Durch die Pfeiler des Pont Bessières: die Überquerung der Rue St.-Martin fordert Brückenbau und Bergbau gleichzeitig

Autor(en): **Bisetti, Aldo**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **131 (2005)**

Heft 42: **Metro Lausanne**

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-108659

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Aldo Bisetti

Durch die Pfeiler des Pont Bessières

Die Überquerung der Rue St-Martin fordert Brückenbau und Bergbau gleichzeitig

Beim Pont Bessières, einem bald hundertjährigen historischen Bauwerk, ist die Beherrschung der durch die Bauarbeiten der Metro m2 induzierten Verformungen von besonderer Bedeutung, denn seine Pfeiler büssen durch den Einbau des Metro-Trassees einen grossen Teil ihres Querschnitts ein.

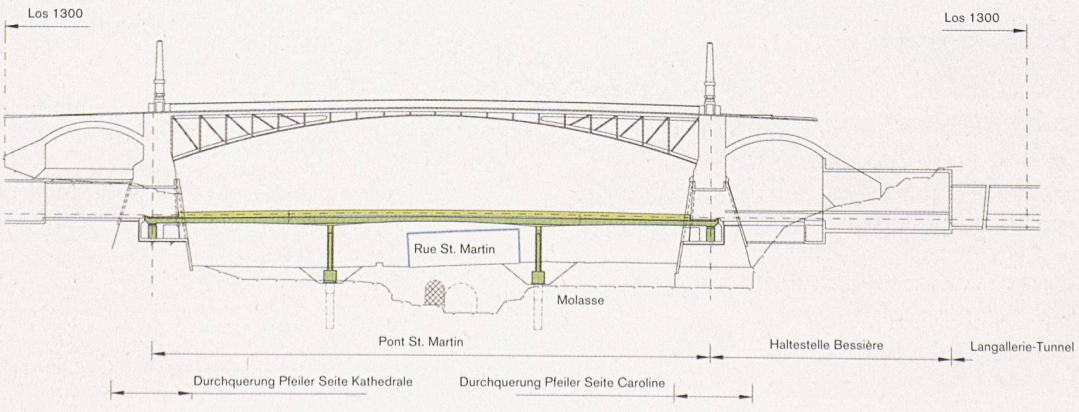
In der Situation wird das Trassee der m2 bestimmt von der Durchquerung der Pfeiler des Pont Bessières und von der Notwendigkeit, den anschliessenden Tunnel unter der Rue de Langallerie anzulegen, um den Gebäudeperimetern auszuweichen. Im Aufriss geben das Lichtraumprofil unter dem Pont St-Martin, der Einbau der Haltestelle Bessières unter dem Randbogen der bestehenden Brücke sowie die geringe Lockermaterialüberdeckung über dem Tunnel de Langallerie den Trasseeverlauf vor.
Die geologischen Bedingungen sind ungünstig, da sich lediglich die Fundamente des Pont St-Martin und ein begrenzter Abschnitt des Tunnels in der Molasse befinden. Beim darüber liegenden Lockermaterial handelt es sich um umgeschichtete Moränen und Aufschüttungen von durchschnittlicher Qualität. Ein derartiger Baugrund weist eine starke Heterogenität und eine ausgeprägte Verformbarkeit auf.
Der Zugang zur Baustelle ist erschwert, und die Aufrechterhaltung des Verkehrs während der Bauarbeiten ist unumgänglich. Ausserdem sind die Bauwerke voneinander abhängig: Der Tunnelbau ist den Arbeiten für die Haltestelle nachgeordnet, und die Öffnung der Pfeiler des Pont Bessières bestimmt die Fertigstellung des Pont St-Martin.

Äussere Zwänge, die Art der Bauwerke, die Geologie und die Logistik im städtischen Umfeld verleihen dem Projekt eine hohe Komplexität. Überdies stellt die Durchquerung der Pfeiler des Pont Bessières ein heikles Problem dar, für dessen Lösung nur auf spärliche Arbeitserfahrungen zurückgegriffen werden kann.

Projektübersicht

Das Los 1300 umfasst verschiedene Bauwerke (Bild 1). Auf der der Kathedrale zugewandten Seite der Brücke befinden sich:
- ein relativ kurzes unterirdisches Bauwerk, das den Durchgang unter dem Widerlager in der Verlängerung des Viret-Tunnels ermöglicht sowie die Verbindung mit dem Los 1200 sicherstellt
- eine kleine gedeckte Galerie, die die Wiederherstellung des besonderen räumlichen Eindrucks unter dem Randbogen der alten Brücke gewährleistet
- eine grosse Öffnung im Mauerwerk und in der Molasse, welche die Durchquerung des Pfeilers ermöglicht.

17m unter dem Hauptbogen des Pont Bessières überquert der Pont St-Martin die gleichnamige Strasse in geringer Höhe. Sein Bau ermöglicht gleichzeitig die Neugestaltung der Erschliessung der angrenzenden Stadtgebiete (Bild 2).
Am andern Ende des Pont Bessières befindet sich im Pfeiler Seite Caroline ebenfalls eine grosse Öffnung als Zugang zur Haltestelle Bessières. Diese besteht aus einem offenen Teil und einem unterirdischen Abschnitt. In geringer Tiefe unter der Rue Langallerie, zwischen den Gebäuden, die beidseits die Fahrbahn säumen, stellt der Langallerie-Tunnel die Verbindung zum Los 1400 her.



Pont St-Martin

Dieses Bauwerk mit einer Länge von insgesamt 85.7m ist als monolithischer, schwimmend gelagerter Durchlaufträger ausgebildet. Die Fahrbahnplatte wird mit einer konventionellen Schalung erstellt. Die Proportionen der 32 m breiten Mittelöffnung entsprechen der Stahl-Vollwandstruktur des Pont Bessières. Die Auflagerkräfte auf die beiden begehbaren Widerlager werden auf die Pfeilerachsen der bestehenden Brücke übertragen. Der Einsatz eines schwimmenden Brückenträgers erlaubt es, die Interaktionen mit der Struktur des Pont Bessières auf ein Mindestmass zu begrenzen.

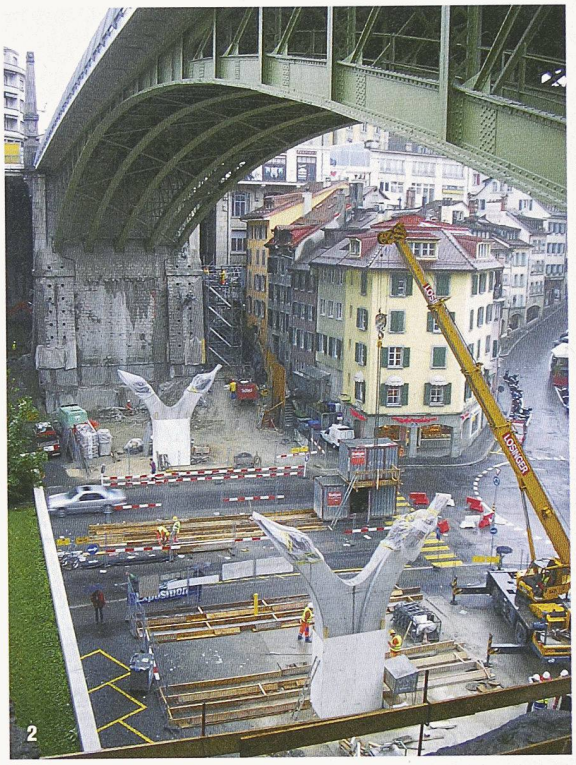
Der Querschnitt des Fahrbahnträgers ist ein Trog mit variabler Trägheit, dessen Seitenwände integrierende Bestandteile der Tragkonstruktion sind, sodass sich die statische Höhe des Bauwerks merklich verringern lässt. Vor den Pfeilern des Pont Bessières sind die Seitenwände unterbrochen, um den für ihre Durchquerung erforderlichen Ausbruchquerschnitt zu minimieren.

Die Gestaltung der Pfeiler wird von den Anforderungen diktiert, die beanspruchte Grundfläche möglichst klein zu halten und dem Bauwerk eine gute Transparenz in Längsrichtung zu verleihen. Die Aufweitung an den Pfeilerköpfen korrespondiert mit den leichten Vouten der Fahrbahnplatte und versinnbildlicht eine ausgewogene Übertragung der Kräfte. Die Pfeiler sind auf je zwei in die Molasse eingebetteten, verrohrten Bohrpfählen (DN 1.3 m) von 7 m Länge fundiert.

Haltestelle Bessières

Die insgesamt 33 m lange Haltestelle ist in zwei unterschiedliche Zonen aufgeteilt (Bild 3). Der erste, offene Teil liegt unter dem bestehenden Randbogen des Pont Bessières und umfasst Treppen, Lifte, eine Unterführung und eine Passerelle über den Gleisen, die die Zugänglichkeit der Haltestelle gewährleisten. Ein zweiter, unterirdischer Teil, der lediglich die Bahnsteige beherbergt, wird im Widerlager des Pont Bessières, im Lockermaterial und in der Molasse unter dem Carrefour Caroline ausgebrochen.

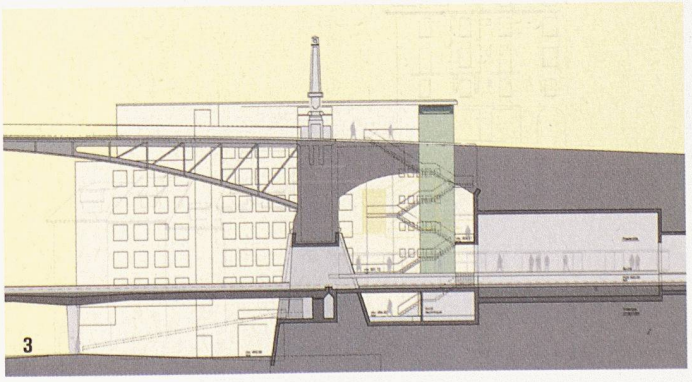
Der Bau des zweiten Teils ist heikel, da er einen wesentlichen Teil des Widerlagers des Pont Bessières beansprucht und im hintersten Abschnitt auf Auffüllmaterial von mittelmässiger Qualität stösst. Diese Gegebenheiten erfordern die vorgängige Errichtung eines Jetgewölbes sowie einen Vortrieb mit Teilausbruch. Im



Gegensatz zu den üblichen Ausführungen ist das Jetgewölbe zylindrisch und wird in einem Zug auf einer Länge von 21 m vor Beginn der Ausbrucharbeiten erstellt. Es besteht aus mit Zementschlämme stabilisierten Metallrohren und aus mit Reaktionsharz stabilisierten selbstbohrenden Bolzen.

Im Schutz des Jetgewölbes können die Ausbrucharbeiten für zwei Seitenstollen mit dem Schrämmbagger beginnen. Der laufende Ausbau dieser Stollen erfolgt mit gegossenem Stahlbeton für die Aussenschalen und Faserspritzbeton für die provisorischen Innenschalen. Mit dem Ausbruch der Kalotte wird dann der Gewölbeausbau der Station geschlossen, worauf der Strossenausbruch den Querschnitt vollständig freilegt. Jede Ausbruchphase beinhaltet das Aufbringen einer den geologischen Bedingungen angepassten Sicherung der Ortsbrust.

Die Auskleidung der Haltestelle besteht aus einem Stahlbetonring. Die gewölbte Sohle stellt die Geleisestabilität sowie den Ausgleich des durch Wasser und



1
Ansicht der Kunstbauten der Metro m2 im Bereich des Pont Bessières (Plan: GVH)

2
Übersicht der Baustelle für den Pont St-Martin unter dem Pont Bessières, Stand Oktober 2004 (Bild: Maurice Schobinger/MLO SA) Das Titelbild des Hefts zeigt den Bauzustand im Sommer 2005 mit der festen Holzschalung für die Fahrbahnplatte

3
Schematische Ansicht der Haltestelle Bessières mit dem neuen Pont St-Martin, links (Plan: GVH)

Quellung entstehenden Drucks sicher. Der innere Mantelring ist mit einer Abdichtung versehen, die die Kalotte und die Sockelmauern abdeckt, und ein Drainagesystem sammelt das Bergwasser und leitet es ab.

Langallerie-Tunnel

Der Tunnel weist auf einer Gesamtlänge von 136 m einen geraden, 56 m langen Abschnitt beim Ausgang der Haltestelle und einen leicht gekrümmten Abschnitt von 80 m auf. Das Längsgefälle des Bauwerks ist grösstenteils gleich null und geht bei der Annäherung an das Los 1400 in einen vertikalen Radius von 800 m über.
Da der Verkehr nicht erheblich beeinträchtigt werden darf und ein äusserst dichtes Netz von Werkleitungen vorhanden ist, kamen von vornherein keine Varianten in offener Baugrube, sondern nur eine bergmännische Ausführung in Frage. Der Bau des Tunnels erfolgt allerdings unter schwierigen geologischen Bedingungen, da sein Querschnitt nahezu vollständig in Lockermaterial liegt, mit Ausnahme eines kurzen Abschnitts, der die Molasse erreicht. Nebst den Schwierigkeiten in Zusammenhang mit der Beschaffenheit des Baugrunds (schwache Kohäsion und erhöhte Verformbarkeit) erweisen sich die Ausbrucharbeiten auch auf Grund der geringen Überdeckung und der zahlreichen vorhandenen Gebäude als komplex.
Infolge dieser ungünstigen Voraussetzungen – in Kombination mit der unerlässlichen Beherrschung der Setzungen an der Oberfläche – müssen zuerst zwei Fussstollen vorgesehen werden, in denen die Fundamente für den Kalottenausbau erstellt werden. Diese verbreiterten Streifenfundamente mit hoher Steifigkeit werden auf der gesamten Tunnellänge durchlaufend erstellt. Sie sorgen für eine spürbare Reduktion der Spannungen und erlauben es, problematische Zonen zu durchqueren, ohne dass vermehrt Setzungen auftreten. Die Erstellung der Fussstollen auf der gesamten Länge bietet zudem eine willkommene Möglichkeit für zusätzliche Sondierungen, insbesondere im Hinblick auf das heikle Problem der Stabilität der Ortsbrust.
Nach Erstellung der beiden Fussstollen erfolgt der Ausbruch in Teilquerschnitten (Kalotte, Strosse, Sohle) im Schutz eines Jetgewölbes, das insbesondere die Setzungen minimiert und die Stabilität der Ortsbrust verbessert. Die Ausbruchetappen werden den geologischen Verhältnissen angepasst, und ein konventioneller Ausbau (schwerer Ausbau, Bewehrungsnetze, Gussbeton) erfolgt im Takt mit dem Vortrieb. Eine Ortsbrustsicherung ist für jede Ausbruchphase vorgesehen.
Die Auskleidung besteht aus einem Stahlbetonring, der von einer gewölbten, bewehrten Betonsohle geschlossen wird. Vorgesehen sind auch ein Drainagesystem, eine konventionelle Abdichtung von Gewölbe und Sockelmauern (PVC-Bahnen) und ein innerer Mantelring aus Schalbeton.

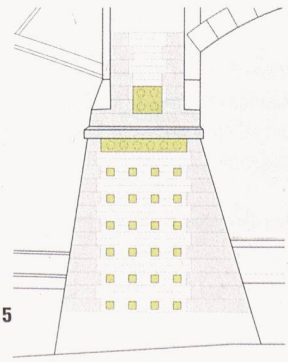
Durchquerung der Bessières-Pfeiler

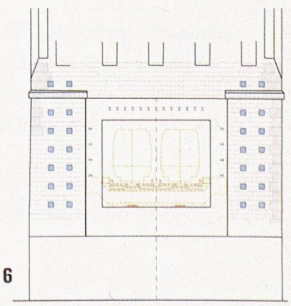
Die beiden Pfeiler Caroline und Cathédrale werden mit derselben an die lokalen Gegebenheiten angepassten Methode durchquert. Die Pfeiler bestehen aus einer Mauerwerksverkleidung aus Quadersteinen und einem Kern aus Bruchsteinsplitt, Steinen und Mörtel, der Hohlräume aufweisen kann. Diese Materialien weisen keine nennenswerten Zugfestigkeiten auf.
Die angewendete Ausbruchmethode beruht auf den für den Bergbau entwickelten Prinzipien: So sieht sie eine

4
Einbau der Spannstangen in Längsrichtung vor Beginn der Ausbrucharbeiten am Pfeiler Seite Caroline (Bild: Maurice Schobinger / MLO SA)

5
Verstärkung des Fussbereichs der Pfeiler in Querrichtung mit Querankern (oben) und Spannstangen (Pläne: GVH)

6
Verstärkung des Fussbereichs der Pfeiler in Längsrichtung mit Spannstangen und verankerten Profilen um die Öffnung





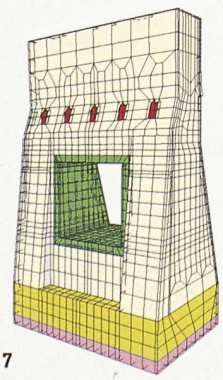
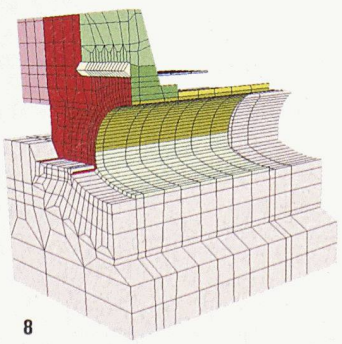
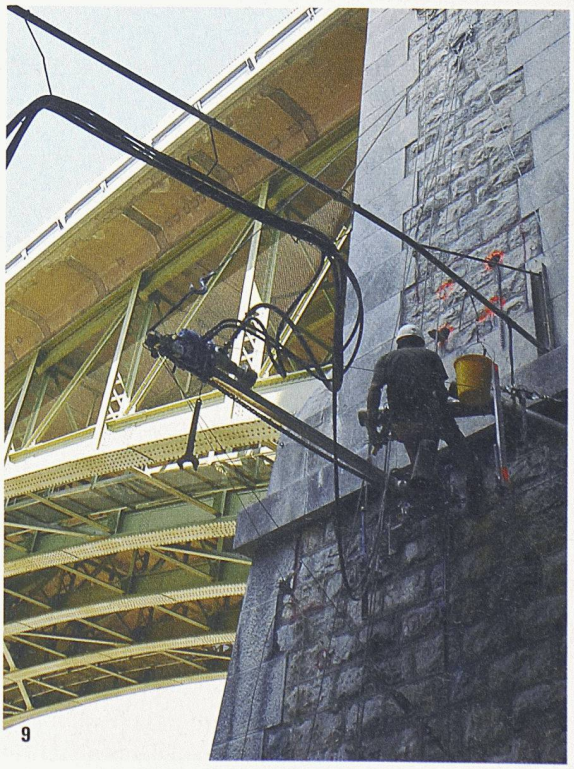
vorgängige Pfeilerverstärkung, einen etappenweisen Ausbruch und einen sukzessiven Ausbau vor.
Die Pfeilerverstärkung erfolgt mit im Mauerwerk verankerten Spannstangen, Trägern und Profilen (Bilder 4 und 6 bis 9). Die Queranker – zehn Kabel 16T13S über der Öffnung – stellen die Aufnahme der von der Öffnung ausgehenden Ablenkkräfte sicher. Quer- und Längsstäbe mit einem Durchmesser von 32 mm werden in den Restpfeilern auf jeder Seite der Öffnung eingebaut, um eine horizontale Ringbewehrung herzustellen und die Scherfestigkeit des Mauerwerks zu erhöhen. Rund um die Ausbruchöffnung eingesetzte Metallprofile (HEB, Rohre) wirken wie ein Rohrschirm.
Die metallischen Verstärkungselemente werden mittels Injektionen im Mauerwerk verankert. Die Spannstangen sind vorgespannt (etwa 0.5 ftk) und mit einer elektrischen Isolation versehen. Die Träger sind leicht vorgespannt, wobei nur die Längselemente elektrisch isoliert sind. Die Erdung der Querträger geschieht über den Anschluss an die Bewehrung des Betonrahmens.
Der Ausbruch in den Pfeilern und die Erstellung des Stahlbetonrahmens erfolgen sukzessive, beginnend mit den steifen und stark bewehrten Randelementen. Der im Schutz des Rohrschirms erstellte Mittelteil wird anschliessend unterteilt und der steife, stark längsbewehrte Betonrahmen schrittweise fertig gestellt. Zum Schluss werden die Widerlagerbank und der Inspektionszugang im Innern des Betonrahmens erstellt. Am 27. Septenber 2005 ist auch der zweite Pfeiler, jener auf der Seite Kathedrale, durchschlagen worden.
Die Zugankerköpfe sind in eine Auflagerbank aus Beton eingegossen. Dies erlaubt es, die Kräfte im Mauerwerk zu verteilen sowie bei der Installation entstandene Ungenauigkeiten auszugleichen und die Dauerhaftigkeit der Verstärkungselemente aus Metall sicherzustellen. Die Ankerköpfe werden mittels vorgefertigter Polymerbetonplatten geschützt. Die Anordnung dieser sichtbaren Verankerungselemente aus Beton ist regelmässig und auf das Gesimse und die Verbindung der Eckstein abgestimmt.

Modellrechnung und Ausführungskontrolle

Für die Beurteilung der strukturellen Sicherheit der Pfeiler wurden zwei Rechnungsmodelle verwendet. Beim ersten handelte es sich um ein einfaches Modell aus Druckstäben (Mauerwerk) und Zugstangen (metallische Verstärkungselemente), beim zweiten um ein 3-D-Modell aus finiten Elementen zur Simulation der verschiedenen Bauphasen (Bild 7). Anhand des zweiten Modells liessen sich auch der vom Ausbruch verursachte Spannungsanstieg und die zugehörigen Verformungen abschätzen.
Für die Haltestelle und den Tunnel dienten verschiedene zwei- und dreidimensionale Modelle aus finiten Elementen als Grundlage für die Abschätzung der Setzungen an der Oberfläche (Bild 8).
Die Modelle haben letztlich dazu beigetragen, die Verformungen abzuschätzen, die den Pont Bessières während der Bauarbeiten der m2 betreffen. Die Analyse ergab, dass die Verformungen beim Stahl-Hauptbogen und beim gemauerten Randbogen zulässig sind. Ebenso diente sie als Basis für den Kontroll- und Überwachungsplan, der ab Baubeginn zur Anwendung kommt.

Aldo Bisetti, dipl. Bauing. EPF/SIA
GVH Tramelan SA, Rue de la Paix 30,
2720 Tramelan

7
FE-Modellierung des Pfeilers Seite Caroline mit der neuen Öffnung, darüber die Auflager der 5 Bogen-Längsträger des bestehenden Pont Bessières (Pläne: GVH)

8
FE-Modellierung der Haltestelle Bessières am Übergang vom offenen zum bergmännisch erstellten Teil

9
Einbau der Spannkabel für die Quervorspannung im Pfeiler Seite Caroline (Bild: Maurice Schobinger/MLO SA)