituminoso polimerico dello spessore di 5 mm connesso ai cordoli mediante una banda in PVC incollata con resina bicomponente.

La struttura è monolitica; non sono stati impiegati né giunti di transizione né apparecchiature d'appoggio.

Per gli elementi esposti quali i cordoli (**figura 6**) e i tiranti è stato utilizzato acciaio d'armatura resistente alla corrosione (X2CrNi12 acciaio TOP 12, Nr. 1.4003 secondo EN 10088).

state of the deck under dead loads. The deck is protected by a 5 mm thick bituminous polymeric membrane, which is connected to the edge with a PVC band glued with a 2-component epoxy resin. The structure is monolithic, and no transition joints and no bearings were employed.

*For exposed elements such as the edges (**figure 6**) and for the tension ties, corrosion-resistant reinforcing steel (X2CrNi12 steel TOP 12, Nr. 1.4003 according to EN 10088) has been used.*

Dati di progetto principali

Committente	Comune di Samedan, Grigioni, Svizzera
Ingegnere civile	Ingegneri Pedrazzini sagl, Lugano, Svizzera
Consulente architettonico	Baserga Mozzetti Architetti, Muralto, Svizzera
Impresario costruttore	G. Lazzarini & Co AG Bauunternehmung, Samedan, Svizzera

Dati principali / Main data

PRADÉ BRIDGE ACLA CHUOZ BRIDGE GRAVATSCHA BRIDGE

Luce:			
Span[m]:	38.0	33.0	30.0
Larghezza:			
Width [m]:	6.6	6.6	4.6
Acciaio:			
Steel [t]:	37.9	33.2	23.8
Calcestruzzo:			
Concrete [m^3]:	201.7	173.8	107.7
Costo:			
Cost* [CHF]:	800'000	700'000	450'000
Costo:			
Cost [CHF/ m^2]:	3'200	3'250	3'350
Entrata in servizio:			
Service date:	October 2003	October 2003	October 2003

* Ottobre 2003/October 2003

Autore / Author

Andrea Pedrazzini, Eugenio Pedrazzini
Ingg. civili dipl. ETHZ/SIA
INGEGNERI PEDRAZZINI sagl
via delle Scuole 1
CH-6900 Lugano
ingegneri@pedrazzini.com

Aldo Bisetti, Bernard Houriet, Olivier Dahenne, Olivier Simon-Vermot

Préambule

Dans le cadre de la réalisation du Métro m2-lot 1300 à Lausanne, le choix de franchir le vallon du Flon à l'axe du pont Bessières, ouvrage historique bientôt centenaire, constitue un défi technique sans précédent.

La travée principale du pont Bessières, constituée d'un arc métallique de 80 m de portée, est équilibrée par deux contre-vôûtes latérales en maçonnerie de 15 m de portée.

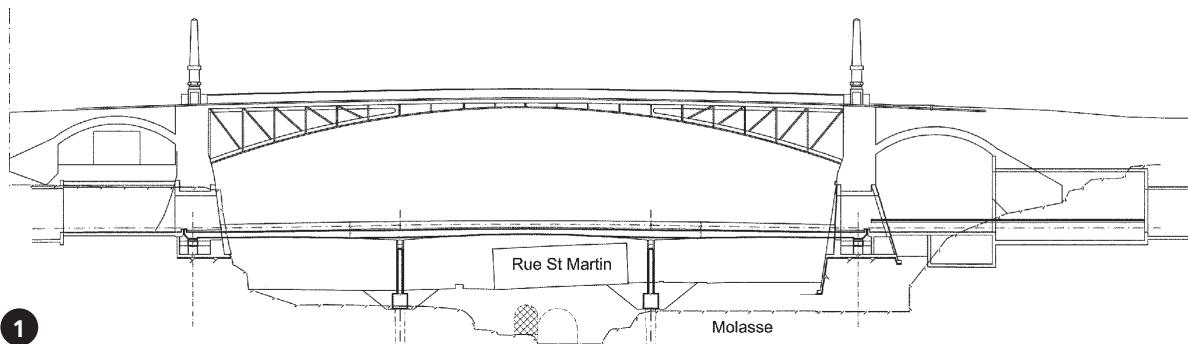
système flottant permet de limiter au maximum les interactions avec la structure du pont Bessières. La section transversale du tablier est constituée d'une auge à inertie variable dont les bordures, pleinement intégrées à la structure porteuse, permettent de réduire sensiblement la hauteur statique de l'ouvrage. Ces bordures sont interrompues devant les piles du pont Bessières afin de limiter l'entaille nécessaire à leur franchissement. La conception des piles est dictée

Introduction

In the context of the construction of the m2 Metro (section 1300) in Lausanne, the choice of crossing the Flon valley on the same axis but underneath the Bessières Bridge constitutes an unprecedented technical challenge.

The main span of the Bessières Bridge is an 80 m steel arch which is balanced by two lateral masonry vaults with a 15 m span.

The structure rests on two massive trapezoidal pillars.



L'ouvrage repose sur deux piles massives de forme trapézoïdale. Le franchissement à l'axe du pont Bessières, à mi-hauteur des piles, porte une atteinte importante au système porteur de l'ouvrage existant. La capacité portante des piles est en effet réduite de moitié par l'aménagement d'une ouverture rectangulaire et la station Bessières supprime la majeure partie de la fondation de la contre-vôûte . (figure 1)

par l'exigence de réduire au maximum leur emprise au sol ainsi que par le souci de maintenir une bonne transparence de l'ouvrage dans le sens longitudinal. L'évasement en tête des piles répond aux légères voûtes du tablier et souligne une transmission harmonieuse des sollicitations.

Les piles sont fondées sur deux pieux forés tubés (diamètre 1.3 m) de 7m de longueur fichés dans la molasse.

The new crossing following the axis of the Bessières Bridge at mid-height of its pillars has significant consequences on the load-bearing system of the existing structure. The cross section of the pillars is halved by the creation of a rectangular opening. In addition, the new Bessières subway station leads to the elimination of most of the foundation of the side vault. (figure 1)

Conception des ouvrages

Pont St-Martin

D'une longueur totale de 85 m, l'ouvrage présente une structure monolithique flottante dont le tablier est réalisé sur cintre fixe. L'implantation de la travée centrale de 32m répond à la structure métallique à âme pleine du pont Bessières. Les réactions d'appuis au droit des deux culées visitables sont reportées à l'axe des piles du pont existant. Le recours à un

Traversée des piles Bessières

A l'exception de quelques adaptations aux particularités de chaque pile, la méthode adoptée pour la traversée des piles Caroline et Cathédrale est identique. Ces piles comprennent une maçonnerie de parement en pierres de taille appareillées et un noyau composé d'éclats de moellons, de pierres et de mortier. Ces matériaux comportent des vides et présentent une résistance très faible à la traction.

Structural design

St-Martin Bridge

With a main span of 85 m, the structure is a monolithic floating bridge. Its deck is cast on fixed scaffolding.

The layout of the 32 m central span corresponds to the steel web plate girder of the Bessières Bridge. The vertical reactions at the two accessible abutments are introduced at the axis of the pillars of the existing bridge. The use of a floating superstructure allows li-

La méthode d'excavation retenue repose sur des principes développés pour les travaux souterrains : elle prévoit un renforcement préalable de la pile, une excavation par étapes et une mise en place progressive du soutènement. Le renforcement des piles est réalisé à l'aide de tirants, de barres et de profilés scellés dans la maçonnerie. Des tirants transversaux (10 câbles 16T13S situés au-dessus de l'ouverture) assurent la reprise des efforts de déviation induits par l'ouverture. Des barres transversales et longitudinales, (diamètre 32 mm) sont mises en place dans les piliers résiduels situés de chaque côté de l'ouverture afin d'assurer un frettage horizontal et améliorer la résistance au cisaillement de la maçonnerie. Des profilés métalliques HEB, implantés

miting the interaction with the structure of the Bessières Bridge. The deck cross section is a trough with a variable depth with integrated parapets that allow a significant reduction of the depth of the girder. The parapets are interrupted on either side of the pillars of the Bessières Bridge to limit their weakening caused by the crossing of the new bridge. The conceptual design of the new piers was governed by the necessity to limit their footprint to the minimum required and by the need to keep a satisfactory transparency of the bridge in its longitudinal direction. The widening of the piers at the top corresponds to the slightly arching shape of the deck and emphasises the harmonious transmission of internal forces between them.

The piers are supported on two bored piles (diameter 1.3 m) with a length of 7 m that are fixed in the underlying rock (molasses).

Crossing the pillars of the Bessières Bridge

Except for some adaptations related to peculiarities of each pillar, the method used for both crossings was identical. The pillars consist of a stone masonry cladding and a core of broken masonry stones, stones and mortar. These materials contain voids and exhibit a very low tensile strength. The selected excavation method rests on principles developed for underground works: after a preliminary strengthening of the pillar, the excavation was executed in stages with a progressive introduction of shoring.



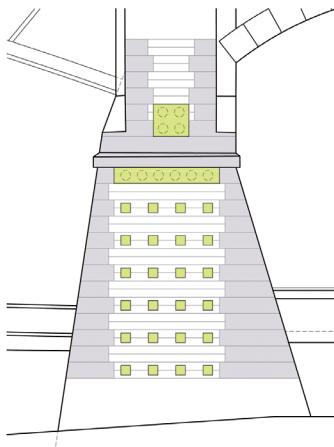
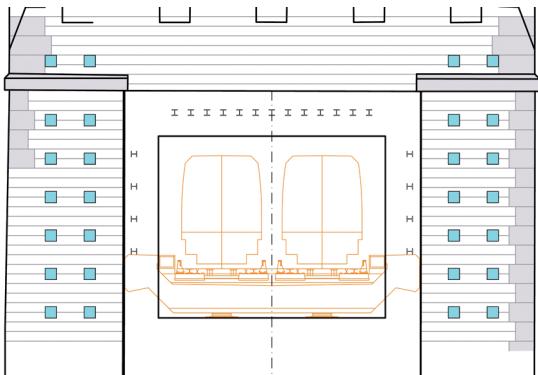
2

Pont St. Martin
St. Martin Bridges



3

Traversée des piles du pont Bessières
Crossing the Bessières bridge pillars



autour de l'excavation, agissent à la manière d'une voûte parapluie. Tous les éléments métalliques de renforcement sont scellés par injections dans la maçonnerie. Les tirants sont précontraints en 2 étapes à 0,7 ftk et équipés d'une isolation électrique. Les barres sont légèrement précontraintes mais seuls les éléments longitudinaux sont isolés électriquement. La mise à terre des barres transversales est réalisée par connexion à l'armature du cadre en béton. L'excavation dans les piles et la mise en place du cadre en béton armé sont réalisées de manière progressive, en commençant par les éléments d'extrémité, rigides et fortement armés. La partie centrale, réalisée à l'abri de la voûte parapluie, est ensuite subdivisée

et le cadre en béton, rigide et bien armé transversalement, est progressivement complété. Le banc de culée et la chambre de visite sont finalement réalisés à l'intérieur du cadre en béton.

Les têtes de tirants sont noyées dans un sommier en béton qui permet de répartir les efforts dans la maçonnerie, de cacher les imperfections de mise en place et d'assurer la durabilité des éléments métalliques de renforcement. Les têtes des barres sont protégées à l'aide de plaques préfabriquées en béton polymère. Tous ces éléments d'ancrage en béton sont disposés de manière régulière et harmonieuse par rapport à la corniche et au chaînage des pierres d'angle.

The pillars were strengthened by the introduction of tendons, bars and steel elements fixed in the masonry. Transverse tendons (10 cables 16T13S located above the opening) resist the deviation forces induced by the opening. Transverse and longitudinal reinforcing bars (diameter 32 mm) are placed in the remaining part of the pillars on either side to ensure a horizontal confinement and to enhance the shear capacity of the masonry. W-shaped steel elements placed around the excavation function as an umbrella vault.

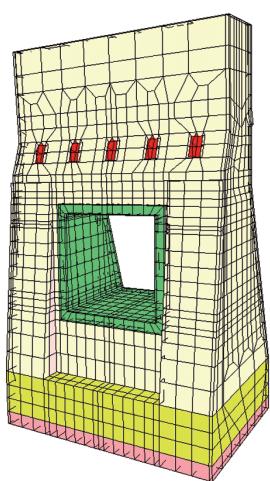
All steel strengthening elements are grouted by injection in the masonry. The tendons were prestressed in two stages to 0,7 ftk and electrically insulated. The reinforcing bars were slightly prestressed, but only the longitudinal elements are electrically insulated. The electrical grounding of the transverse reinforcing bars is provided by a connection to the reinforcing steel of the reinforced concrete frame.

The excavations of the pillars and the casting of the reinforced concrete frame were executed in stages, starting with the side elements, stiff and heavily reinforced. The central part, built under the protection of the umbrella vault was then excavated and the central part of the stiff and transversally well reinforced concrete frame was progressively completed. The concrete support beam and the inspection chamber were finally created within the concrete frame.

The tendon heads are incorporated in a concrete head beam that allows spreading the forces into the masonry, hiding execution imperfections and ensuring the durability of the steel reinforcing elements. Bar heads are protected by precast polymer concrete plates. All anchoring elements are evenly spaced and coordinated with the cornice and the chaining of the corner stones.

4

Traversée des
piles du pont
Bessières
Crossing the
Bessières bridge
pillars



Station Bessières

D'une longueur totale de 33 m, cette station se divise en deux zones distinctes. Une première partie ouverte est logée sous la contrevoûte existante du pont Bessières. Elle comprend les escaliers, les ascenseurs et un passage inférieur qui assurent la desserte de la station. Une deuxième partie souterraine est excavée dans la culée du pont Bessières ainsi que dans les terrains meubles et la molasse situés sous le carrefour Caroline. Cette partie comprend uniquement les quais d'accès au métro.

La construction de cette seconde partie est délicate puisqu'elle supprime une part importante de la culée du pont Bessières et rencontre, dans sa partie terminale, des matériaux de remblayage de qualité médiocre. Ces conditions nécessitent la mise en place préalable d'une voûte parapluie et le recours à une excavation en section divisée.

Par opposition à une exécution conventionnelle, cette voûte parapluie est cylindrique et sa mise en place est réalisée en une seule volée de 21 m, entièrement terminée avant les travaux d'excavation. Elle se compose de tubes métalliques scellés au coulis de ciment et de boulons autoforeurs scellés à la résine dans les zones géologiquement défavorables.

Réalisés à l'abri de cette voûte, les travaux débutent par l'excavation à la haveuse de deux galeries latérales. Le soutènement de ces galeries, mis en place à l'avancement, se compose de cintres et de béton armé coulé sur les parois extérieures ainsi que de cintres et de béton projeté muni de fibres sur les parois intérieures provisoires. L'excavation de la calotte permet de fermer le soutènement de voûte de la station et l'excavation du stross achève l'ouverture de la section. Chaque phase d'excavation comprend la mise en place d'un blindage du front de taille adapté aux conditions géologiques.

Le revêtement de la station est constitué d'un anneau de béton armé. Le radier contrevoûté assu-

Bessières Station

With a length of 33 m, the station is divided into two separate areas. The first part is in the open, underneath the existing lateral masonry vault of the Bessières Bridge. It includes the stairs, the elevators and an underpass connecting the station to the city streets. The second part is underground, excavated in the abutment of the Bessières Bridge and in the loose soil and the rock underneath the Caroline intersection. This part mainly includes the platform of the metro.

The construction of the second part is difficult, because it removes an important part of the abutment of the Bessières Bridge, and crosses, in its end part, backfill material of poor quality. These conditions required that an umbrella vault be executed before the excavation, which was performed on parts of the section at a time.

Compared to a conventional execution method, this umbrella vault is cylindrical, and it was executed in a single pass of 21 m, entirely completed before the beginning of the excavation work. It consists of steel tubes injected with cement grout and self-drilling bolts sealed with resin in low quality geological zones.

Under the protection of this vault, the works started by the excavation with a mechanical cutter of two lateral galleries. The support of these galleries consisted of cast in place reinforced concrete arches and walls on the outside wall and sprayed fibre concrete arches and walls on the temporary inside walls. The excavation of the

crown allowed closing the station vault. The excavation of the central part completed the excavation of the entire section. Each excavation stage included the placement of sheeting adapted to the local geological conditions.

The lining of the station consists of a reinforced concrete ring. The curved bottom slab ensures the stability of the tracks and resists pressures induced by water and

soil swelling. The crown and side walls are equipped with a waterproofing membrane and a drainage system collects and discharges incoming groundwater.

Modelling and monitoring

Two computational models were used to evaluate the structural safety of the pillars during the excavation and after the entire opening had been created in the pillars. The first model is a simple model including struts (masonry) and ties (steel reinforcing elements) and the second one is a 3D finite element model to simulate all construction stages. (figure 5)

The second, more refined finite element model allowed estimating the stress changes and deformations induced by the excavation.

The station area was modelled with various 2 D and 3D models to estimate the surface settlements and to design the shoring.

All these models allowed estimating the deformations imposed on the Bessières bridge during the construction work. The analysis demonstrated that the deformations imposed on the steel superstructure and on the masonry side vaults were allowable.

They were also used to establish the monitoring programmes that were applied from the start of the construction.

Deformation measurements made during the construction period showed a good correlation with the values estimated by the computational models.

Execution

The St-Martin Bridge has harmonious shapes, which are almost all curved. This led the contractor to select a wooden formwork. The central span was cast on a single-use formwork, while the formwork for the side span was used twice. (figure 6)

Amongst the structures of section 1300, every reinforcement, formwork of concreting stage required specific considerations on the

re la stabilité des voies ainsi que la reprise des pressions engendrées par l'eau et le gonflement. La calotte et les piédroits sont munis d'une étanchéité et d'un système de drainage qui assurent la récolte et l'évacuation des eaux du massif.

Modélisation et plan de contrôle

Deux modèles de calcul ont été utilisés pour évaluer la sécurité structurale des piles en cours d'excavation et après réalisation complète de l'ouverture dans les piles. Il s'agit d'une part d'un modèle simple constitué de bielettes comprimées (maçonnerie) et de tirants (éléments métalliques de renforcement) et d'autre part d'un modèle 3D aux éléments finis pour simuler toutes les étapes de réalisation.

Le modèle plus sophistiqué aux éléments finis a permis d'estimer également les modifications de contraintes et les déformations engendrées par l'excavation.

Pour la station, différents modèles 2D et 3D aux éléments finis ont servi de base à l'estimation des tassements de surface et au dimensionnement des soutènements. (figure 5)

Tous ces modèles ont permis d'estimer les déformations que le pont Bessières allait subir durant les travaux. Cette analyse a démontré que les déformations imposées à la voûte métallique et à la contrevoie maçonnée du pont existant étaient admissibles.

Elle a également servi de base au plan de contrôle et de surveillance mis en œuvre dès le début des travaux.

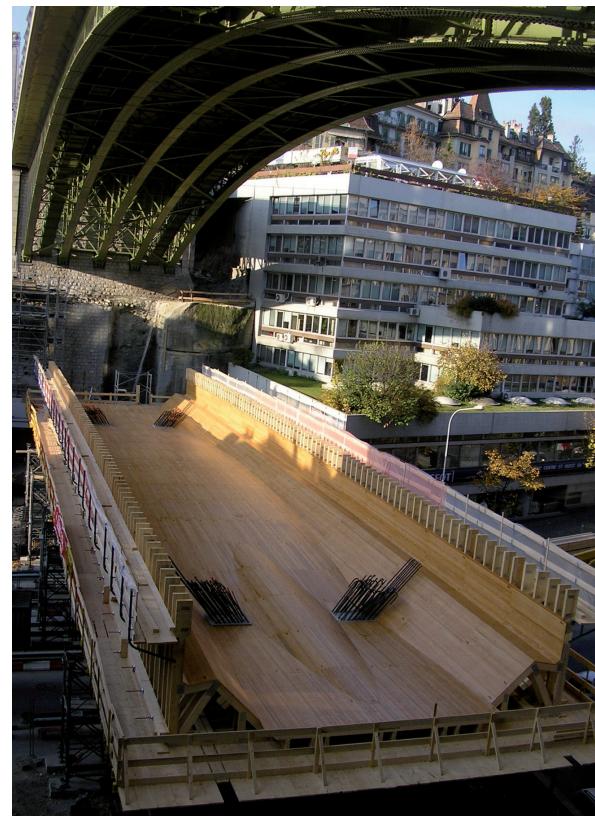
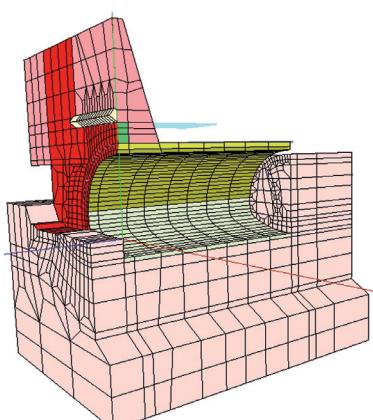
Les mesures de déformations effectuées lors de la réalisation des travaux présentent une bonne corrélation avec les valeurs estimées au moyen des modèles de calcul.

L'exécution

Sur le plan de l'exécution, le pont St-Martin étant doté de formes harmonieuses certes, mais pratiquement toutes cintrées, le choix de l'entreprise s'est porté sur un coffrage bois. La travée centrale a bénéficié d'un coffrage à utilisation unique, alors que celui des travées latérales a permis au moins une réutilisation. (figure 6) Sur les ouvrages du lot 1300, chaque ferraillage, coffrage ou bétonnage a nécessité une réflexion particulière sur la méthodologie ou les matériaux à utiliser. Au final, il s'agit d'un ouvrage unique, une première mondiale disent certains, composé d'un assemblage de défis journaliers.

L'exécution des travaux de percement des piles et du pont St-Martin, qui s'est achevée le 13 décembre 2005 par le bétonnage de la dernière travée du pont, a touché à l'ensemble des domaines les plus sensibles de la construction: reprise en sous-œuvre, travaux acrobatiques, travaux et coffrages spéciaux, précontrainte, maintien du trafic, exiguité d'emprise... Un challenge véritablement passionnant!

5 Modèles 3D aux élément finis
3D finite element model



6 Coffrage
Formwork

Auteurs / Authors

Bisetti Aldo
Ingénieur civil dipl. EPFZ SIA GVH
Tramelan SA
Rue de la Paix 30, 2720 Tramelan
aldo.bisetti@gvh.ch

Houriét, Bernard
Ingénieur civil dipl. EPFZ SIA
Dr. ès sciences techniques
GVH Tramelan SA
Rue de la Paix 30, 2720 Tramelan
bernard.houriét@gvh.ch

Olivier Dahenne
Ingenieure ESTP Paris
Losinger Construction SA
Route de Renens 1
CP 304, 1030 Bussigny
o.dahenne@losinger.ch

Olivier Simon-Vermot
Ingénieur civil dipl. EPFL
Losinger Construction SA
Route de Renens 1
CP 304, 1030 Bussigny
o.simon@losinger.ch

methodology or materials to be used. The final result is a unique structure, some say a world first, resulting from a series of daily challenges.

The excavation works of the pillars of the Bessières Bridge and the construction of the St-Martin Bridge were completed on Dec. 13th, 2005 by the casting of the last span of the bridge. It involved all the most sensitive aspects of construction: excavation under existing structures, acrobatic works, special types of formwork, prestressing, working while maintaining traffic, limited construction area... A truly fascinating challenge!

Participants

Owner

Métro Lausanne-Ouchy SA

Engineers

Groupement GEMEL
(GVH Tramelan SA - Fellrath et Bosso SA)

Contractors

Losinger Construction SA - Frutiger AG

Intervenants

Maître d'ouvrage

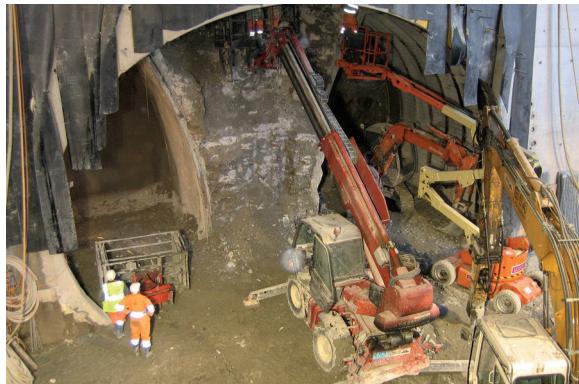
Métro Lausanne-Ouchy SA

Ingénieurs

Groupement GEMEL (GVH Tramelan SA - Fellrath et Bosso SA)

Entreprises

Losinger Construction SA - Frutiger AG



7

Pont St. Martin

St. Martin Bridges



Aldo Bacchetta

Einleitung

Die Rhonebrücken bilden das Bindeglied zwischen dem Südportal des Lötschberg Basistunnels und der SBB-Rhonetalllinie. Sie wurden im Rahmen des Basistunnels erstellt und über die NEAT finanziert.

Die BLS Alp Transit AG eröffnete am 25. August 1997 den Projektwettbewerb für die Rhonebrücken, woraus am 29. Mai 1998 das vorliegende Projekt der Planergemeinschaft 3K als Sieger erkoren wurde.

Situation

Die beiden einspurigen Bahnbrücken liegen in einer für das Oberwalliser Rhonetal typischen Landschaft. Auf seiner Nordflanke sind vereinzelt Weinberge in Terrassen eingebettet. Daneben kommen kahle vegetationsarme Felsplatten zum Vorschein. Die Rhone bildet ein Gelenk zwischen der flachen Ebene und dem steilen Hang. Südlich von ihr wird sie auf ihrem Damm von der doppelspurigen SBB-Linie Brig-Lausanne begleitet (Bild 1).

Introduction

The Rhone bridges form the connecting link between the south portal of the Lötschberg Base Tunnel and the SBB (Swiss Federal Railways) Rhone valley line. They were built for the base tunnel and financed by NEAT.

The BLS Alp Transit AG started the design competition for the Rhone bridges on the 25th August 1997, and the winning design by the planning consortium 3K was chosen on the 29th May 1998.

Situation

Both single track railway bridges are located in countryside typical of the Rhone valley in the Upper Wallis. On the north side there are various isolated terraced vineyards. These are flanked by rock outcrops with a scarcity of vegetation. The Rhone separates the flat plain from the steep hillside. To the south the twin-track SBB railway line from Brig to Lausanne runs along an embankment (figure 1).

Project data

Raron Rhone Bridges

Owner

BLS Alp Transit AG

Design

BIAG AG, Consulting Engineers, Brig / DIC, Ingénieurs, Aigle / Bänziger Partner AG, Ingenieure + Planer, Zürich / DSP AG, Ingenieure + Planer, Zürich / Chevaz & Vassaux, Architecture, Fully

Contractors

Züblin Schlittler Bau SA, Sion / Ulrich Imboden AG, Visp / Theler AG, Raron / Martig & Bürgi, Raron

Technical data

North Bridge

axially prestressed, 10-bay reinforced concrete bridge with constant trough height of 3.5 m height and 8.0 m width.

Length (longitudinal dimension)

554 m, monolithically connected to the west abutment

Spans

40, 50, 60, 3 x 65, 3 x 53, 43 m piers with full rounded section 3.0 x 2.8 m, pile foundation

South Bridge

axially prestressed, 14-bay reinforced concrete bridge with constant trough height of 3.5 m, of which 440 m of hollow box section of 8.0 m width and 377 m with variable cross

Section box-trough-box with variable width from 8.0 m to 10.6 m.

Length (longitudinal dimension)

817 m, floating foundation at the portal frame section

Spans

49, 8 x 65, 4 x 52, 40 m. piers of rounded cross section 3.0 x 2.8 m, Pile Foundation

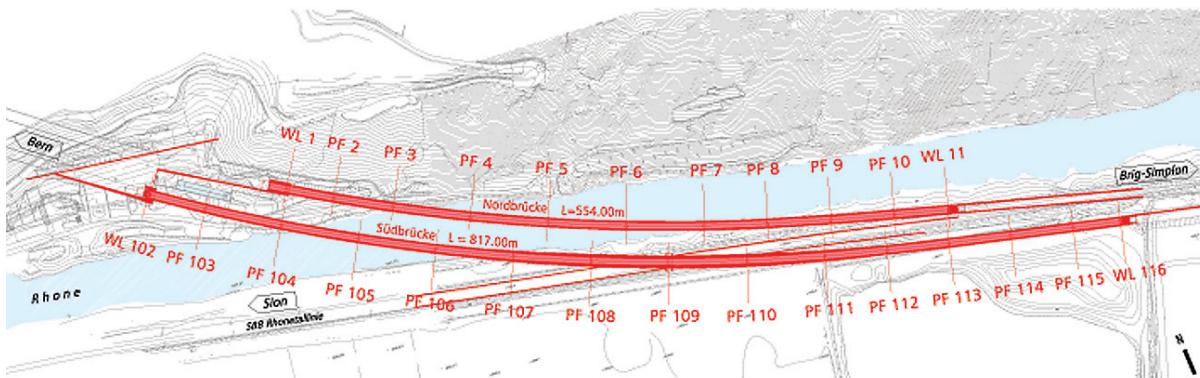
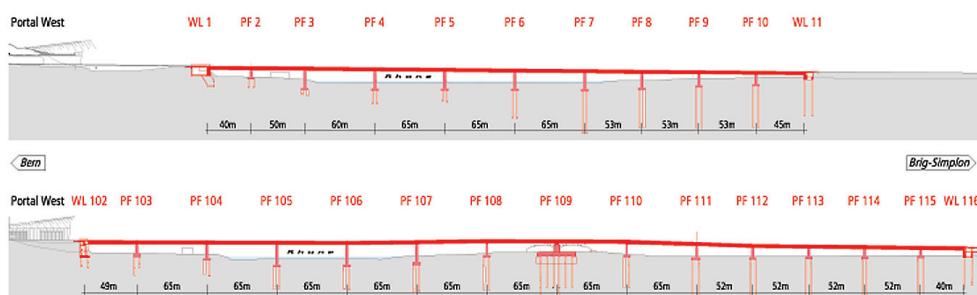
Costs excluding finishings

circa CHF 40 Mio.

Costs per m²

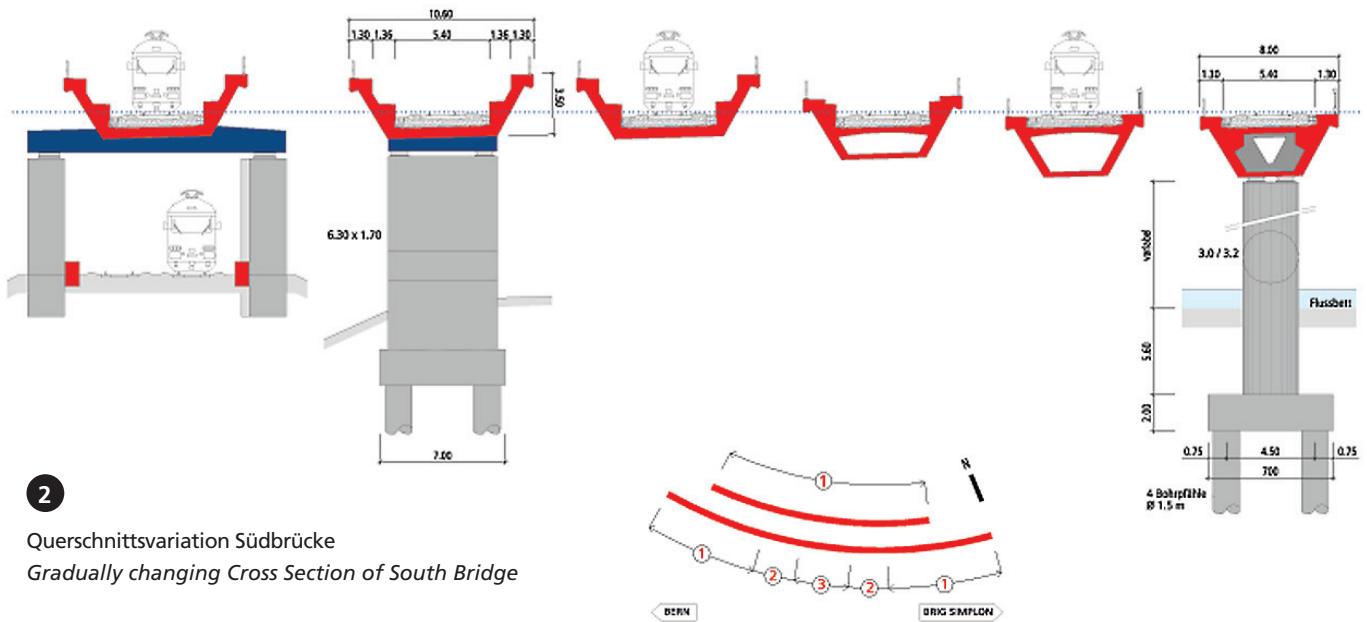
circa CHF 3'500.00 / m²

Into operation 2006



1

Situation,
Längeschnitt
Situation and
longitudinal
profile



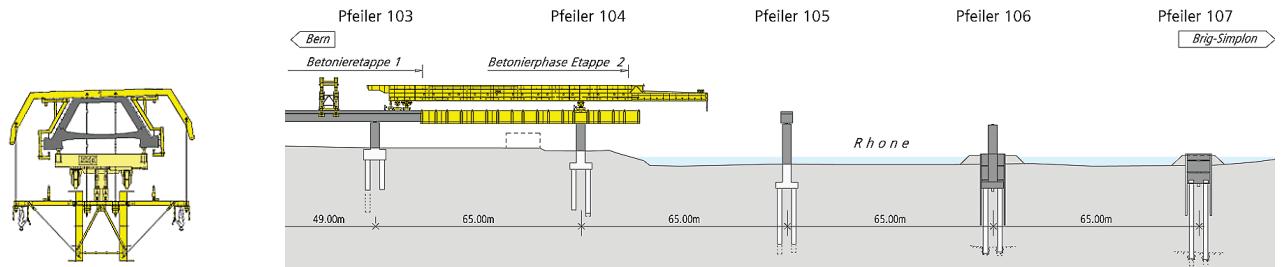
Unmittelbar nach dem Südportal des Basistunnels überqueren die beiden Brücken die Rhone in einem spitzen Winkel und eine davon anschliessend die SBB-Doppelpelzspur. Die horizontale Linienführung beginnt mit einem Radius von ca. 1650 m und endet beim Widerlager Ost in einer Geraden. Die vertikale Linienführung weist ein Gefälle von 9 %o (Nordbrücke) bzw. 4-12%o (Südbrücke) in Richtung Osten (Brig) auf. Die Höhenlage der Südbrücke variiert zwischen 11 und 5 m, jene der Nordbrücke zwischen 10 und 2 m über der Rhone bzw. dem Boden. Die

Immediately after leaving the south portal of the base tunnel the two bridges cross the Rhone at an acute angle and one of them then crosses the twin-track SBB railway line. The horizontal alignment begins with a radius of circa 1650 m and ends in a straight line at the east abutment. The vertical alignment has a gradient of 9‰ (North Bridge) and 4-12‰ (South Bridge) towards the east (Brig). The elevation of the South Bridge varies between 11 m and 5 m, and that of the North Bridge between 10 m and 2 m over the Rhone and the ground, respecti-

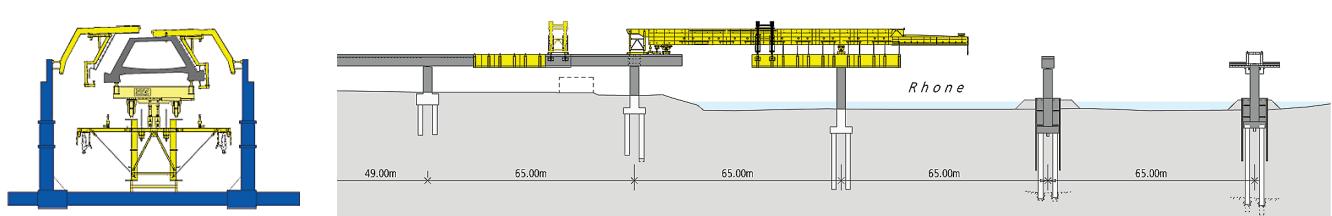
vely. Both single-track bridges are dimensioned for heavy trains of weight 4000 to with a maximum sustained speed of 160 km/h. A load factor $\alpha = 1.33$ was assumed.

Concept and Design

In such surroundings a massive concrete construction is justified. In the given situation the bridges should convey in no uncertain terms a strong and uniform impression. The structure, with a double concrete face of constant height, creates the impression that it easily overcomes the obstacles.



3
Vorschubgerüst
Launchingtruss





4

Baufoto
Picture under construction

beiden eingleisigen Brücken sind für 4000 to schwere Züge mit einer maximalen Reisegeschwindigkeit von 160 km/h dimensioniert. Der Lastbeiwert wurde mit $\alpha = 1,33$ berücksichtigt.

Konzept und Gestaltung

Aufgrund der vorgegebenen Situation sollen die Brücken ein kräftiges und einheitliches Bild abgeben, ohne Zweideutigkeit im Ausdruck. In einer derartigen Umgebung findet der massive Beton seine Berechtigung. Dem Auge stellt sich das Bauwerk als doppeltes Betonband mit konstanter Höhe dar, das in einfacher Weise alle Hindernisse nimmt.

Der Überbau der beiden 554 und 817 m langen Brücken besteht im Normalfall aus einem Hohlkastenquerschnitt mit schrägen Stegen. Im Bereich der Gleisquerung (Südbrücke) wandelt er sich progressiv in einen Trog und wieder zurück. Damit gelingt es auf raffinierte Weise das äusserst knappe Lichteumprofil über SBB-Doppelspur einzuhalten. (Bild 2)

Die Pfeiler weisen im Normalfall einen gerundeten Querschnitt von $3,10 \times 2,80$ m auf. Dort wo die Süd-

brücke die SBB-Doppelspur schleifend quert musste eine Sonderlösung gefunden werden. Mit zwei markanten Pfeilerscheiben und einem Portalrahmen im Kreuzpunkt mit der SBB-Rhonetalllinie gelang es einerseits den statischen Festpunkt der schwimmend gelagerten 817 m langen Brücke zu setzen und andererseits diesen als Fokus zu thematisieren.

Die 554 m lange Nordbrücke hingegen ist beim Widerlager West fest eingespannt.

Rechtsufrig der Rhone konnten die Pfähle auf den bis in einer Tiefe von ca. 30 m anstehenden Fels fundiert werden. Südlich der Rhone fällt der Fels derart steil ab, dass die Brücken mit bis zu 40 m tiefen «schwimmenden» Pfählen fundiert werden mussten.

Bauablauf

Fundationen

Zur Erstellung der Fundamente wurden in der Rhone Spundwandkästen bis zu 24 m Tiefe gerammt. Innerhalb der Spundwände wurden von geschützten Plattformen aus die Bohrpfähle mit einem Durchmesser von 1.50 m bis zu einer maximalen Tiefe von 40 m

The superstructures of the 554 m and 817 m long bridges consist mainly of a hollow box girder sections with inclined webs. In the area crossing the railway track (South Bridge) it changes gradually into a trough form and then back again to a box section. Thus in this innovative way it is possible to maintain the limited clearance over the twin-track SBB railway line. (figure 2)

The piers generally have a round cross-section of $3.10 \text{ m} \times 2.80 \text{ m}$. Where the South Bridge crosses the twin-track SBB railway line at a skew angle a special solution had to be found. With two prominent transverse diaphragms connecting the piers and a portal frame at the point of crossing the SBB Rhone valley line it was possible, on the one hand, to provide the statical fixed point for the floating 817 m long bridge and, on the other, to work with this as a focal point.

The 554 m long North Bridge is fully restrained at its west abutment. On the right bank of the Rhone the piles could be founded on bedrock at a depth of 30 m. South of the Rhone the bedrock is so steeply inclined that the bridge foundations had to be carried down to 40 m depth as «floating piles».

Construction Process

Foundations

To construct the foundations sheet pile boxes were driven into the Rhone to a depth of 24 m. Within the sheet pile boxes the bored piles of diameter 1.50 m were drilled from a protected platform to a depth of up to 40 m and partly embedded in the bedrock. Also within the sheet pile boxes the ground was excavated, the footings constructed and the piers were erected in stages.

Due to the danger of flooding work in the bed of the River Rhone could only be carried out from October to April. (figure 4)

Superstructure / Scaffolding

Because of the tight clearance in the area where the South Bridge crosses the SBB railway line and

gebohrt und teilweise in den Fels eingebunden. Innerhalb des Spundwandkastens erfolgten der Aushub, die Erstellung der Fundamentbankette und das Hochziehen der Pfeiler in Etappen. Arbeiten im Rhonebett durften aus Gründen des Hochwasserschutzes nur von Oktober bis April ausgeführt werden. (Bild 4)

Überbau/Lehrgerüst

Das knappe Lichtraumprofil im Bereich der SBB-Querung der Südbrücke sowie die Bedingung einer hilfsstützenfreien Erstellung des Lehrgerüstes im Rhonebett während der Haupt-Bausaison (April - November), bewog die ARGE zu einem obenliegenden Vorschubgerüst. (Bild 3). Mit dem 107 m langen und ca. 970 t (inkl. Schalung) schweren Vorschubgerüst wurde die Südbrücke vom Widerlager West bis über die SBB-Querung feldweise in einem 5-7 Wochen-Takt erstellt. Die Schalungselemente sind am Lehrgerüstträger aufgehängt und werden mit Hilfe eines Schalungsversetzwagens am vorgängig verschobenen Hauptträger von Etappe zu Etappe transportiert. Die Grundtappen als Teil der

the requirement of erection of the scaffolding without the help of temporary supports in the Rhone river bed during the main construction period (April-November), the consortium decided to use a travelling formwork system (figure 3).

With the 107 m long and circa 970 t (including formwork) heavy incremental launching system the South Bridge was constructed from the west abutment up to and over the SBB crossing in stages taking 5 to 7 weeks. The formwork elements are supported by the scaffolding and transported with the aid of a travelling formwork carrier on the previously pushed-in-place support section in a repetitive manner. The basic elements spanning the piers as part of the bridge are constructed first and serve as supports when the travelling formwork is moved and when concreting the stages as supports.

The rest of the South Bridge and the connecting North Bridge were then constructed with conventional scaffolding to save costs. In

Projektdaten

Rhonbrücken Raron Bauherr

BLS Alp Transit AG

Projektverfasser

BIAG AG, Beratende Ingenieure, Brig / DIC, Ingénieurs, Aigle / Bänziger Partner AG, Ingenieure + Planer, Zürich / DSP AG, Ingenieure + Planer, Zürich / Chevaz & Vassaux, Architektur, Fully Bauausführung

Züblin Schlittler Bau SA, Sion / Ulrich Imboden AG, Visp / Theler AG, Raron / Martig & Bürgi, Raron

Technische Daten

Nordbrücke

längs vorgespannte, 10-feldrige Stahlbetonbrücke mit 3.5 m hohem und 8.0 m breiten Kastenquerschnitt.

Länge (Axmass)

554 m, mit Widerlager West monolithisch verbunden.

Spannweiten

40, 50, 60, 3 x 65, 3 x 53, 43 m / Pfeiler mit gerundetem Vollquerschnitt 3.0 x 2.8 m, Pfahlfundation

Südbrücke

längs vorgespannte, 14-feldrige Stahlbetonbrücke mit konstanter Troghöhe von 3.5 m, davon 440 m mit Kastenquerschnitt von 8.0 m Breite und 377 m mit variablem Querschnitt: Kasten-Trog-Kasten mit variabler Breite 8.0 bis 10.6 m.

Länge (Axmass)

817 m, schwimmend gelagert beim Portalrahmen.

Spannweiten

49, 8 x 65, 4 x 52, 40 m. Pfeiler mit gerundetem Vollquerschnitt 3.0 x 2.8 m, Pfahlfundation

Rohbaukosten

ca. CHF 40 Mio.

Kosten pro m²

ca. CHF 3'500.00 / m²

Inbetriebnahme 2006



5

Blick von
Osten (Brig)
View from
East (Brig)

Brücke über den Pfeilern werden vorgängig erstellt und dienen beim Vorschub des Gerütes und bei Betonieren der Etappen als Auflager.

Der Rest der Südbrücke und die anschliessende Nordbrücke wurde anschliessend aus wirtschaftlichen Gründen mit einem konventionellen Lehrgerüst erstellt. Damit konnte das Handling vereinfacht und auf das vorgängige Erstellen der Grundetappe verzichtet werden.

Spezielles

Streuströme

Zum Schutz der Vorspannkabel vor Spannungsrikkorrasion durch Streuströme wurde die „vollständige Isolation“ aller Vorspannkabel, -Köpfe und -Kupplungen (Korrasionsschutzkategorie c) gewählt. Weil sich aber einzelne lokale «Fehlstellen» nicht vermeiden liessen wurde der Überbau zusätzlich mit einer Opferanode geerdet. Die Langzeitüberwachung der Isolation erfolgt durch periodische Messungen der Widerstände an fest verdrahteten Messstellen.

Betonzuschlagstoffe

Praktisch alle Betonzuschlagstoffe mussten aus Tunnelausbruchgestein gewonnen werden. Die daraus erstellten Betone stellten hohe Anforderungen, sowohl an die Materialtechnologie, als auch an die Verarbeitbarkeit innerhalb des nicht einfachen Brückenquerschnitts.

Leitmauer Bereich SBB-Querung

Zusätzlich zu den (rechnerisch) anprallresistenten Pfeiler wurde beidseitig der bestehenden SBB-Gleise auf einer Länge von ca. 450 m (Bereich Pfeiler 106-113) eine Leitmauer (Peronkante) als Pfeilerschutz gegen Anprall vorgesehen. Dabei handelt es sich um einen L-förmigen Betonriegel, der entlang den Gleisen im Abstand von 2.30 m von der Gleisachse auf der Damm schüttung erstellt wurde.



6

Blick von Norden (Lötschbergtunnel)
View from north (Lötschberg Tunnel)

this way handling was simplified and the prior construction of the support elements could be dispensed with.

material high demands are placed both on the material technology and on the workability within the not-so-simple bridge cross section.

Special Features

Stray Currents

To protect the prestressing cables from stress corrosion due to stray currents a «complete insulation» of all prestressing cables, anchorages (stressing heads) and couplings (Type C) was specified. But because some local «missing places» cannot be avoided, the superstructure was also earthed with a reactive (i.e. sacrificial) anode. The long-term monitoring of the insulation is performed by means of periodic measurements of the resistances at hard-wired measuring points.

Concrete Aggregates

Practically all concrete aggregates have to be obtained from the rock excavated from the tunnel. For the concrete made from the rock

Parapet wall in the area of the SBB crossing

In addition to the (calculated) impact-resistant piers on both sides of the existing SBB railway track over a length of circa 450 m (at piers 106-113) an upstand parapet is foreseen (at edge of walkway) to protect the piers from impact. This is an L-shaped concrete stiffening element, which is constructed on the embankment alongside the railway track at a distance of 2.30 m from the track axis.

Autor / Author

Aldo Bacchetta
dipl. Ing. ETH/SIA
Bänziger Partner AG
Graubenstrasse 35, CH-8045 Zürich
zuerich@bp-ing.ch

Situation

Mit einem über 2.5 km langen Tunnel soll das Dorf Saas im Prättigau vom Durchgangsverkehr befreit werden. Die Bauarbeiten sind seit 2002 im Gange und es wird mit einer Bauzeit von ca. 10 Jahren gerechnet. Neben dem Tunnel sind verschiedene Kunstbauten in topografisch und geologisch schwierigem Gelände erforderlich. Unmittelbar nach dem Ostportal sind im steilen Gelände zwischen der bestehenden Prättigauerstrasse A28 und dem Trasse der Rhätischen Bahn zwei Hangbrücken zu bauen: die ca. 340m lange Hexentobelbrücke und die ca. 90m lange Marchtobelbrücke (**Bild 1**).

Der Baugrund besteht aus einer dicht gelagerten Randmoräne mit leicht bis reichlich siltigem Kies-sand, Steinen und Blöcken. Das steil abfallende Gelände weist eine Neigung von 38° auf. Obwohl diese Neigung etwa dem Reibungswinkel des Baugrundes entspricht, weist das Gelände im Bereich der beiden Brücken keine Bewegungen auf.

Die Brücken verlaufen zum Teil

sehr nahe dem Gelände. Die Lini-
enführung ist durch stark variable
Krümmung ($R_{min} = 110\text{m}$), varia-
ble Querneigung (-7% bis +7%)
und Längsneigung (0.5% bis 4%)
gekennzeichnet.

Gesamtleistungswettbewerb

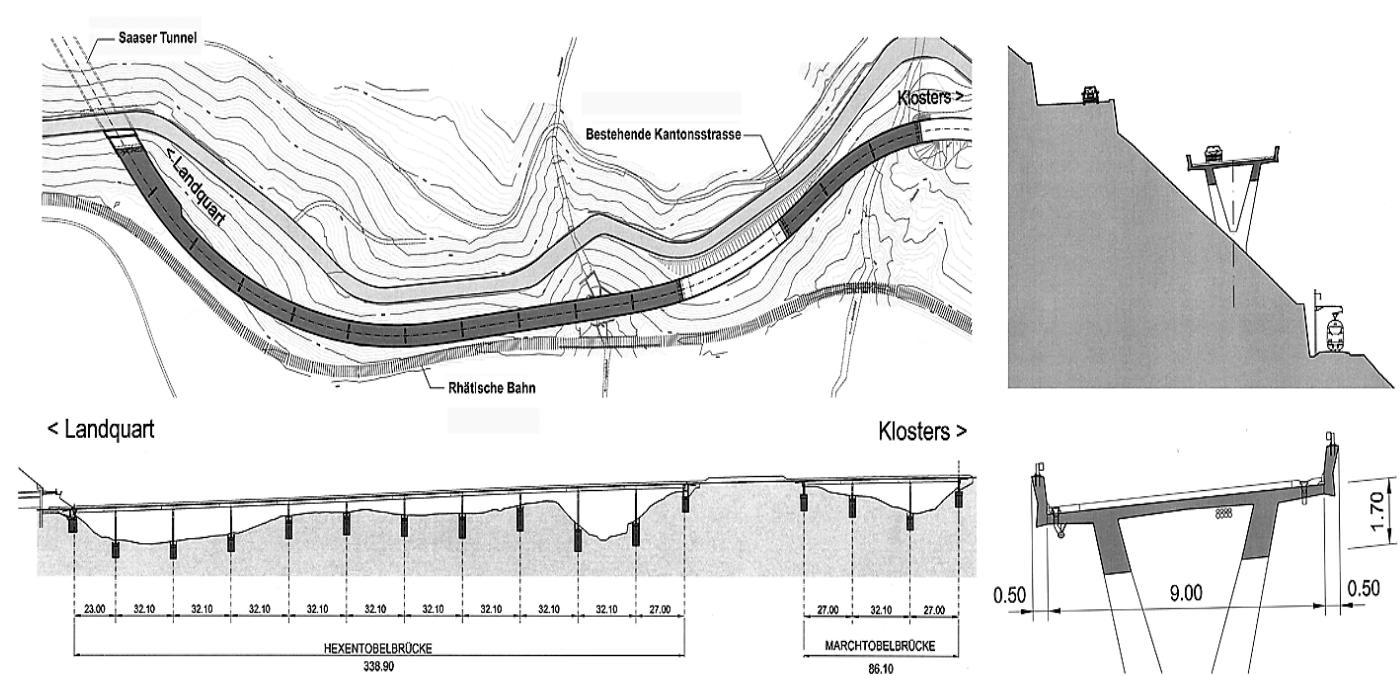
Im Rahmen des Einspracheverfahrens wurde für die beiden Brücke ein Vorprojekt ausgearbeitet. Damit war bereits ein Projekt mit einem guten Brückenkonzept vorhanden. Zusätzliches Optimierungspotential lag in erster Linie noch in einer den Randbedingungen und den Möglichkeiten der Unternehmung angepassten Bauausführung. Das waren ideale Voraussetzungen für die Durchführung eines Gesamtleistungswettbewerbs.

Mit einem zweistufigen Wettbewerb konnte die Kompetenz der Fachleute der Projektierung und der Bauausführung bei der Lösung der konkret gestellten Aufgaben beurteilt und für die Vergabe der Aufträge berücksichtigt werden. Zudem wurde mit der gleichzeitigen

Situation

Relief from through traffic for the village of Saas in Prättigau (Canton Grisons) will be achieved by means of a 2.5 km long tunnel. The construction work has been in progress since 2002 and the estimated construction time will be about 10 years. Besides the tunnel various structures are necessary in topographically and geologically difficult terrain. Immediately after the east portal in the steep terrain between the existing Prättigau road A28 and the Rhätische railway line two viaducts (i.e. elevated highway sections): the approximately 340 m long Hexentobel bridge and the approximately 90 m long Marchtobel bridge (Figure 1).

The ground consists of a dense lateral moraine with little to abundant silty gravelly sand, with stones and boulders (block material). The steep terrain has a slope of 38°. Although this slope corresponds approximately to the





2 Computer Visualisierung
Computer Visualization

gen Vergabe der Aufträge für die Projektierung und für die Bauausführung Zeit gewonnen. Im Rahmen des Wettbewerbs wurden 6 Projektvorschläge eingereicht. Wie zu erwarten war, unterschieden sich die Vorschläge hinsichtlich Brückenkonzept nicht wesentlich, wohl aber in Bezug auf Lehrgerüste, Installationen und Baustellenerschliessung. Aufgrund der Beurteilung von konzeptionellen Aspekten wurden 3 Projekte ausgewählt, für die in der zweiten Phase des Wettbewerbs die Ausarbeitung des Bauprojekts mit entsprechender Globalofferte verlangt wurde. Als Sieger des Wettbewerbs ging das hier beschriebene Projekt hervor (**Bild 2**).

Konzept und Entwurf

Der Bauvorgang wurde in der Projektierungsphase durch die enge Zusammenarbeit von Unternehmung und Bauingenieur ausgearbeitet und hatte einen grossen Einfluss auf die Entwicklung des Projektes. Dabei waren die schwierigen topographischen Bedingungen (steiler Hang und kleiner Abstand der Brücke zum Hang, beschränkter Platz zwi-

angle of internal friction of the soil, there is no evidence of ground movements in the slope in the region of both bridges.

Over some stretches the bridges are very close to the ground surface. The alignment is characterized by very variable values of curvature ($R_{min} = 110\text{m}$), cross slope (-7% to +7%) and longitudinal slope (0.5% to 4%).

Total performance Competition

In connection with the public inquiry for both bridges a preliminary project had to be prepared. Thus a project with a good bridge concept was already available. Additional optimization potential was possible in the first place in one of the boundary conditions and the possibilities of adapting the construction procedure by the contractor. These were ideal prerequisites for carrying out a total performance competition.

With a two-stage competition the competence of the design engineers and of the contractors to solve the specific tasks could be assessed and taken into account when awarding the contracts. Further,

Project data

Client

Canton Grisons, Civil Engineering Office, Structures Department, Chur

Contractors

Flli Somaini SA, Grono

Muttoni SA, Bellinzona

Prestressing

VSL (Schweiz) AG, Subingen

Design

Grignoli Muttoni Partner SA, Lugano

Wepf Ingenieure AG, Flawil

Concept and Consulting

Prof. Dr. A. Muttoni, EPFL

Geotechnical Consulting

Dr. Vollenweider AG, Zürich

Technical data Hexentobel Bridge

Total Length: 338.9 m

Spans: 23.0 - 9 x 32.10 - 27.0 m

Width: 10.1 m

Structural Concrete: 3600 m³

Reinforcing Steel: 380 t

Prestressing Steel: 51 to

Costs: 6.6 Mio CHF, 1870 CHF/m²

Technical data Marchtobel Bridge

Total Length: 86.1 m

Spans: 27.0 - 32.10 - 27.0 m

Width: 10.1 m

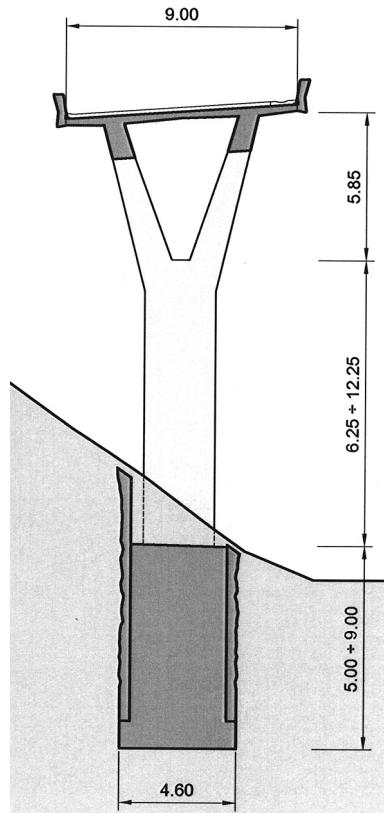
Structural Concrete: 1100 m³

Reinforcing Steel: 110 t

Prestressing Steel: 12 to

Costs: 1.7 Mio CHF, 1950 CHF/m²

3
Stütze und
Schacht
Pier and Shaft



cher durch die Pfeiler in Längsrichtung stabilisiert wird.

Die Höhe des Brückenüberbaus von 1.7m ist konstant über die ganze Brückenlänge. Die Fahrbahnbreite beträgt 10m. Am westlichen Endfeld der Hexentobelbrücke wird die Fahrbahn um 3m verbreitert und quer vorgespannt. Damit die Betonkonstruktion möglichst einfach ausgeschaltet werden kann, wurde ein offener Brückenquerschnitt ohne Querträger über die Stützen gewählt. Um die Querkräfte in den Längsträgern möglichst direkt ohne Umlenkkräfte in die Y-förmig ausgebildeten Stützen einleiten zu können, sind die Stege auch geneigt. Die Umlenkkraft in Querrichtung wird somit über die ganze Brückenlänge verteilt und es resultiert damit keine Bewehrungskonzentration in Querrichtung über die Stützen (**Bild 3**).

Für die Aufnahme der Druckkräfte

schen der bestehenden Kantonstrasse und der Rhätischen Bahn) sowie die geologischen Verhältnisse (tiefe Fundamente) wichtige Einflussgrößen.

Die Regelspannweite der beiden zweispurigen Brücken beträgt 32.1m. Sie resultierte aus einer Optimierung der Gesamtkosten. Drei Randfelder weisen Spannweiten von 27m auf. Beim Widerlager West der Hexentobelbrücke beträgt sie lediglich 23m wegen der Verbreiterung für einen Ausstellplatz.

Der Überbau der beiden Brücken besteht aus einem offenen Ortsteiltonquerschnitt. Er ist in Längsrichtung mit 2, über den Stützen infolge Überlappung mit 3 Litzenkabel (22 Litzen ø 0.6") je Steg vorgespannt. Der Brückenträger und sämtliche Stützen sind monolithisch verbunden, so dass nur bei den Widerlagern mechanische Lager zur Anwendung kommen. Das statische System der beiden Brücken besteht somit aus einem schwimmend gelagerten, vorgespannten Durchlaufträger, wel-

Concept and Design

In the design phase the construction procedure was worked out with a close collaboration between the contractors and the design engineer and had a big influence on the development of the project. Hereby the important influence factors were the difficult topographical conditions (steep slope and limited space between the bridge and the slope, small distance between the existing cantonal road and the Rhätische railway line) as well as the geological conditions (for the deep foundations).

The standard span of the two 2 lane bridges was 32.1m. It resulted from an optimization of the total costs. Three side spans have lengths of 27m. In the case of the west abutment of the Hexentobel bridge the span was only 23m due to widening to make place for a lay-by.

The superstructure of both bridges consists of an open concrete cross section constructed in situ. It is prestressed in the longitudinal direction with two cables (each with 22 strands ø 0.6"), and over the supports, due to overlapping, with three cables in each web. The bridge beam and all supports are monolithically connected, so that mechanical bearings are only used in the abutments. Thus the statical system of both bridges consists of a prestressed continuous beam, which is stabilized by the piers in the longitudinal direction.

The height of the bridge superstructure of 1.7m is constant over the whole length of the bridge. The width of the carriageway is 10 m. On the west side span of the Hexentobel bridge the carriageway is widened by 3m and pre-stressed transversely. To simplify as far as possible the dismantling of the forms for the concrete construction an open bridge cross section without crossbeams over the piers was chosen. In order to be able to transmit the shear forces in the longitudinal beams as directly as possible into the Y-shaped piers without deviation forces, the webs

Projektdaten

Bauherr

Kanton Graubünden, Tiefbauamt, Abteilung Kunstbauten, Chur

Unternehmungen

F.Ili Somaini SA, Grono
Muttoni SA, Bellinzona

Vorspannung

VSL (Schweiz) AG, Subingen

Planer

Grignoli Muttoni Partner SA, Lugano
Wepf Ingenieure AG, Flawil

Entwurf und Beratung

Prof. Dr. A. Muttoni, EPFL

Beratung Geotechnik

Dr. Vollenweider AG, Zürich

Technische Daten Hexentobelbrücke

Total Length: 338.9 m
Span widths: 23.0 - 9 x 32.10 - 27.0 m
Width: 10.1 m
Constructional concrete: 3600 m³
Reinforcing steel: 380 t
Pre-tensioning steel: 51 t
Costs: 6.6 Mio CHF, 1870 CHF/m²

Technische Daten Marchtobelbrücke

Total Length: 86.1 m
Span widths: 27.0 - 32.10 - 27.0 m
Width: 10.1 m
Constructional concrete: 1100 m³
Reinforcing steel: 110 t
Pre-tensioning steel: 12 t
Costs: 1.7 Mio CHF, 1950 CHF/m²

infolge Längsbiegung sind die Stege im unteren Bereich breiter als im oberen Bereich.

Der untere Teil der Stütze weist einen Rechteckquerschnitt von 2.8m x 0.8m auf, dessen Höhe von den topographischen Verhältnissen abhängt und zwischen 6m und 12m variiert. Die Schlankeheit der Stützen im unteren Bereich, sowohl in Quer- wie auch in Längsrichtung, resultierte aus einer Optimierung der Stützen- sowie der Schachtgeometrie. Im oberen Teil gliedert sich die Stütze V-förmig auf und geht nahtlos zum Brückenträger über (Bild 4).

Diese Form, die für sämtliche Stützen unverändert bleibt, ergab sich aus dem gewählten Bauvorgang. Aufgrund der schwierigen topografischen Verhältnissen wird der Brückenüberbau mit einem Vorschubgerüst hergestellt. Wegen des sehr nahen Hanges wurde der Hauptträger des Gerüsts in Brückenmitte gewählt. Daraus hat sich die Y-Form der Pfeiler ergeben, was wiederum die Form des Lehrgerüstes mit dreieckigem Querschnitt zur Folge hatte.

Die Stützen sind auf Schächte abgestellt. Der ovale Schacht mit den Außenabmessungen von 3.6m x 4.6m (ideal für kleine Aushubgeräte) wird in 1.5m hohen Etappen abgeteuft und mit einem 40 cm dicken Schachtring gesichert. Die Schachttiefe ist variabel und beträgt bis 9m. Der Schacht wird mit Beton gefüllt und das 1.1m starke Stützenfundament darauf abgestellt.

Die Widerlager sind konventionell ausgebildet und mit Schächten, analog zu den Stützen fundiert. Bei der 90m langen Marchtobelbrück kann durch geeignete konstruktive Massnahmen auf einen Fahrbahnübergang verzichtet werden.

are inclined. Thus the deviation force in the transverse direction is distributed over the whole length of the bridge and no concentration of reinforcement results in the transverse direction over the piers (figure 3). To resist the compressive forces due to longitudinal bending the webs are thicker at the bottom than at the top.

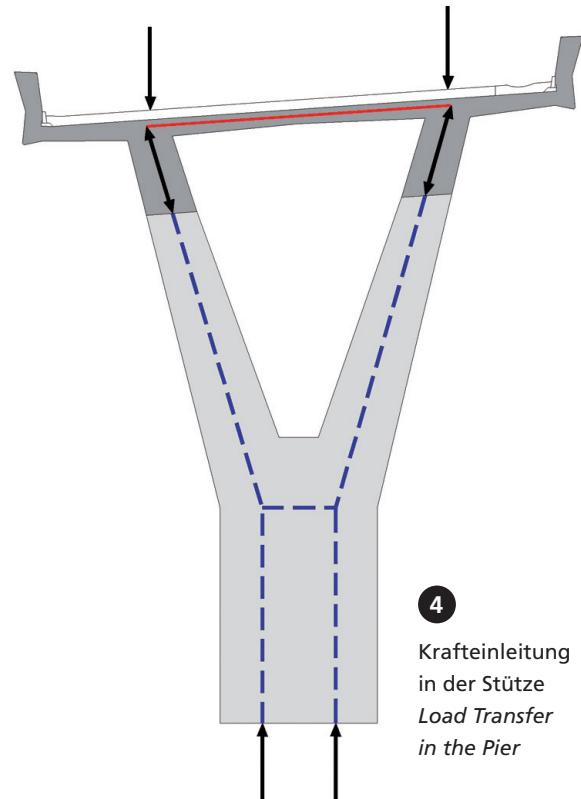
The bottom part of the pier has a rectangular cross section of 2.8m x 0.8m and its height, depending on the topographical conditions, varies between 6m and 12m. The slenderness of the piers at their lower end, both in the transverse and the longitudinal direction, results from an optimization of the piers and the shaft geometry. In the upper part the pier subdivides into a V-shape and merges into the bridge beam (figure 4). This shape, which is the same for all piers, was given by the selected construction procedure. Due to the difficult topographical conditions the bridge superstructure is built with travelling falsework. Due to the close proximity to the slope the main girder of the falsework was chosen to be in the middle of the bridge. This led to the Y-shaped piers, which necessitated a triangular cross section for the falsework.

The piers are founded within shafts. The oval shaft with external dimensions of 3.6m x 4.6m (ideal for small excavating machines) is sunk in 1.5m steps and supported by a 40 cm thick shaft ring. The shaft depth is variable and up to 9m. The shaft is filled with concrete and the 1.1m thick pier foundation is placed on it.

The abutments are of conventional design with shafts founded in the same way as the piers. With the 90m long Marchtobel bridge, by means of suitable constructional measures a carriageway expansion joint can be dispensed with.

Construction Procedure

The development of the construction procedure and the design of the bridges influenced each other. The triangular sliding falsework consists of a 41m long main launching girder and a 20m long launching nose. Using jacks the falsework is moved on rollers, which are placed in the forks of the piers. During the construction of a span it is fixed with its back end to the already constructed superstructure and the front part is placed on the next (previously constructed) pier. Every 2.9m corbels, on which the spindles are fitted, are fixed to the launching girder, which during the jacking operation have to be repositioned at the piers. The cross fall, the longitudinal gradient and the superelevation are set by adjusting their height.



Bauvorgang

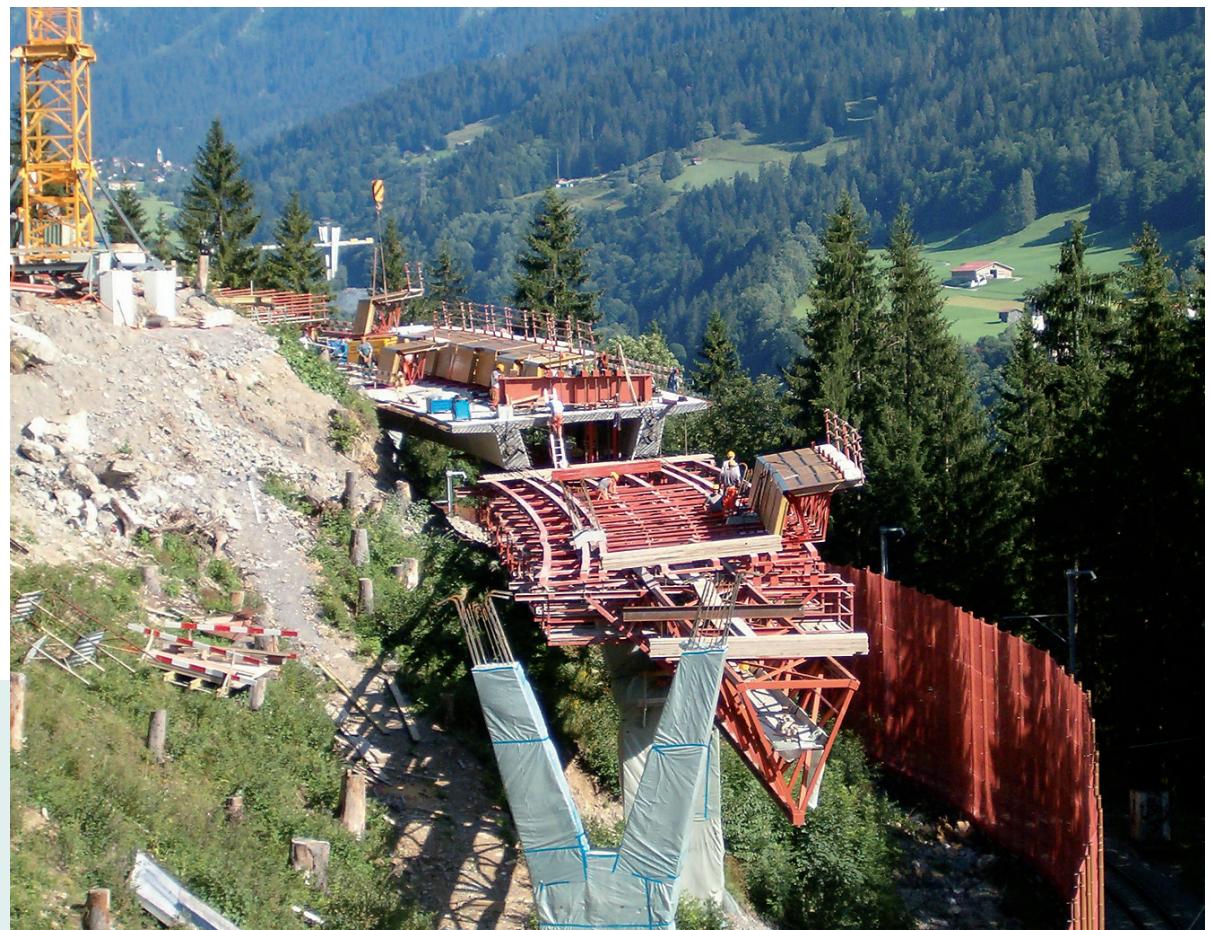
Die Entwicklung des Bauvorgangs und der Entwurf der Brücken haben sich gegenseitig beeinflusst. Das dreieckförmige Vorschubgerüst besteht aus einem 41m langen Hauptträger und einem 20m langen Schnabel. Das Gerüst wird auf Rollen, die bei der Stützenverzweigung aufgelegt sind, mit Pressen vorgeschoben. Während der Herstellung eines Feldes ist es mit seinem hinteren Ende am fertig gestellten Brückenträger eingespannt und der vordere Bereich ist auf der nächsten, vorgängig erstellten Stütze aufgelagert. Alle 2.9m sind am Gerüstträger Konsolen befestigt, welche beim Vorschub bei den Stützen umgehängt werden müssen. Darauf sind die Spindeln angeordnet. Mit deren Höhenverstellung wird das Quergefälle, das Längsgefälle, sowie die Überhöhung eingestellt. Die Spindeln sind auch horizontal verschiebbar,

so dass sie entsprechend der horizontalen Linienführung angeordnet werden können. Wegen der Kurve im Grundriss muss vor dem Vorschub des Gerüstträgers, dieser zuerst in die Richtung der nächsten Stütze abgedreht werden. Dies erfolgt durch Drehen des Gerüstes in der Vergabelung der Stütze und einem speziellen Querträger, der unter dem bereits erstellten Brückenabschnitt aufgehängt ist. Er erlaubt es, den hinteren Teil des Vorschubgerüstes nach aussen zu verschieben und ermöglicht damit die Drehbewegung (Bild 5).

Die 3m langen Schalungselemente sind im Querschnitt dreiteilt und zwar in die beidseitige untere und äussere Trägerschalung mit der Konsolschalung der Fahrbahnplatte und die innere Trägerschalung mit der inneren Fahrbahnplattenschalung. Wegen der spitzen Winkel der inneren Schalung musste diese so ausgebildet wer-

The spindles can also be moved horizontally, so that they can be arranged to correspond to the horizontal alignment. Due to the curve in plan view before moving the falsework girder, this first has to be rotated into the direction of the next pier. This is done by rotating the falsework in the fork of the pier and a special crossbeam, which is suspended under the previously span. This allows the back part of the sliding falsework to be moved outwards thus allowing the rotational movement (figure 5).

The 3m long formwork elements are divided into three parts in the cross section, i.e. in the double-sided lower and external beam formwork with the corbel formwork of the carriageway slab and the inner beam formwork with the inner carriageway slab formwork. Due to the acute angle of the inner formwork it had to be designed such that the dismantling of the forms gave no pro-



5

Verschiebung
der Vorschub-
gerätes
*Moving of
the falswork*

den, dass ein problemloses Ausschalen möglich ist. Deshalb liegt sie auf Stelzen, welche mit einer Diagonale stabilisiert werden und bei deren Entfernung die Schalung eingeklappt werden kann. Damit wird das Schalungselement 40cm schmäler und 20cm weniger hoch. Mit Hilfe eines Hängegeleises kann dann die Innenschalung bis an die Betonierfuge verschoben werden, von wo sie mit dem Kran weggeführt werden kann. Die beiden seitlichen Schalungselemente werden mittels einer speziellen Gabel, welche am Turmdrehkran aufgehängt wird, ausgefahren. Die Felder werden im 3-Wochen-Takt in einem Guss betoniert, die Leitmauern werden später in 16m langen Etappen mit dem Schalwagen erstellt.

Bauprogramm und Kosten

Obwohl das Gerüst speziell für diese beiden Brücken hergestellt worden ist und die Fundationsverhältnisse als schwierig bezeichnet werden können, beträgt der Preis pro Quadratmeter der fertigen Brücke inkl. Abdichtung und Belag nur 1870 CHF/m² bei der Hexentobelbrücke resp. 1950 CHF/m² bei der Marchtobelbrücke. Nach ihrer Fertigstellung im Sommer 2006 werden die Brücken als Bauzufahrt zum Vortrieb Ost des Saaser Tunnels dienen.

blems. Therefore it lies on stilts, which are stabilized by means of a diagonal element and which upon removal allow the formwork to be folded together. Thus the formwork element is 40cm smaller in width and 20cm less in height. With the help of the suspended track rail the inner formwork can then be moved up to the concrete construction joint and removed with the crane. Both lateral formwork elements are removed by means of a special stirrup, which is suspended from the tower crane. The spans are concreted in a 3-week cycle in one casting operation, while the parapet walls are constructed later in 16m long sections with a formwork carriage.

Construction Programme and Costs

Although the falsework was custom made for these two bridges and the foundation conditions could be described as difficult, the price per square metre of the finished bridges including the waterproofing membrane and road surfacing was only 1870 CHF/m² for the Hexentobel bridge and 1950 CHF/m² for the Marchtobel bridge. After their completion in summer 2006 the bridges will serve as access for the excavation work at the east end of the Saas tunnel.

Referenzen / References

- [1] A. Rota, F. Lurati, D. Somaini; «Keine Hexerei im Prättigau», Tec21 Nr. 44 (28.10.2005)

Autoren / Authors

Heinrich Figi, dipl. Bauing. ETH
Tiefbauamt des Kantons Graubünden
Abteilung Kunstbauten
Sägenstrasse 78, 7001 Chur
heinrich.figi@tba.gr.ch

Franco Lurati, dipl. Bauing. ETH
Grignoli Muttoni Partner SA
Via Somaini 9
6900 Lugano
info@gmpartner.ch

Aurelio Muttoni, Prof. Dr. EPFL
Chemin du Chêne 7c
1112 Echichens
aurelio.muttoni@epfl.ch

Dario Somaini, Dr. Ing., dipl. Bauing. ETH
F.Illi Somaini SA
6537 Grono
illi.somaini@bluewin.ch