

## 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 Innchlucht 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, widerspiegelt 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-

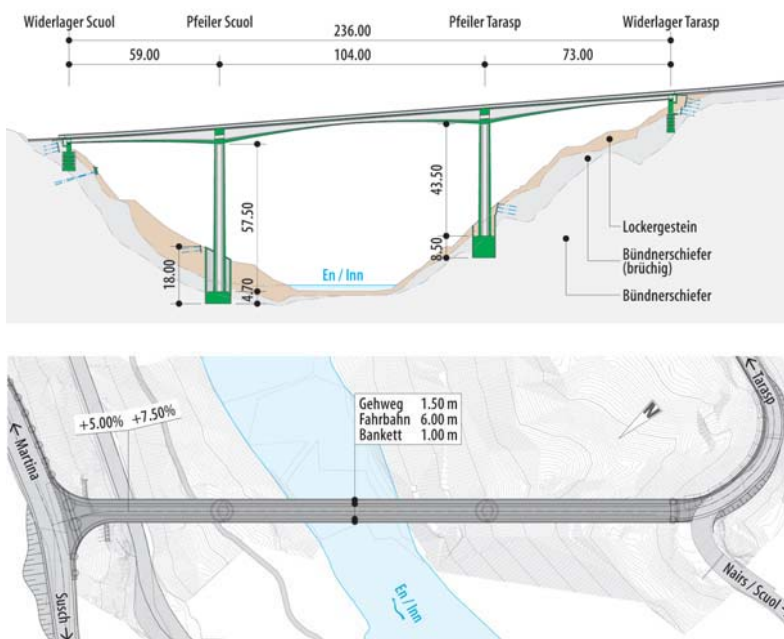


Fig. 1  
Längsschnitt und Situation.  
Longitudinal section and situation.



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

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 ausgenützt 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

#### 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 <sup>3</sup>
formwork	approx. 15800 m <sup>2</sup>
reinforcing steel	approx. 900 t
post-tensioning cable	approx. 88 t
soil excavation	approx. 5300 m <sup>3</sup>
rock excavation	approx. 2800 m <sup>3</sup>

## 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 (8<sup>th</sup> 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 Lehrgerüstkonstruktionen erstellt, 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 Ausnützung 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 konzipiert, 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.

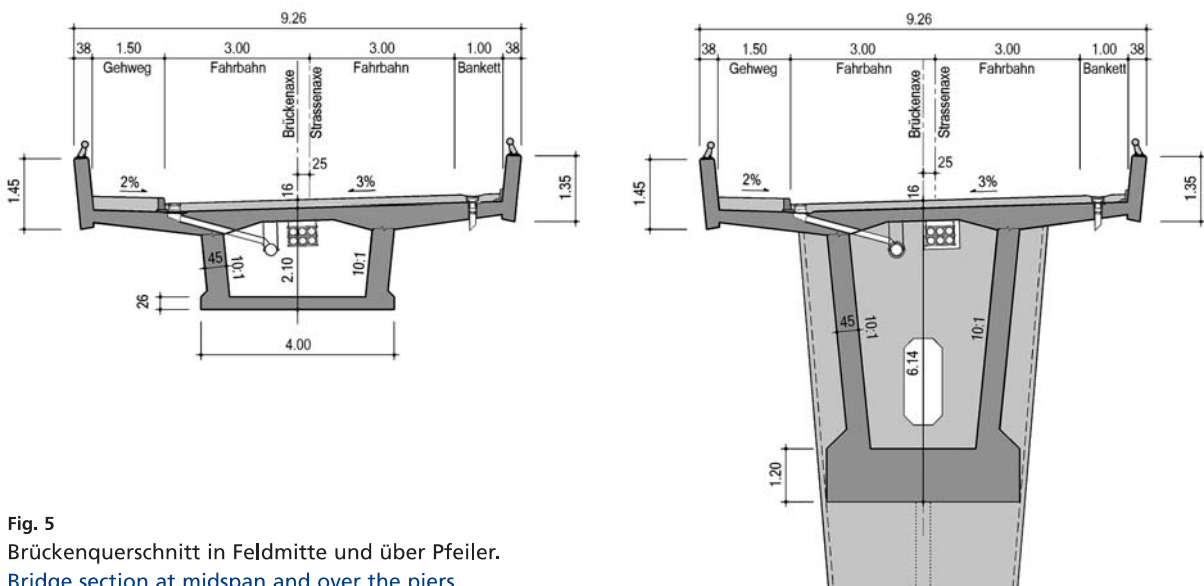


Fig. 5  
Brückenquerschnitt in Feldmitte und über Pfeiler.  
Bridge section at midspan and over the piers.





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, Geo-  
technik, Zürich

##### Örtliche Bauleitung

Kanton Graubünden, Tiefbauamt,  
Abteilung Kunstbauten, Chur;  
Bänziger Partner AG, Chur

##### Bauausführung

Strabag, Zürich; J. Erni Bauunter-  
nehmung, 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 <sup>3</sup>
Schalung	ca. 15 800 m <sup>2</sup>
Bewehrungsstahl	ca. 900 t
Vorspannkabel	ca. 88 t
Aushub Lockergestein	ca. 5300 m <sup>3</sup>
Aushub Fels	ca. 2800 m <sup>3</sup>

#### Pfeiler

Die Pfeiler weisen Höhen von 57,50 m bzw. 43,50 m auf. Sie dienen sowohl im Bauzustand als auch im Endzustand der horizontalen Stabilisierung des Überbaus. Die Querschnittsabmessungen der Pfeiler orientieren sich an deren Biegebeanspruchungen in Längs- und Querrichtung (Endzustand). Die Taille der Pfeiler liegt im Bereich der minimalen Gesamtbeanspruchung. Ihre Grundform ist ein Rhomboid. Zwei schief dazu liegende Ebenen schneiden die Taillierung aus dem Grundkörper und führen die Geometrien von Pfeilerkopf und Pfeilerschaft zusammen. Es entsteht eine interessante Pfeilerform, die – analog zum Träger – Abbild des Kräfteverlaufs ist.

#### Widerlager

Der Überbau wird bei beiden Widerlagern in Längsrichtung verschieblich gelagert. Bei den vorhandenen Bewegungslängen sind mechanische Fahrbahnübergänge (wasserdichte mehrzellige Lamellenfugen) notwendig. Unterhaltsräume gewährleisten die Zugänglichkeit der Fahrbahnübergänge und Lager. Allfälliges Wasser wird über Rinnen kontrolliert abgeleitet.

Bei beiden Widerlagern wurden neue Stützmauern erstellt, die

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  $\varnothing 10,0$  m mit 4,7 m Stärke in einer Tiefe von rund 18 m im stabilen Bündnerschiefer fundiert. Über der Foundation folgt ein Zylinderschacht mit drei verschieblichen, in den Fugen knautschbaren Trapezringen, welche die tiefliegenden langsamen 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  $\varnothing 10.0$  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  $\varnothing 9.0$  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  $\varnothing 9,0$  m mit 8,5 m Stärke in einer Tiefe von rund 15 m fundiert. Das Widerlager Scuol steht auf zwei Schächten  $\varnothing 4,0$  m (Tiefe 7,5 m), das Widerlager Tarasp auf zwei Schächten  $\varnothing 3,0$  m (Tiefe bis 10,0 m). Diese Schächte wurden konventionell mit Beton verfüllt.

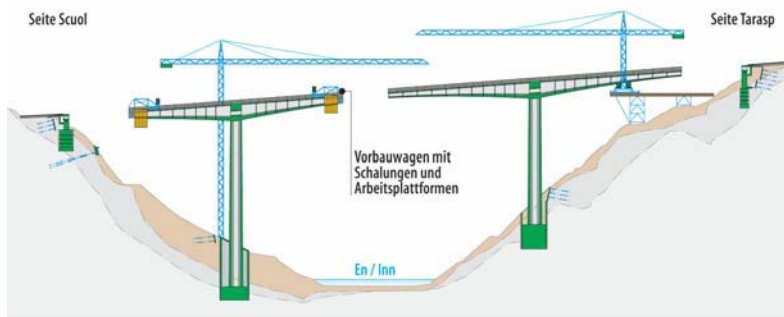
#### Bauausführung

Für den Bau der Fundamentalschächte in den steilen Talflanken wurde der bergseitige Hänganschnitt 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  $\text{\O}4.0$  m (length 7.5 m), and the abutment Tarasp on two caissons  $\text{\O}3.0$  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, Fahrbahnplatte) 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