

**Zeitschrift:** Tec21  
**Herausgeber:** Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein  
**Band:** 131 (2005)  
**Heft:** 42: Metro Lausanne

**Artikel:** Setzungen vermeiden: vor Baubeginn am St.-Laurent-Tunnel mussten die Fundamente des Grand-Pont verstärkt werden  
**Autor:** Tappy, Olivier / Goussi, Joanna  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-108658>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 17.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

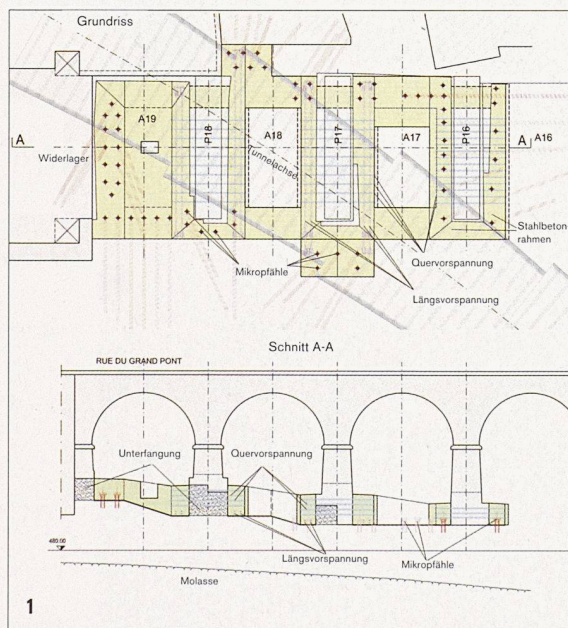
# Setzungen vermeiden

Vor Baubeginn am St-Laurent-Tunnel mussten die Fundamente des Grand-Pont verstärkt werden

**Im Zentrum von Lausanne führt das Trassee der Metro m2 unmittelbar unter dem Grand-Pont, einem städtischen Wahrzeichen, hindurch. Die Beherrschung der differentiellen Setzungen seiner Brückenpfeiler mittels 60 Hydraulikzylindern auf Mikropfählen ermöglichte den Vortrieb des St-Laurent-Tunnels, ohne das über 150-jährige Bauwerk in Mitleidenschaft zu ziehen.**

Der St-Laurent-Tunnel wird die künftige Haltestelle Place de l'Europe mit jener der Place de la Riponne verbinden. Er verläuft in geringer Tiefe, teilweise ganz in der Molasse und teilweise in einem gemischten Querschnitt, bei dem die Kalotte in der Moräne und die Sohle in der Molasse ausgebrochen wird. Das Normalprofil umfasst einen Ausbau aus Faserspritzbeton von 35 cm Stärke, der durch Stahlfachwerkbogen im Abstand von 1 m verstärkt ist, sowie eine 35 cm dicke, in Etappen von 8 m Länge gegessene Betonsohle.

Der Angriff erfolgt im rechten Winkel zur Stützmauer der Route Bel-Air (Bild 2). In diesem Bereich sieht das Projekt einen Ausbruch im Schutz von vier Jetgewölbten auf einer Gesamtlänge von rund 40 m vor. Etwa 15 m vom Südportal entfernt kreuzt das Tunneltrassee den Grand-Pont und unterfährt das nordwestliche Widerlager und die ersten drei Pfeiler entlang der Route Bel-Air (Bild 1). Die Pfeiler sind in der Moräne mit einem Vertikalabstand von rund 2.50 m zum Tunnelprofil fundiert.



1

**Grundriss und Ansicht des Unterfangungssystems für die Pfeiler 16, 17 und 18 des Grand-Pont (Plan: Pigué + Associés)**

2

**Portal Place de l'Europe des St-Laurent-Tunnels, unter den Pfeilern des Grand-Pont. Bauzustand ca. Oktober 2004 (Bild: Maurice Schobinger / MLO SA)**

3

**3-D-Modell des Systems Grand-Pont / St-Laurent-Tunnel / Mikropfähle (Bild: Pigué + Associés)**

4

**Erstellung der Ortsbetonträger um die Pfeilerfüsse: Einbau der Spannstäbe, rechts unten (Bild: Maurice Schobinger / MLO SA)**

## Problematik Setzungen

Berechnungen mit finiten Elementen haben bestätigt, dass die strukturelle Sicherheit des Tunnels bei der Unterquerung des Grand-Pont ohne spezielle Massnahmen in Bezug auf dessen Fundamente gewährleistet ist. Die Gebrauchstauglichkeitsprüfung zeigte jedoch, dass die Verformungen der Brücke erheblich sind und namentlich differenzielle Setzungen in der Grössenordnung von 50 mm auftreten, was bei einem Mauerwerk dieser Art völlig unzulässig ist.

Deshalb wurde versucht, die differentiellen Setzungen auf Minimalwerte zu beschränken. Dazu musste ein System konzipiert werden, das die Lastabtragung der Brücke in die Tiefe auf beiden Seiten des Tunnels erlaubt. Nach seiner Fertigstellung sollte es mit diesem System auch möglich sein, die Brücke während des Tunnelbaus im Falle von übermässigen Setzungen wieder anzuheben.

## Individuelle Lösung

Das gewählte System beruht auf insgesamt 60 Mikropfählen, die um die Fundamente der Pfeiler 16, 17 und 18 sowie des Widerlagers angeordnet sind. Nach dem Aufbringen der Lasten durch Hydraulikzylinder müssen diese Mikropfähle das Eigengewicht der Brücke sowie die horizontalen Schübe der Auffüllungen hinter dem Widerlager und dem Brückenbogen 19 abtragen.



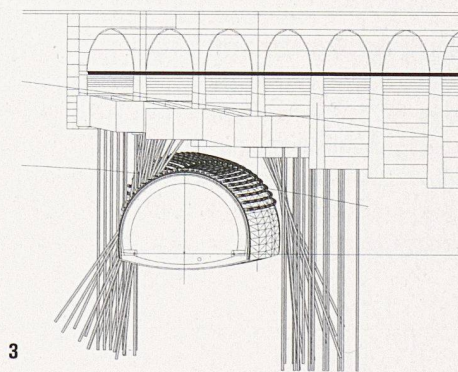
Die Mikropfähle sind – je nach ihrer Position und ihrem Beitrag zum vertikalen und horizontalen Gleichgewicht der Brücke – in 13 separat überprüfbar Gruppen zusammengefasst.

Die Köpfe der mit flachen Hydraulikzylindern bestückten Mikropfähle sind um die Pfeiler herum in einem Trägerrahmen einbetoniert. Die Lastübertragung von der Brücke auf die Mikropfähle erfolgt durch Reibung zwischen den Betonträgern und den Pfeilerwänden. Diese Reibung wird durch den Einbau von Spannstäben sichergestellt (Bild 4).

Um zu verhindern, dass das hauptsächlich aus losen Kalkbruchsteinen bestehende Füllmaterial der Pfeiler nachgibt, was zur Entspannung der Spannstäbe führen könnte, werden mögliche Leerräume mit Zementinjektionen verfüllt.

Die Träger sind untereinander durch Longarinen aus Stahlbeton verbunden. Dadurch entsteht ein Rahmen, der im Falle eines lokalen Versagens die Kraftübertragung von einer Mikropfählgroupe auf die nächste sicherstellt. Die Lage der beiden Bauwerke zueinander (Bild 3) bedingt, dass die Abstände und die Neigung der Mikropfähle variabel sind. So mussten beispielsweise die Mikropfähle der Pfeiler 17 und 18 an deren Extremitäten konzentriert werden, sodass die Kraftübertragung auf die Mikropfähle durch die Biegung der Verbindungsträger erfolgt.

Während der Ausführung wurde festgestellt, dass das effektive Niveau der Pfeilerfundamente höher liegt, als



3



4

es in den Werkplänen des bestehenden Bauwerks angegeben war, was eine Verringerung der statischen Höhe der Betonträger erforderlich machte. Diese Reduktion wurde durch den Einbau von Vorspannkabeln kompensiert, um Unterfangungen zu vermeiden.

### Die erste Belastung

Eine erste Belastung der Hydraulikzylinder erfolgte im Mai 2004 vor Beginn der Ausbrucharbeiten für den Tunnel. Sie wurde etappenweise und entsprechend der bei der Berechnung geschätzten Nutzlasten so durchgeführt, dass die horizontalen Bauteile ständig im Gleichgewicht blieben.

Jede Etappe der Belastung der Hydraulikzylinder war von einem Nivellement der Brücke und der Betonkonstruktion begleitet. 23 Kontrollpunkte waren an den Wänden der Pfeiler und am Widerlager des Grand-Pont angebracht (Bild 5). Um eventuelle Verschiebungen zwischen der Brücke und der Stahlbetonkonstruktion bei der Belastung aufzuzeigen, wurden weitere 23 Kontrollpunkte direkt an der Betonkonstruktion angebracht. Das Ziel war, die Brücke vom Fundamentplanum abzuheben, sodass sie vollständig auf den Mikropfählen auflag. Dabei sollte für jede Gruppe eine positive vertikale Verschiebung (Anheben) der Kontrollpunkte auf dem Grand-Pont um mindestens 0.5 mm erreicht und dann die Belastung nicht weiter erhöht werden.

Die erste Belastung führte zu einem durchschnittlichen Anheben der Brücke um etwa 1 mm. Dabei konnten die Berechnungshypothesen in Bezug auf die Vertikallasten und die Schübe der Auffüllung hinter der Brücke bestätigt werden.

### Überwachung des Bauwerkverhaltens

In der Zeit zwischen Mai 2004 und dem Beginn der Ausbrucharbeiten für den Tunnel im August 2004 sank der Druck in den Hydraulikzylindern um rund 30%. Dieser Druckabfall erklärt sich durch die elastische Entspannung des Baugrunds und durch die teilweise Aufnahme des Brückengewichts durch die restliche Brückenkon-

struktion. Die Verschiebungswerte blieben jedoch im positiven Bereich, und es war keine zusätzliche Belastung erforderlich, um vor dem Ausbruch des Tunnels den Druck in den Hydraulikzylindern wieder zu erhöhen. Als sich der Vortrieb den Pfeilern 16 und 17 näherte, traten bei der Brücke Senkungen von bis zu -4.1 mm auf (Höchstwert gegenüber dem Stand 0 der Brücke vor Belastung). Es wurde beschlossen, die Hydraulikzylinder wieder zu aktivieren, um diese Bewegungen zu kompensieren, und einen zweiten Druckaufbau vorzunehmen, der ein Anheben des Bauwerks um durchschnittlich 3.5 mm erlaubte (Reduktion der stärksten Senkung auf -0.6 mm).

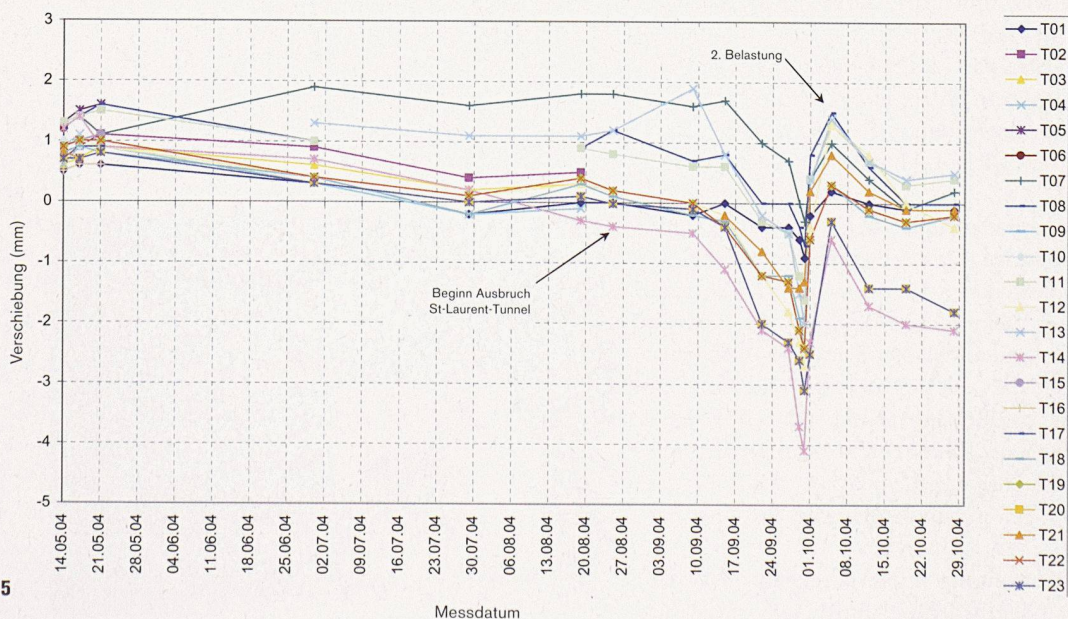
Im Herbst 2004, als sich die Ortsbrust nach der Unterquerung der Pfeiler 16, 17 und 18 bereits hinter dem Widerlager befand, waren die gesamten und die differenziellen Setzungen der Brücke – ohne zusätzliche Druckerhöhung – nicht grösser als -2.1 mm. Überdies konnte auf Grund der besseren Baugrundqualität und der Entwicklung des Verhaltens des Grand-Pont auf die Erstellung von zwei der vier beim Portal vorgesehenen Jettgewölbe verzichtet werden.

Die Bewegungen des Grand-Pont und der Druckverlauf in den Hydraulikzylindern werden bis zum Ende der Ausbrucharbeiten für den St-Laurent-Tunnel überwacht. Nach Fertigstellung der definitiven Tunnelauskleidung werden die Hydraulikzylinder mit Zementmilch ausinjiziert, wodurch der Druck in ihrem Innern dauerhaft festgelegt wird.

Olivier Tappy, dipl. Bauing. EPF/SIA  
Joanna Goussi, dipl. Bauing. EPF  
Piguet + Associés Ingénieurs Conseils SA  
Av. du temple 19, 1000 Lausanne

5

**Zeitlicher Verlauf der vertikalen Verschiebungen der 23 Messpunkte auf dem Grand-Pont von der erstmaligen Belastung der Hydraulikzylinder (linker Rand) bis zum Zustand nach der 2. Belastung (Bild: Piguet + Associés)**



5