

Altstadtringtunnel München Verstärkung der bestehenden spannungs- risskorrosionsgefährdeten Tunneldecke unter dem Prinz-Carl-Palais

*Jürgen Feix
Johannes Lechner*



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Feix

1981-86 Studium Bauingenieurwesen, TU München
1986-87 Mitarbeiter im Konstruktionsbüro der Hauptverwaltung der Dyckerhoff und Widmann AG (Abteilung Brückenbau)
1987-94 Assistent am Lehrstuhl für Massivbau der TU München, Promotion 1994
1994-99 Partner im Ingenieurbüro Büchting, Streit, Feix, München
1999-10 Geschäftsführender Gesellschafter der CBP Cronauer Beratung Planung GmbH
Seit 2011 Geschäftsführender Gesellschafter der Prof. Feix Ingenieure GmbH
Seit 2003 Universitätsprofessor für Massivbau und Brückenbau, Universität Innsbruck



Dipl.-Ing. Dr.techn. Johannes Lechner

2007-13 Studium Bauingenieurwesen, Universität Innsbruck
2013-17 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Arbeitsbereich für Massivbau und Brückenbau, Universität Innsbruck, Promotion 2017
Seit 2017 Mitarbeiter der Prof. Feix Ingenieure GmbH

Der Altstadtringtunnel in München wurde Ende der 1960er Jahre errichtet und stellt heute eine der bedeutendsten Verkehrsverbindungen im Zentrum von München dar. Ein ca. 45 m langer Teil des Tunnels wurde nachträglich unter dem Prinz-Carl-Palais in Form von 15 Lamellen errichtet, welche mit spannungsrissegefährdetem Spannstahl vorgespannt wurden. Eine Nachrechnung der Tunneldecke ergab, dass bei Ausfall der Vorspannung bis zur Rissbildung keine Tragsicherheit gewährleistet werden kann und somit eine Verstärkung erforderlich ist. Diese wurde in Form von Verbundankerschrauben als nachträgliche Querkraftverstärkung und hochfestem SAS Gewindestahl als nachträgliche Biegeverstärkung geplant. Der Beginn der Baumaßnahmen erfolgt im Frühjahr 2019.

The Altstadtring-Tunnel is one of the central traffic routes in Munich and was erected in the late 1960s. Section 34 of the tunnel was built under the existing Prince-Carl-Palais. Therefore 15 girders were made which now form the tunnel ceiling. These girders were prestressed with steel nowadays known for stress corrosion. A recalculation of the slab showed that no ductile failure can be guaranteed in case of a rupture of the tendons. Therefore a strengthening of the slab was planned with concrete screw anchors which were used as post installed shear reinforcement. Threaded rods of high tension steel are used as new additional flexural reinforcement. The start of the works is planned for spring 2019.

Einleitung

Der Münchner Altstadtring stellt den innersten Verkehrsring der Landeshauptstadt München dar. Der Altstadtringtunnel im Norden des Rings ist zugleich Teil des Altstadtrings und zentrale West-Ost-Verbindung im Herzen von München. Der Tunnel wurde in den späten 1960er Jahren errichtet und anlässlich der Olympischen Spiele 1972 für den Verkehr freigegeben. Heute stellt der Altstadtring Nord mit einer durchschnittlichen, täglichen Verkehrsbelastung von 74 000 Fahrzeugen, wovon ca. 60 000 auf den Tunnel entfallen eine zentrale Hauptverkehrsader von München dar. Eine Teil- oder Totalsperrung bedeutet für München eine schwerwiegende verkehrstechnische Beeinträchtigung für das gesamte Innenstadtbereich.

Eine Besonderheit des Altstadttringtunnels ist mit dem Tunnelblock 34, direkt unter dem Prinz-Carl-Palais, gegeben. Das historische Palais, welches lange als Amtssitz des bayerischen Ministerpräsidenten genutzt wurde, wurde 1806 fertiggestellt. Daher musste der Tunnel aufwendig nachträglich unter dem Gebäude errichtet werden, wie Abbildung 1 zeigt.



Abb. 1: Errichtung der Tunneldecke im Kellergeschoß des Prinz-Carl-Palais, Foto: Landeshauptstadt München

Dafür wurde im vorhandenen Kellergeschoß eine Abfangkonstruktion aus Stahlträgern errichtet und anschließend wurden im Pilgerschrittverfahren insgesamt 15 Betonträger (auch als Lamellen bezeichnet) abschnittsweise betoniert. Diese Lamellen besitzen eine Höhe von 3,5 m und eine variable Querschnittsbreite. Zur Reduzierung des Eigengewichts wurden die Lamellen in Längsrichtung mit mehreren Hohlkörpern mit einer Höhe von 2 m und einer Breite von 60 bis 120 cm versehen. Die Lamellen sind angepasst an die Momentenlinie in Längsrichtung vorgespannt. Anschließend wurden die 15 Lamellen auch in Querrichtung mit gerade geführten Spanngliedern unter und über den Hohlkörpern vorgespannt und bilden so die Tunneldecke.

Nach Errichtung der Tunneldecke wurden die Bereiche für die beiden Tunnelwände ausgegraben und diese errichtet, abschließend wurde der Restquerschnitt des Tunnels ausgebrochen und die Fahrbahn hergestellt. Somit stellen die einzelnen Lamellen vorgespannte Einfeldträger dar,

welche auf den Tunnelaußenwänden aufliegen und wurden dementsprechend in der ursprünglichen statischen Berechnung auch als solche berechnet. Die maximale Spannweite der Lamellen ergibt sich mit ca. 32 m im Bereich der Südausfahrt des Tunnels. Die gesamte Blocklänge beträgt 49,3 m, wobei der gesamte Lastabtrag des Prinz-Carl-Palais über die Tunneldecke dieses Blocks erfolgt.

Problem der Tunneldecke

Für die Vorspannung der Tunneldecke wurde das Spannsystem PZ mit vergüteten Spannstählen Sigma Oval St 145/160 verwendet, wie auch der Bohrkern durch die Quervorspannung in Abbildung 2 zeigt. Nach heutigem Kenntnisstand gilt der verwendete Sigma Oval Stahl als Spannungsrissskorrosionsgefährdet (vgl. [1] und [2]).



Abb. 2: Verlegung der Längsvorspannung und Bohrkern mit Spannstahl Sigma Oval der Quervorspannung des Altstadtringtunnels, Foto Bauzeit: Landeshauptstadt München, Bohrkern: Feix Ingenieure

Eine Nachrechnung gemäß der Handlungsanweisung Spannungsrissskorrosion [2] durch das Ingenieurbüro Grassl im Jahr 2013 ergab, dass bei 13 der 15 Lamellen keine Vorankündigung des Versagens bei Ausfall der Spannbewehrung nachgewiesen werden kann.

Aufgrund der ständigen, hohen Belastung der Tunneldecke des Blocks 34 wurde von Seiten der Landeshauptstadt München entschieden, die Tunneldecke für den Lastfall des kompletten Ausfalls der Vorspannung er-tüchtigen zu lassen. Eine wesentliche Voraussetzung war dabei das Auf-

rechterhalten des Verkehrs während der Hauptbaumaßnahmen und aufgrund der Bebauung auf der Tunneldecke der ausschließliche Einbau von der Deckenunterseite.

Verstärkungskonzept

Der Vorschlag für das Verstärkungskonzept wurde von Seiten der Feix Ingenieure GmbH erarbeitet. Grundidee dieses Konzepts ist es, Verbundankerschrauben als nachträgliche Querkraftverstärkungsmittel einzusetzen. Die Defizite der Biegebewehrung sollen gleichzeitig durch die Verwendung von Gewindestäben aus hochfestem Stahl ($f_y = 670 \text{ MPa}$, $f_t = 800 \text{ MPa}$) ausgeglichen werden, welche in einer zusätzlichen Lage Spritzbeton an der Deckenunterseite angebracht werden sollen. Hierzu werden Gewindestäbe mit Durchmessern von $d_s = 43 \text{ mm}$ bzw. $d_s = 63,5 \text{ mm}$ verwendet, welche über Muffen gekoppelt werden können. Die Endverankerung der Biegezugbewehrung wird wiederum über Verbundankerschrauben in die beiden Lagersockel erfolgen, wie auch Abbildung 3 zeigt. Damit ist eine Installation ausschließlich von der Tragwerksunterseite und in einzelnen Abschnitten im Tunnel möglich, wodurch durch ein Umlegen von einzelnen Spuren der Verkehr während der Maßnahme aufrechterhalten werden kann.

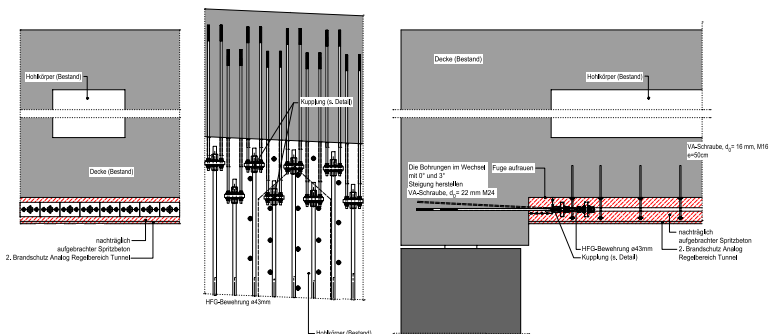


Abb. 3: Konzept der nachträglichen Biegeverstärkung, Bild: Feix Ingenieure

Die Möglichkeit der Verstärkung von Tragwerken mit Verbundankerschrauben, auch Betonschrauben genannt, wurde in den letzten Jahren an der Universität Innsbruck, am Arbeitsbereich für Massivbau und Brü-

ckenbau intensiv untersucht. Betonschrauben haben sich in den letzten Jahrzehnten als Ankermittel im Beton etabliert. Durch den mechanischen Verbund, über das Gewinde das beim Eindrehen der Betonschraube in das Bohrloch in die Bohrlochwandung geschnitten wird, bieten Betonschrauben ein robustes Tragverhalten und eine sehr einfache Installation. Die Weiterentwicklung der Schrauben hin zu größeren Durchmessern ($d_0 = 16 \text{ mm}$ und $d_0 = 22 \text{ mm}$) ermöglicht durch die hohen möglichen Ankerlasten (vgl. [3]) nun den Einsatz des Ankermittels als nachträglich eingebaute Bewehrung.

In zahlreichen durchgeführten Querkraftversuchen konnten bei Einsatz der Betonschrauben als Querkraftverstärkung Traglaststeigerungen gegenüber einem Referenzversuch ohne Querkraftbewehrung um bis zu 100 % erreicht werden [4],[5],[6],[7]. Auf Basis der Erfahrungen der Laborversuche und der Anwendung des Systems bei anderen Pilotprojekten (vgl. [8]) wurde die Querkraftverstärkung der Tunneldecke geplant.

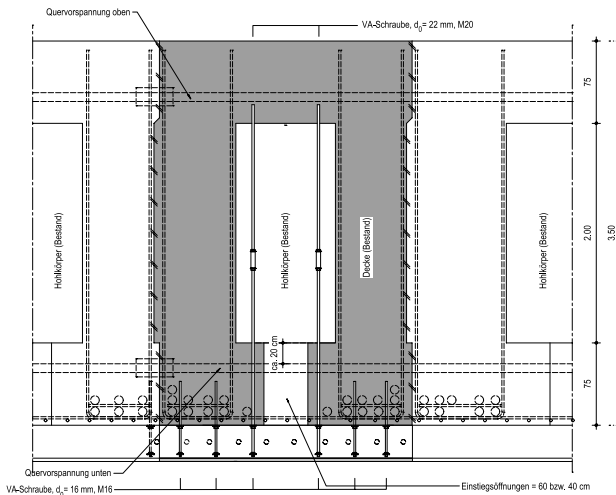


Abb. 4: Konzept der Querkraftverstärkung, Bild: Feix Ingenieure

Wie Abbildung 4 zeigt, werden zwei verschiedene Schraubentypen für die nachträgliche Querkraftverstärkung verwendet. Kurze Schrauben mit einem Durchmesser $d_0 = 16 \text{ mm}$ werden für die Aktivierung der bestehenden Bügelbewehrung verwendet und zwischen die existierende Längsvor-

spannung eingebohrt. Dadurch wird die neue Biegezugbewehrung mit der existierenden Betonstruktur kraftschlüssig verbunden. Zudem wird zusätzliche Querkraftbewehrung durch die existierenden Hohlkörper in Form von Betonschrauben mit Durchmesser $d_0 = 22$ mm eingebaut. Hierfür muss jedoch die Zugänglichkeit der Hohlkörper hergestellt werden, um die Schrauben einbauen zu können.

Vorabmaßnahmen

Um die Einbaubarkeit des geplanten Systems unter realen Bedingungen überprüfen zu können wurden im Zuge von Nachtsperren im April und Mai 2018 bereits 8 der insgesamt 53 Einstiegsöffnungen hergestellt. Die Position der Einstiegsöffnungen wurde planmäßig zwischen der Quervorspannung angeordnet und die Position auf der Baustelle mittels zerstörungsfreien Messverfahren nochmals verifiziert. Die Einstiegsöffnungen wurden durch mehrere nebeneinanderliegende Kernbohrungen hergestellt. Durch das Einmessen der Spannbewehrung konnte ein außerplanmäßiges Zerstören der Quervorspannung vermieden werden.

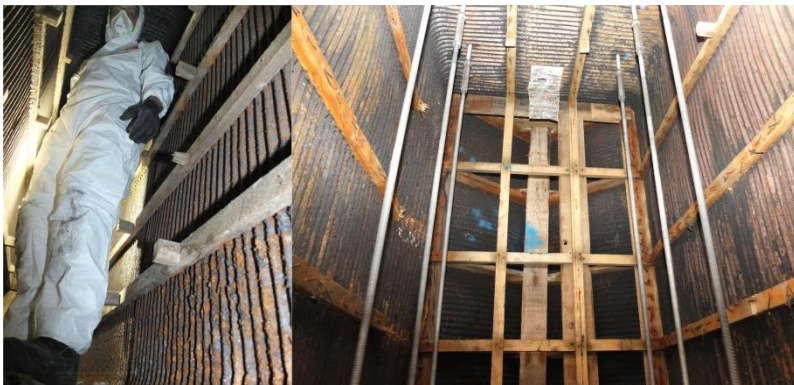


Abb. 5: Arbeiten im Hohlkörper im Zuge der Vorabmaßnahmen und bereits eingebaute Querkraftverstärkung, Fotos: Feix Ingenieure

Vor dem Einbau der Querkraftverstärkung mussten die Holzabstrebungen der verbliebenen Wellblechschalung im Hohlkörper zerkleinert und entfernt werden, wie Abbildung 5 zeigt. Nach erneutem Detektieren der

Bohrstellen konnten die Bohrungen für die Querkraftverstärkung von der Tragwerksunterseite mit Hilfe von Scherenbühnen erstellt werden. Hierfür wurden Kernbohrungen durch den unteren Flansch ausgeführt, durch welche anschließend auch die Bohrungen an der Oberseite des Hohlkörpers von der Tragwerksunterseite erstellt werden konnten. Somit wurden die Arbeitszeiten im Hohlkörper lediglich auf das Ansetzen der Schraube und das Muffen der Schraube beschränkt, was eine deutliche Verbesserung hinsichtlich des Arbeitsschutzes darstellt.

Fazit

Durch die vorhandenen Rahmenbedingungen musste für die Verstärkung des Blocks 34 des Altstadtringtunnels ein System gefunden werden, welches zum einen unter Aufrechterhaltung des Verkehrs eingebaut werden kann und zum anderen eine einfache und schnelle Installation sowie ein robustes Tragverhalten gewährleistet.

Aufgrund der bereits gewonnenen Erfahrungen mit dem System der nachträglichen Verstärkung mit Betonschrauben und der Untersuchungen an der Universität Innsbruck konnte ein Verstärkungskonzept auf Basis von Betonschrauben als nachträgliche Bewehrung für die Tunneldecke des Blocks 34 des Altstadtringtunnels erarbeitet werden. Die bereits durchgeführten Vorarbeiten zeigten die gute Umsetzbarkeit der geplanten Maßnahmen. Gleichzeitig wurde aber der notwendig hohe Detaillierungsgrad der geplanten Maßnahmen für die Ausschreibung ersichtlich.

Die Ausschreibung der Hauptmaßnahme wurde Anfang Oktober 2018 beendet und die Vergabe der Leistung soll im Dezember 2018 erfolgen. Start für die Ertüchtigung des Altstadtringtunnels, bei der auch zahlreiche andere Maßnahmen gesetzt werden, ist im Frühjahr 2019.

Die Autoren möchten sich für das zur Verfügung gestellte Bildmaterial und vor allem für die sehr angenehme Zusammenarbeit an dem Projekt bei den Mitarbeitern der Hauptabteilung Ingenieurbau der Landeshauptstadt München bedanken.

Literatur

- [1] Lingemann, J. (2010). Zum Ankündigungsverhalten von älteren Brückenbauwerken bei Spannstahlausfällen infolge von Spannungsrisskorrosion. Dissertation, Technische Universität München.
- [2] Bundesministerium für Verkehr, B. und S. (2011). *Handlungsanweisung Spannungsrisskorrosion*.
- [3] Lechner, J., Fleischhacker, N., Walzl, C., & Feix, J. (2017). Zum Verbundverhalten von Betonschraubdübeln mit großem Durchmesser. *Beton- Und Stahlbetonbau*, 112(9), 589–600.
- [4] Lechner, J. (2017). Ein neues Verfahren zur nachträglichen Querkraftverstärkung von Stahlbetonbauteilen. Dissertation, Universität Innsbruck.
- [5] Feix, J. (2014). Neue Verfahren zur Verstärkung bestehender Tragwerke unter dynamischen Lasten wie z.B. Brückentragwerke. Tagungsband 12, Fachtagung Baustatik, Baupraxis. TU München, Seite 483-490
- [6] Feix, J., Lechner, J., Walkner, R., Spiegl, M., (2016). Betonschrauben als Querkraftverstärkung für dynamisch belastete Stahlbetonbauteile. Tagungsband zum 3. Grazer Betonkolloquium. TU Graz, Seite 65-73
- [7] Lechner, J., Feix, J. (2016). Development of an efficient shear strengthening method for dynamically loaded structures. 11th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, The University of Tokyo.
- [8] Lechner, J., & Feix. (2018). First experiences with concrete screw-anchors as post-installed shear reinforcement in concrete bridges. In 12th Japanese German Bridge Symposium. München.