

# Viadukt "Ile Falcon" bei Sierre: Taktschiebeverfahren bei gekrümmter Zwilingsbrücke

Autor(en): **Pralong, Clande**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **117 (1999)**

Heft 45

PDF erstellt am: **14.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79819>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Claude Pralong, Lausanne

# Viadukt «Ile Falcon» bei Sierre

## Taktschiebeverfahren bei gekrümmter Zwillingsbrücke

**Etwas rhoneaufwärts von Sierre überquert die Autobahn A 9 den Fluss auf einer über 700 m langen Zwillingsbrücke. Das für die Errichtung der Brücke gewählte Taktschiebeverfahren ist Gegenstand des folgenden Artikels.**

Nach der Durchquerung von Sierre mit ihrer Abfolge von gedeckten Einschnitten und Tunnels erreicht die A9 ein Gebiet von Inseln an der Grenze zwischen der ehemals wilden Rhone im Pfywald und der eingedeichten Rhone, die kanalisiert das Tal durchquert. Das Autobahntrasse, das gegenüber dem Projekt aus den 70er Jahren eine Überarbeitung erfahren hat, kreuzt den Fluss auf einem ungefähr 720 m langen Bauwerk am Hangfuss.

### Das Projekt

Die Zwillingsbrücken, die den Viadukt «Ile de Falcon» bilden, weisen beide eine Gesamtlänge von 720,9 m auf, wie sich Bild 1 entnehmen lässt. Es handelt sich bei allen Spannweiten um ein Vielfaches von 9,125 m, was der halben Taktlänge von

18,25 m entspricht. Die Abschnitte wurden so gewählt, dass die Arbeitsfugen nie bei den im Endzustand am stärksten beanspruchten Stellen zu liegen kamen.

Das statische System besteht aus einem punktgelagerten Durchlaufträger mit einer Einspannung auf einem in der Rhone stehenden Pfeiler. Die Berücksichtigung der Erdbebenlasten in der Zone 3b geht von einem Bruch der Stahlteile des auf diesem Pfeiler liegenden Lagers aus, schliesst aber jede Beschädigung des Betons aus.

Der der geneigten Wendelinie angenäherte Radius beträgt 822 m. Der Oberbau besteht aus einem Kastenträger mit variabler Höhe, dessen Fahrbahnplatte zwischen 3 und 6,6 m auskragt. Aufgrund der von 2,25 bis 3,70 m variierenden Kastenhöhe ergibt sich im Endzustand ein nahezu gleichmässiger Schlankheitsgrad. Die Stegdicke beträgt 48 cm, um Platz für die Längsvorspannung zu bieten. Die Stärke der Fahrbahnplatte variiert zwischen 28 und 53 cm, diejenige der unteren Decke zwischen 25 und 65 cm.

Der Unterbau schliesslich besteht aus Hohlpfählern mit 500 cm Durchmesser, die auf drei verschiedenen Foundationen ruhen:

MG. Der vorliegende Artikel stellt eine stark gekürzte und übersetzte Zusammenfassung der Artikelserie zum Viadukt Ile Falcon dar, die im «Ingénieurs et architectes suisses» vom 21. Oktober 1998, S. 368–387, erschienen war.

- Wegen der Gipsablagerungen am linken Ufer auf Pfählen
- In der Rhone auf aus Schlitzwänden gebildeten Schächten
- Am rechten Ufer auf konventionellen Einzelfundamenten.

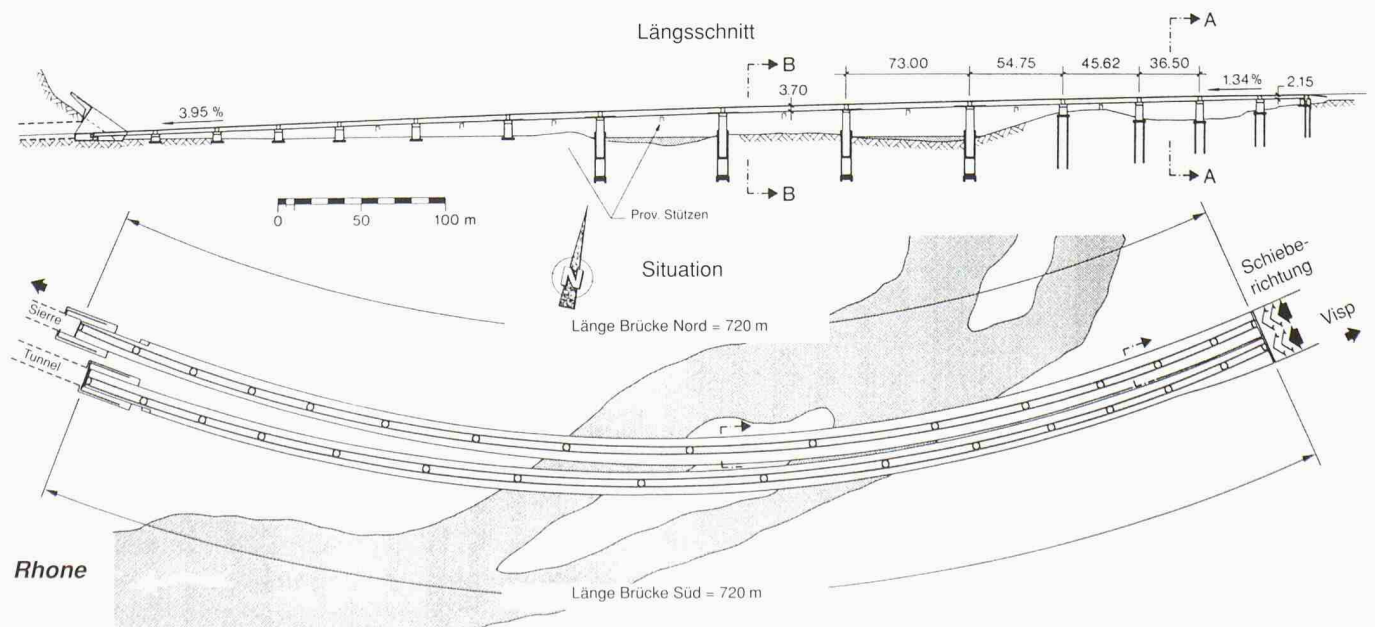
### Vorteile des Taktschiebeverfahrens

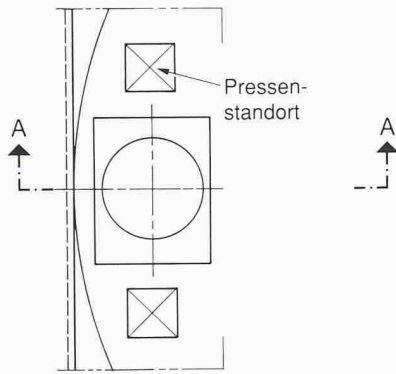
Das Taktschiebeverfahren erwies sich von allem Anfang an als interessante Methode für die insgesamt 1,5 km lange Brücke und für die damit 84 Mal mögliche Benützung derselben Schalung. Wegen der Zwillingsbrücke konnten der Vorbauschubel, die provisorischen Stützen und die Gleitlager zweimal verwendet werden. Im Weiteren machte das Verfahren das Bauwerk von den Ausführungsbedingungen in der Rhone unabhängig.

Ebenso gilt es die hohe Verarbeitungsqualität hervorzuheben, da die Vorfabrikation an Ort gegenüber den konventionellen Sorgfaltsmassnahmen dank der klimatisierten Umhüllung des Querschnitts eine einheitliche und an die Jahreszeiten angepasste Ausführung der Betonierarbeiten erlaubt. Darüber hinaus führt eine derartige Industrialisierung zu relativ

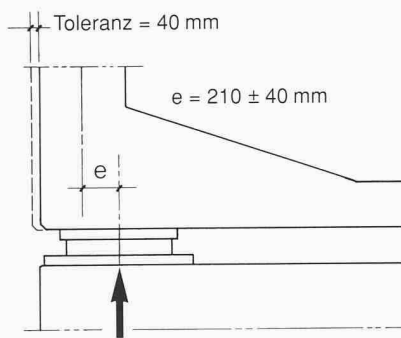
1

Längsschnitt und Situation





Schnitt A-A



2

Geometrie der Kastenunterseite

tiefen Bauwerkpreisen (Fr. 1200.-/m<sup>2</sup>). Ein steter wöchentlicher Rhythmus der Arbeitszyklen minimiert menschliche Fehler.

### Hauptsächliche Probleme

Die Geometrie der Strassenachse, die sich aus Klothoiden in der Ebene und einem Gefälle im Längenprofil zusammensetzt, liess das Bauwerk für das Taktschiebverfahren anfänglich als nicht geeignet erscheinen. Dieses Problem wurde gelöst, indem die Geometrie des Kastens einer geneigten Wendellinie folgt und die Fahrbahnplatte strikte nach der vorgeschriebenen Geometrie ausgerichtet wurde.

Die aus ästhetischen Gründen nicht erwünschte Auskragung an der Kastenunterseite führte zu den folgenden zwei Auswirkungen (Bild 2):

- Exzentrizität von 210 mm zwischen Gleitlager- und Stegachse
- Erlaubter Fehlerbereich in der Trajektorie von 40 mm
- Umschnürung der Pfeiler mit einer kreisförmigen Vorspannung und Einbau von Winkeleisen auf den Pfeilern im Bereich der Gleitlager.

Die Steifigkeit und der kleine Schlankheitsgrad des Bauwerks machten es auf die eventuellen Höhendifferenzen der Gleitla-

ger empfindlich. Die für eine vernünftige Dimensionierung des Trägers notwendigen Anforderungen verlangten die folgenden Toleranzwerte:

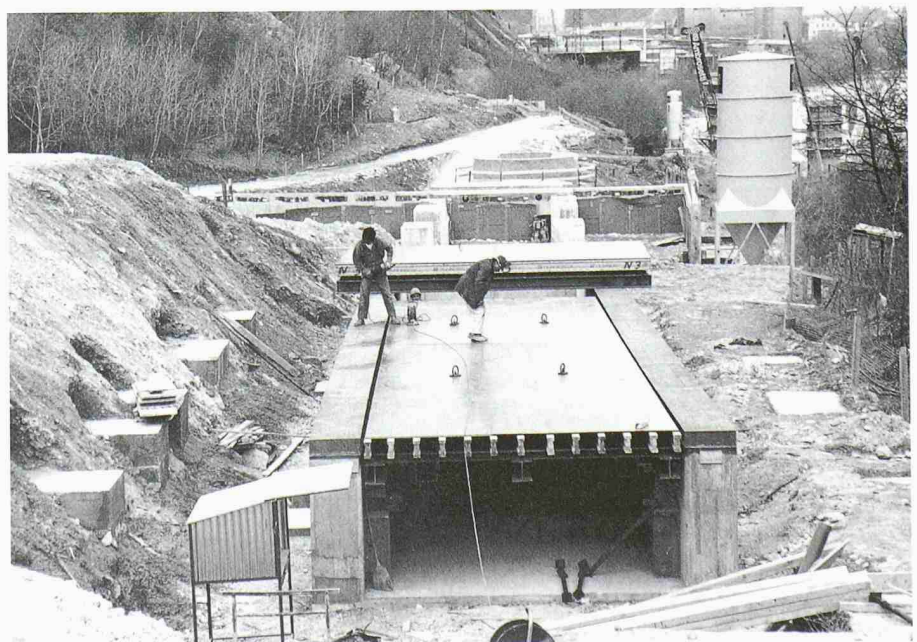
- $\pm 2,5$  mm in Längsrichtung zwischen zwei Lagern
- $\pm 1$  mm in Querrichtung zwischen zwei Lagern auf demselben Pfeiler.

Die Beachtung all dieser Anforderungen konnte mit Hilfe von in den Gleitlagern eingebauten Druckmessern, die die Brücke ständig «wägen», überprüft werden. Die Messwerte wurden alle zwei Sekunden an eine Datenbank übertragen, die eine Visualisierung der Gesamtsituation erlaubte. Die gemessenen Lasten wurden mit den theoretisch berechneten verglichen, wobei letztere wegen der erwähnten Höhendifferenzen der Lager teilweise erhöht oder vermindert wurden. Ein Überschreiten der Grenzwerte löste ein akustisches Signal aus und stoppte den Schubvorgang.

Mit Ausgleichsplatten der Stärken ein, zwei oder vier Millimeter wurden die Lager, die eine zu schwache Reaktion zeigten, unterstopft, um angesichts der konstanten Gesamtlast nicht anderen Lagern zuviel Lastanteile aufzubürden. Bereits nach wenigen Taktschüben wurden diese Kompensationsarbeiten schon ausgeführt, bevor die Grenzwerte erreicht waren, so dass der Schubvorgang nicht mehr unterbrochen werden musste. Die informatisierte Überwachung erwies sich als überaus wirkungsvoll.

3

Schalungsanlage mit Gleitflächen



### Installationen für das Taktschiebverfahren

Zu diesen Installationen gehörten insgesamt deren sechs:

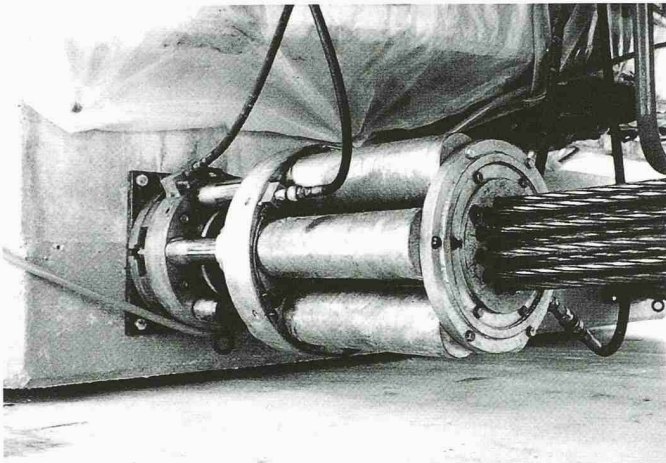
- Schalungsanlage
- Vorschub- und Rückhaltevorrichtung
- Gleitlager
- Seitliche Führung
- Provisorische Stützen
- Vorbauschubel.

### Schalungsanlage

Die Schalungsanlage ist das entscheidende Element für den Erfolg und die Genauigkeit der Ausführung (Bild 3). Sie muss auf den Millimeter genau gefertigt sein und darf sich nicht verformen lassen. Dieses sehr steife Element mit den eingebauten, der geneigten Wendellinie entsprechend vorgeformten Gleitschienen war auf Pfählen gegründet und mit dem Ausgangswiderlager Seite Visp verbunden.

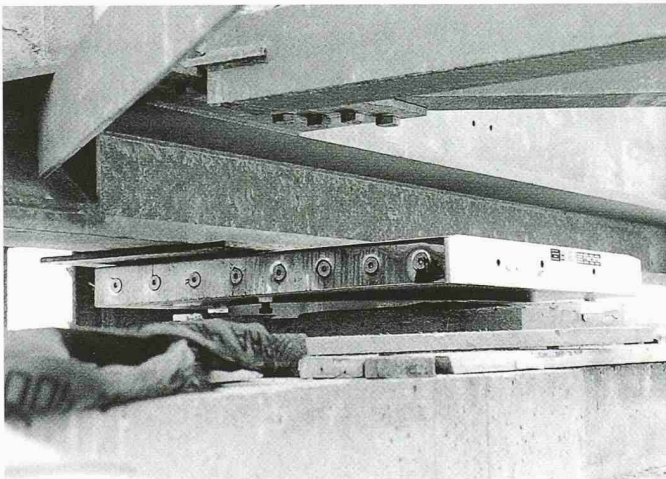
Die Schalungsanlage umfasste alle für die Schalung der äusseren und inneren Flächen notwendigen Elemente (Etappe 1) sowie die Schalung für die Fahrbahnplatte (Etappe 2). Angesichts der variablen Querschnittsgeometrie waren alle Schalungen justierbar. Als Anforderungen an die Schalungsanlage ergaben sich:

- Absolute Setzungen  $< 2$  mm und differentielle Setzungen  $< 1$  mm
- Nivelliergenauigkeit für Gleitschiene  $< 1$  mm



4

Zugpresse für Vorschub

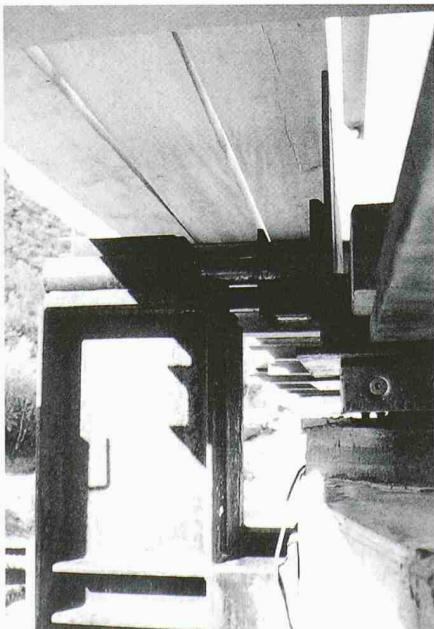


5

Provisorische Gleitlager

6

Seitliche Führung



- Zugkraft von 800 t für ein Gefälle von 3%
- Maximale Rückhaltekraft von 800 t und permanent aktivierte von 100 t
- Automatische Arretierung bei Ausfall des hydraulischen Systems, indem die Kabel mit bei den Pressen angeordneten Keilen verklemt werden.

### Gleitlager

Die Gleitlager auf den Widerlagern, den provisorischen und definitiven Stützen bestanden aus armierten Neoprenplatten von 800×700 mm und 90 mm Dicke. Sie wurden auf ein Kunstmörtelbett gesetzt und von an beiden Enden abgerundeten Gleitplatten aus rostfreiem Stahl überdeckt (Bild 5).

Beim Vorschub wurden Zwischen-gleitplatten aus Teflon (untere Seite mit einem Reibungskoeffizienten unter 1% gegenüber Stahlblech) und aus Neopren (obere Seite mit einem Reibungskoeffizienten über 10% gegenüber Beton) abwechselungsweise eingeschoben, was das Vorrücken der Brücke bewirkte.

### Seitliche Führung

Die seitliche Führung bestand aus Stahlprofilen, die mit einem Gleitkopf bestückt waren. Sie wurden auf dem Pfeilerkopf montiert und sollten das Bauwerk auf der Trajektorie halten, indem sie horizontale Kräfte einleiteten (Bild 6).

Das Konzept dieser Steuerung war Gegenstand vertiefter Studien, um die Steuerung selber sowie deren Positionierung und Aktivierung während des Schubvorgangs zu bestimmen, woraus sich folgendes ergab:

- Schmieren der Gleitschiene vor jedem Schub
- Blockiervorrichtung mit Pressen beim Ausgangswiderlager, um zwischen den Takten die Dilatationseffekte des Bauwerks aus dem Vorschub zu unterbinden.
- Bestückung jedes Pfeilers, aber ohne Aktivierung
- Maximale Kraft, die von einem Steuerelement horizontal aufgebracht wird: 40 t
- Visuelle Kontrolle der Trajektorie
- Aktivierung der Steuerung am Ausgangswiderlager ganz zu Beginn sowie alle rund 250 m mit einem Szenario für jede Verschiebestappe
- Keine Steuerung an den Orten, wo die noch leeren Hüllrohre der parabolisch verlaufenden Längsvorspannung liegen.

### Vorschub- und Rückhaltevorrichtung

Die Vorschub- und Rückhaltevorrichtung wurde mit Hilfe eines Systems realisiert, das aus zwei Paar Hubpressen besteht, die horizontal installiert wurden und in gegenseitiger Abhängigkeit arbeiteten, so dass das Bauwerk immer sowohl vorwärts gezogen als auch gleichzeitig mit einer Kraft von 100 t zurückgehalten wurde (Bild 4). Die aus der Pressvorrichtung resultierenden Kräfte wurden mit Kabeln auf die Unterseite des Kastens übertragen. Der daran befestigte Sattel wurde bei jedem Takt mit verschoben.

Die Vorschubgeschwindigkeit betrug etwa 1 mm pro Sekunde. Die Vorrichtung wies die folgende Charakteristik auf:

### Provisorische Stützen

Die provisorischen Stützen dienten dem Vorschub für die über 36,5 m langen Felder. Sie wurden in zwei Ausführungen errichtet:

- Aus zusammengesetzten Holzelementen, um ein massives Bauwerk für die provisorischen Stützen bei Feldlängen zwischen 45 und 54 m zu schaffen (Bild 7)

- Aus paarweise angeordneten achteckigen Schleuderbetonelementen für die provisorischen Stützen bei Feldlängen von 73 m in der Rhone (Bild 8).

Alle provisorischen Stützen waren für die Ausführung der zweiten Brücke vollumfänglich wiederverwendbar. Für beide Typen galt:

- Horizontale Stabilisierung durch Schrägseile auf den definitiven, genügend steifen Pfeilern
- Setzung unter 10 mm und Möglichkeit der Nachstellung der Gleitlager auf den Pfeilerköpfen
- Pfahlfundation der provisorischen Stützen im Flussbett.

#### Vorbauschnabel

Der Vorbauschnabel verringerte die Kraglänge der Brücke vor dem Erreichen des nächsten Pfeilers (Bild 9). Er übernahm die Zugkräfte und musste daher am Ende des Brückenträgers mit Vorspannkabeln und Diwydagstangen befestigt werden. Er war 27 m lang und musste die folgenden Bedingungen erfüllen:

- An die geneigte Wendelinie angepasste Geometrie
- Die dem Unternehmer vorgeschriebene Biegesteifigkeit
- Hydraulische Vorrichtung in der Spitze zum Absetzen auf Pfeilern
- Anlieferung in drei Teilstücken wegen Demontage im Gêronde-Tunnel.

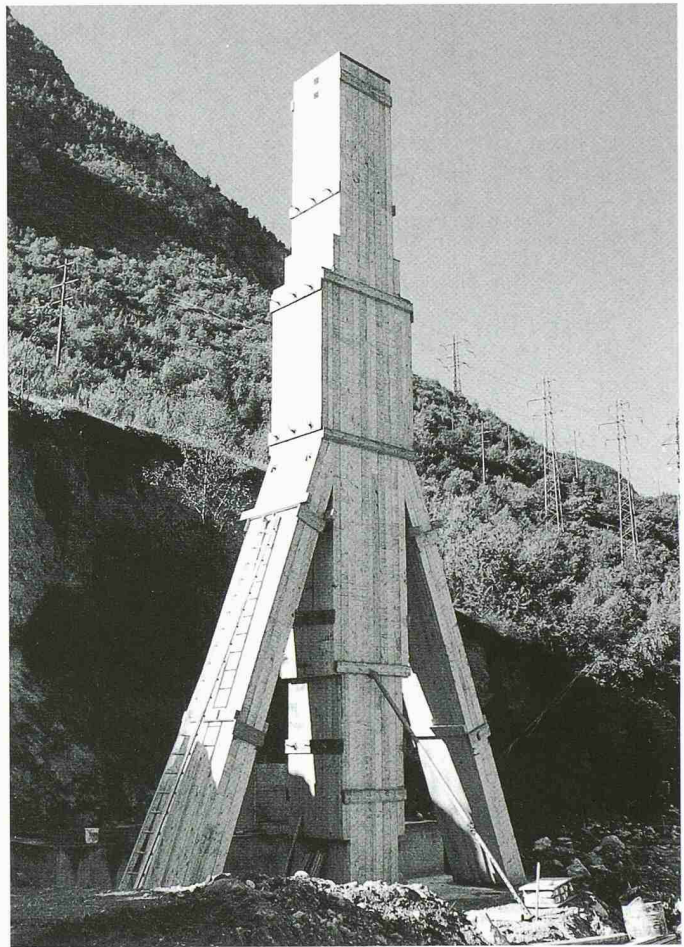
#### Resultate der Ausführung

Der Vorschub der Brücken wurde bei einer Länge von über 720 m mit einer Abweichung gegenüber der theoretischen Position von weniger als 20 mm erfolgreich abgeschlossen. Dieses Resultat war nur wegen der grossen Präzision, der Steifigkeit und Unverformbarkeit der Schalungsanlage sowie dank der hohen Schalungsgenauigkeit und vor allem der Kompetenz der Ausführungssequipe möglich.

Die durchgehende Messung der Lagerreaktionen war für die Ausführung sehr wertvoll und erlaubte das Einhalten der gesetzten Grenzen. Sie liess auch die Beanspruchung aus den auf das Bauwerk wirkenden Kräften beherrschen und sicherte in der Folge eine Limitierung bzw. das Ausbleiben von Rissen, so dass die theoretische Steifigkeit des Querschnitts und die Dauerhaftigkeit des Bauwerks gewahrt blieben.

Weder die vorgeschriebenen Werte für den Vorschub noch für die Rückhaltekräfte wurden überschritten, was von einem guten Funktionieren der gesamten Vorschubeinrichtung zeugt.

7  
Provisorische Stütze  
aus Holz



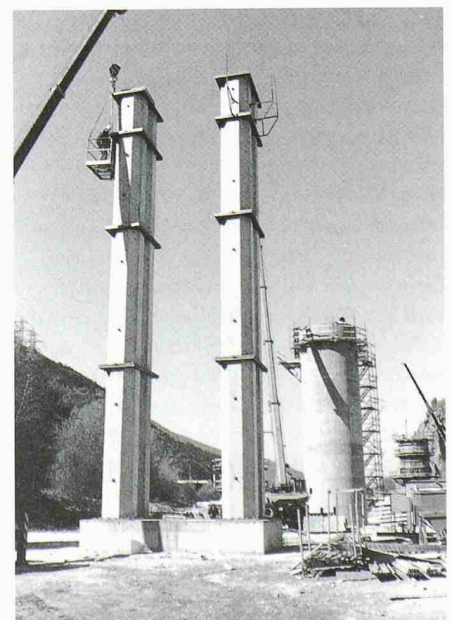
8  
Provisorische Stütze aus Schleuderbeton

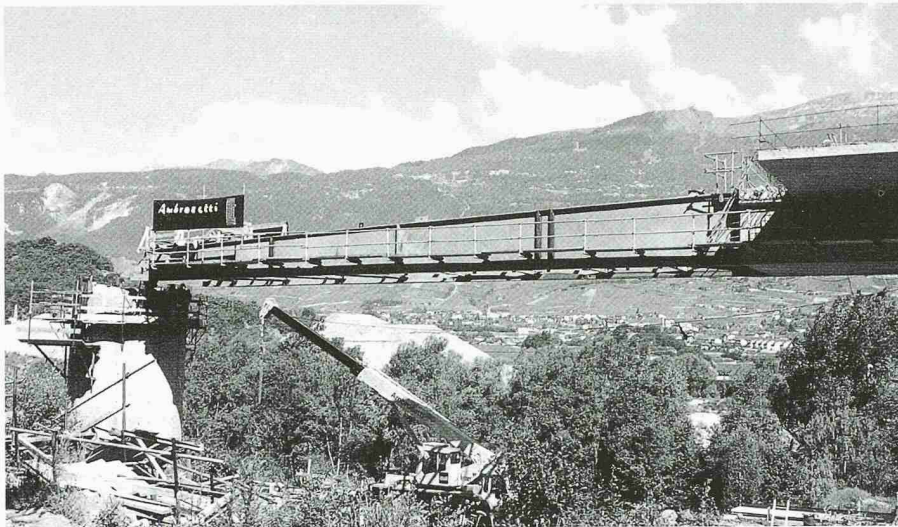
Insgesamt waren drei für solche Bauwerke typische Zwischenfälle zu verzeichnen, die durch das fehlerhafte Positionieren der Lager entstanden. Jedesmal mussten die Arbeiten unterbrochen werden, um die Brücke anzuheben und die Gleitplatten umzudrehen und in der korrekten Position wieder einzubauen.

Abgesehen von einer Setzung unter einer der provisorischen Stützen, die aus lokal sehr schlechten Baugrundverhältnissen resultierte, erwiesen sich die provisorischen Stützen und der Vorbauschnabel als sehr wirkungsvoll. Das erwähnte Problem wurde mit dem Einbau von Mikropfählen gelöst.

#### Folgerungen

Obwohl das Bauwerk wegen seiner komplexen Geometrie, seines stets variablen Querschnitts, seiner unterschiedlichen Spannweiten und wegen des Fehlens der





Auskragung auf der Unterseite des Kastens nicht zum Vornherein für das Takt-schiebeverfahren prädestiniert schien, ermöglichte die notwendige Sorgfalt, die detaillierte Beschreibung der gewünschten Ausrüstungen und das Vorschreiben strenger Anforderungen bei der Aus-

schreibung - vor allem aber ein kompetentes und motiviertes Team - dennoch seine Ausführung. Wie bei jedem grossen Bauwerk hängt der Erfolg von der vollständigen Zusammenarbeit zwischen Bauherrn, Planern, Experten und Ausführenden ab.

Stefan L. Burtscher, Luis Dorfmann, Wien

## Anisotrope Gummilager für die Erdbebenisolation von Brücken

### Versuche am Rütteltisch

**Die Erdbebenisolation ist eine effektive Methode, die Sicherheit von Bauwerken zu erhöhen. Um die dynamischen Charakteristiken von Brücken besser berücksichtigen zu können, wurden bewehrte Elastomerlager so modifiziert, dass sie unterschiedliche Steifigkeiten in den beiden horizontalen Hauptrichtungen aufweisen. Unter realistischen Bedingungen wurde ein Brückenmodell im Massstab 1:6 mit herkömmlichen und den anisotropen Lagern getestet. Als Belastung wurden harmonische Schwingungen, das Northridge-Beben (1994) und ein Erdbeben aus Taiwan verwendet.**

Um über die Erdbebensicherheit eines Bauwerks etwas aussagen zu können, muss das Tragwerksverhalten bei Beben-

erregungen untersucht werden. An Standorten hoher Seismizität oder bei Bauwerken, die besonderen Sicherheitsansprüchen im Katastrophenfall genügen müssen, sind oft besondere Konstruktionsprinzipien notwendig. Eine effiziente Methode hierfür stellt die Erdbebenisolation dar [1]. Das Prinzip ist einfach und besteht im Wesentlichen darin, dass das gesamte Bauwerk durch Isolatoren vom Boden entkoppelt wird. Es entsteht dadurch ein neues System, und das Bauwerk verhält sich nahezu wie ein starrer Körper. Die Kräfte aus den Bodenbewegungen werden in etwa gleichmässig über die Höhe verteilt, und einzelne Bauteile werden weniger stark beansprucht. Typische Beschleunigungen bei Erdbeben haben vorherrschende Schwingungszeiten von 0,1 bis 1 Sekunde (10 bis 1 Hz) und sind am grössten bei Schwingungszeiten von 0,2 bis 0,6 Sekunden. Bauwerke mit Eigenfre-

### Am Bau Beteiligte

Bauherr:  
Etat du Valais, DTEE SRCE, section routes nationales Valais Romand

Planer:  
Communauté d'étude pour le viaduc Ile Falcon: SD Ingénierie Dénériaz et Pralong Sion SA (Felderführung), Bureau d'ingénieurs SA, Sierre, M+S Andermatten SA, Sion, Vincent Mangeat SA, Nyon (architecte)

Experte:  
Prof. Renaud Favre, EPF Lausanne

Unternehmen:  
Ambrosetti SA, Genève, Zschokke SA, Sion

9

Vorbau schnabel

Adresse des Verfassers:

Claude Pralong, dipl. Ing. ETHZ SIA, SD Ingénierie SA, Place Chauderon 3, 1003 Lausanne

quenzen in diesem Bereich sind besonders gefährdet.

Ein weiterer Vorteil der Erdbebenisolation ist, dass die Eigenfrequenzen des Bauwerks verändert und damit Resonanzprobleme vermieden werden können. Die Sicherheit eines Gebäudes wird dadurch wesentlich erhöht. Die höheren Kosten für die Erdbebenisolation schützen Menschenleben und amortisieren sich bei zukünftigen Erdbeben. Seit 30 Jahren werden hauptsächlich Gummilager als Isolatoren für die Erdbebenisolation verwendet [2]. Diese Lager wurden schon in vielen Labors statisch und dynamisch untersucht. Bei den letzten grossen Erdbeben in Kalifornien und Japan wurden sie auch hohen Erdbebenlasten ausgesetzt, wobei wiederum festgestellt werden konnte, dass das Prinzip der Erdbebenisolation gut funktioniert und dass sich Gummilager als Isolatoren gut eignen.

Im Allgemeinen sind Gummilager so aufgebaut, dass sie eine hohe vertikale und eine niedere horizontale Steifigkeit aufweisen. Dazu werden Stahlplatten horizontal zwischen die einzelnen Gummischichten einvulkanisiert. Die Stahlplatten wirken als Zugarmierung und erhöhen die vertikale Steifigkeit, beeinflussen die hori-