

DIE GENERALINSTANDSETZUNG DER LUDWIGSBRÜCKEN IN MÜNCHEN

Sondereinsatz von RELAST Verbundankerschrauben zur Brückenertüchtigung

Dr.-Ing. Otto Wurzer, WTM ENGINEERS München GmbH



Bild 1: Die Ludwigsbrücken von oben



Bild 2: Innere Ludwigsbrücke in München



Bild 3: Äußere Ludwigsbrücke in München

Zusammenfassung

Zu den wichtigen aktuellen Infrastrukturprojekten in der Landeshauptstadt München gehört die Generalinstandsetzung der Ludwigsbrücken vor dem Deutschen Museum. Die erhebliche verkehrliche Mehrbelastung in den vergangenen Jahrzehnten, Frost- und Tausalzschäden infolge undichter Abdichtungs- und Entwässerungssysteme aber auch originäre konstruktive Defizite machten eine grundlegende Instandsetzung

dieser Bauwerke erforderlich. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Baumaßnahmen ist die Ertüchtigung der Scheitel- und Kämpfergelenksköpfe an den Bogentragwerken der Äußeren Ludwigsbrücke. Abweichend von der ursprünglich vorgesehenen baulichen Lösung werden hierfür Verbundankerschrauben des Systems Würth RELAST im Rahmen einer bauaufsichtlichen Zulassung im Einzelfall eingesetzt.

Einleitung

In unmittelbarer Nähe zum Deutschen Museum überführt die Innere Ludwigsbrücke die Zweibrückenstraße über die Große Isar. In Richtung des Kulturzentrums Gasteig spannt sich die Äußere Ludwigsbrücke über die Kleine Isar, die als innerstädtischer Naturschutzraum in ökologischer Hinsicht besonders schützenswert ist. Beide Brücken, die in den

Jahren 1933 / 1934 hergestellt wurden, sind heute denkmalgeschützt. Die hohe Verkehrsbelastung, aber auch die unmittelbare Nachbarschaft der Brücken einerseits zu Zentren urbaner Aktivität und andererseits zu ökologischen Schutzräumen stellen ein intensives Spannungsfeld für Baumaßnahmen an den Ludwigsbrücken dar.

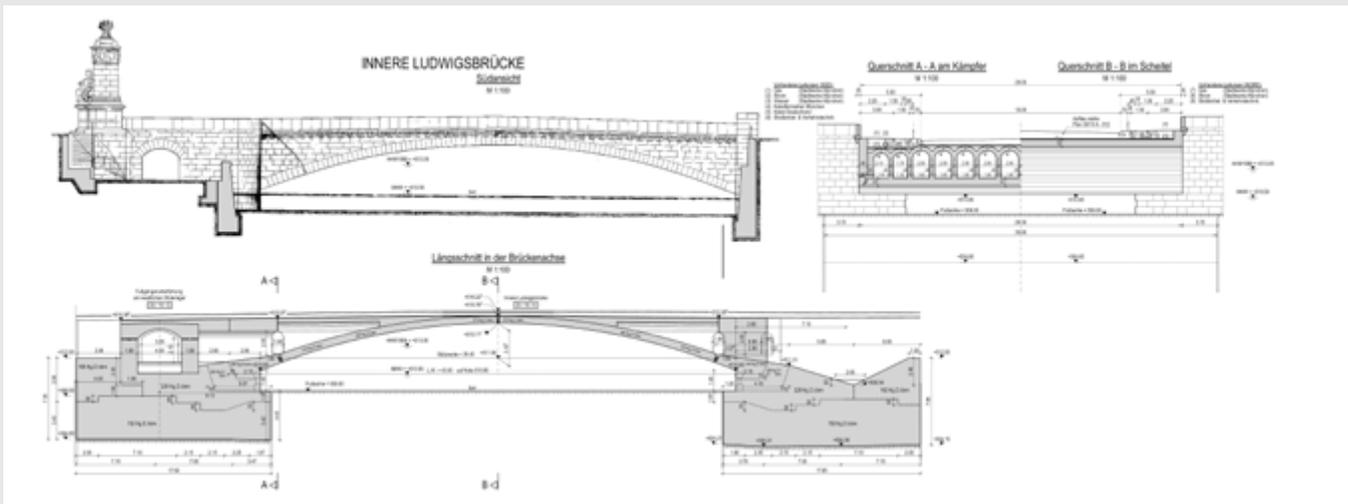


Bild 4: Konstruktion der Inneren Ludwigsbrücke

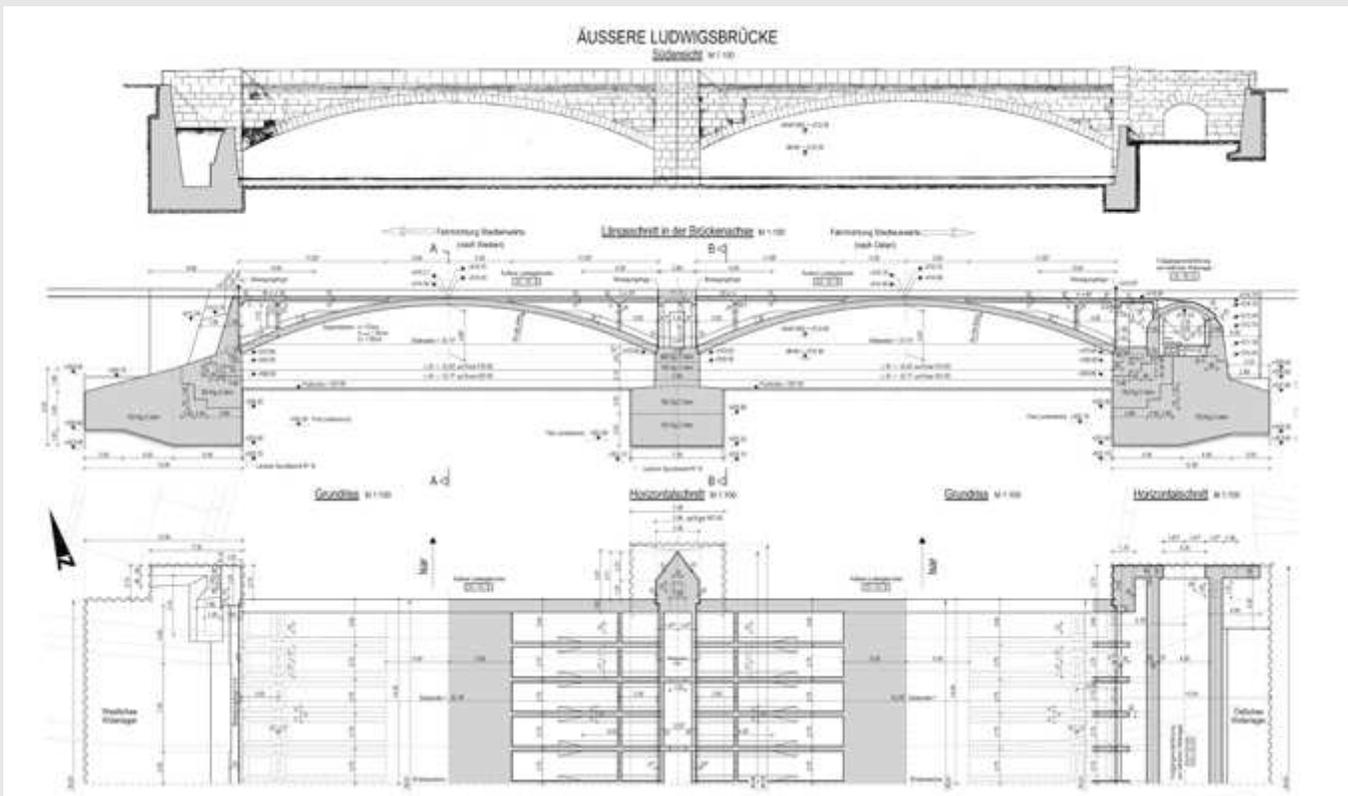


Bild 5: Konstruktion der Äußeren Ludwigsbrücke

Bauwerkskonstruktionen

Wie dem Bild 4 zu entnehmen ist, wurde die Innere Ludwigsbrücke als einfeldriges, über 45 m gespanntes Bauwerk konzipiert. Wesentliche tragende Konstruktion ist ein flacher Dreigelenk-Bogen aus Stahlbeton, auf den über Längsschotte den Fahrbahnaufbau tragende Spargewölbe aufgeständert sind. Die beiden Brückenwiderlager weisen massive Fundamente auf, um den Bogenschub abtragen zu können. Hergestellt wurde das Bogentragwerk in der sogenannten Melanbauweise, bei der ein bogenförmiges Stahlfachwerk als in den Bogen integriertes Lehrgerüst eingesetzt wurde. Die Seitenflächen der Brücke sind mit einer Natursteinverkleidung versehen.

Aufgrund des ausgedehnten Flussraumes der Kleinen Isar wurde die Äußere Ludwigsbrücke als zweifeldriges Bauwerk mit Feldweiten von ca. 33 m ausgeführt. Die tragende Konstruktion in den beiden Brückenfeldern besteht ebenfalls aus Dreigelenkbögen mit einem im Vergleich zur Inneren Ludwigsbrücke etwas größerem Bogenstich. Anders als bei der Inneren Ludwigsbrücke ist bei der Äußeren Ludwigsbrücke eine profilierte Stahlbeton-Fahrbahnplatte ausgebildet, die über Längsschotte auf die tragenden Stahlbetonbögen abgesetzt ist. Massive Widerlager und ein ausgeprägter Flusspfeiler bilden die Unterbauten der Äußeren Ludwigsbrücke.

Bauwerkszustand und Instandsetzungsbedarf

Um den Bauwerkszustand der Ludwigsbrücken zu erfassen und fundiert zu beurteilen, wurden sowohl statische Analysen wie auch vertiefte Bauwerksprüfungen durchgeführt, die auf den Ergebnissen der turnusmäßig durchgeführten Bauwerksprüfungen gemäß DIN 1076 aufbauten.

Bereits in den 1980er Jahren wurden für die beiden Ludwigsbrücken Einstufungsberechnungen vorgenommen, in deren Folge sie in die Brückenklasse 60/30 eingestuft wurden. Eine in 2009 erfolgte Nachrechnung auf der Grundlage der Nachrechnungsrichtlinie hat allerdings ergeben, dass insbesondere die Äußere Ludwigsbrücke folgende statisch-konstruktive Defizite aufweist:

- Unzureichende Querbewehrung in den Fahrbahnplatten
- Unzureichende Querbewehrung in den Dreigelenkbögen
- Nicht ausreichende Spaltzugbewehrung in den Scheitel- und Kämpfergelenksköpfen

Der Befund unzureichender Querbewehrung bestätigte sich auch für die östlich und westlich der Ludwigsbrücken gelegenen Fuß- und Radwegunterführungen.



Bild 6: Durchfeuchtungen an den Scheitelgelenken



Bild 7: Feuchteschäden an einem Kämpfergelenk

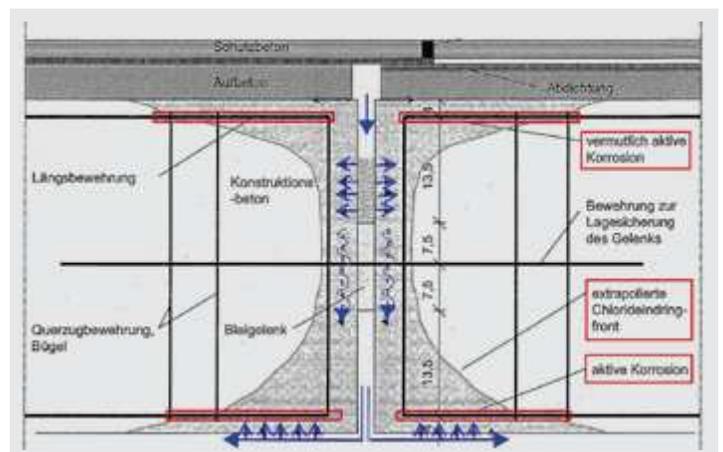


Bild 8: Belastung in den Scheitelgelenken (Prognose nach Schiessl-Gehlen-Sodeikat)

Die Bilder 6 bis 8 zeigen den Bauwerkszustand vor der aktuellen Generalinstandsetzung. Auffällig sind starke Feuchteschäden an den Unterseiten der Bogentragwerke, an den Fahrbahnplatten und unterhalb der Brüstungen, die durch unterläufige Abdichtungen sowie durch schadhafte Entwässerungsleitungen und defekte Tropfzellen verursacht wurden. Besonders ausgeprägt waren diese Durchnässungen im Bereich der Scheitel- und Kämpfergelenksfugen der Äußeren Ludwigsbrücke. Die Bogentragwerke wiesen außerdem eine stark inhomogene Betonstruktur sowie zahlreiche Hohllagen und Risse auf.

Um die aus der langzeitigen Durchnässung an den Scheitel- und Kämpfergelenksköpfen resultierenden Schäden zu untersuchen, wurden dort Betonkerne entnommen. Diese zeigten eine erhebliche Chloridbelastung und Frostschäden an der Betonstruktur auf. Einsetzende chloridinduzierte Korrosion an der Bewehrung der Scheitelgelenksköpfe galt vor diesem Hintergrund als sehr wahrscheinlich. In Kombination mit der statisch nachgewiesenen Unterdeckung der Spaltzugbewehrung ergab sich daraus ein erhebliches Risiko für eine nennenswerte Tragfähigkeitsreduktion an den Scheitel- und Kämpfergelenksköpfen und damit für die Aufrechterhaltung der Standsicherheit der statisch bestimmten Dreigelenksbögen. Schon allein aus diesem Schadensszenario heraus resultierte unmittelbarer Ertüchtigungs- und Instandsetzungsbedarf für die Äußere Ludwigsbrücke.

Ertüchtigung der Scheitel- und Kämpfergelenke

Zu den vorrangigen konstruktiven und baulichen Maßnahmen der Generalinstandsetzung der Äußeren Ludwigsbrücke gehört daher die Ertüchtigung der Scheitel- und Kämpfergelenke. Auf der Grundlage der Bauwerksuntersuchungen musste angenommen werden, dass der Beton an den Scheitelgelenksköpfen starke Durchfeuchtungen und Frostschäden aufweist (siehe Bild 8). Außerdem wurden wegen der Chloridbelastung, die in den entnommenen Betonkernen festgestellt wurde, erhebliche Korrosionsschäden an der Bewehrung der Scheitel- und Kämpfergelenksköpfe unterstellt. Eine komplette Erneuerung des Betons der Gelenkköpfe erschien deshalb geboten, verbunden mit der Verstärkung der dort vorhandenen Bewehrung. Im Bereich der Scheitelgelenksköpfe war dies im Zuge der Hauptbaumaßnahme vorgesehen.

Der rasche Schadensfortschritt im Bereich der Kämpfergelenke machte dort allerdings eine Vorab-Ertüchtigung notwendig. Bereits im Jahr 2017 wurden die Kämpfergelenke der Äußeren Ludwigsbrücke, mit der

in Bild 9 dargestellten Konstruktion verstärkt. Mit kurzen konventionellen Stabspanngliedern wurde eine zusätzliche Spaltzugbewehrung an den Kämpfergelenksköpfen eingebracht. Außerdem wurde ein Fortschreiten der chloridinduzierten Korrosion an der bestehenden Bewehrung durch den Einbau eines Kathodischen Korrosionsschutzsystems unterbunden.

Aufgrund von Naturschutzvorgaben sowie der ständig präsenten Hochwassergefahr in der kleinen Isar ist eine Hilfsunterstützung der Bogentragwerke während der Erneuerung der Scheitelgelenksköpfe ausgeschlossen. Um die Scheitelgelenke während der in Teilabschnitten durchzuführenden Erneuerung der Scheitelgelenksköpfe zu entlasten, sollte daher der in Bild 10 dargestellte „Kraft-Bypass“ zur Anwendung kommen. Dabei werden massive Abstützblöcke aus Stahlbeton seitlich der Gelenkfuge auf die Ober- und Unterseite der Bogentragwerke gespannt. Diese dienen als Widerlager für Stahlrohrstiften, die mittels hydraulischer Pressen vorgespannt werden und die Bogenkräfte wie in einem Bypass umleiten.

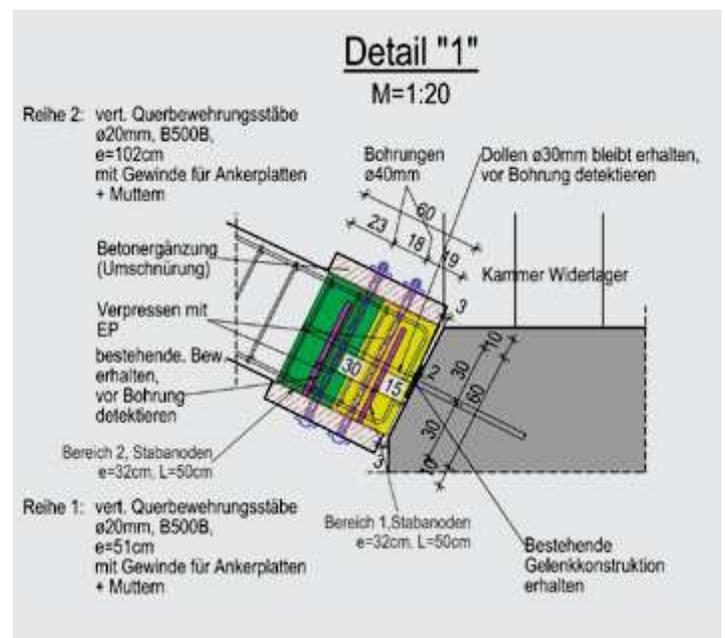


Bild 9: Ertüchtigungs-konstruktion an den Kämpfergelenken der Äußeren Ludwigsbrücke

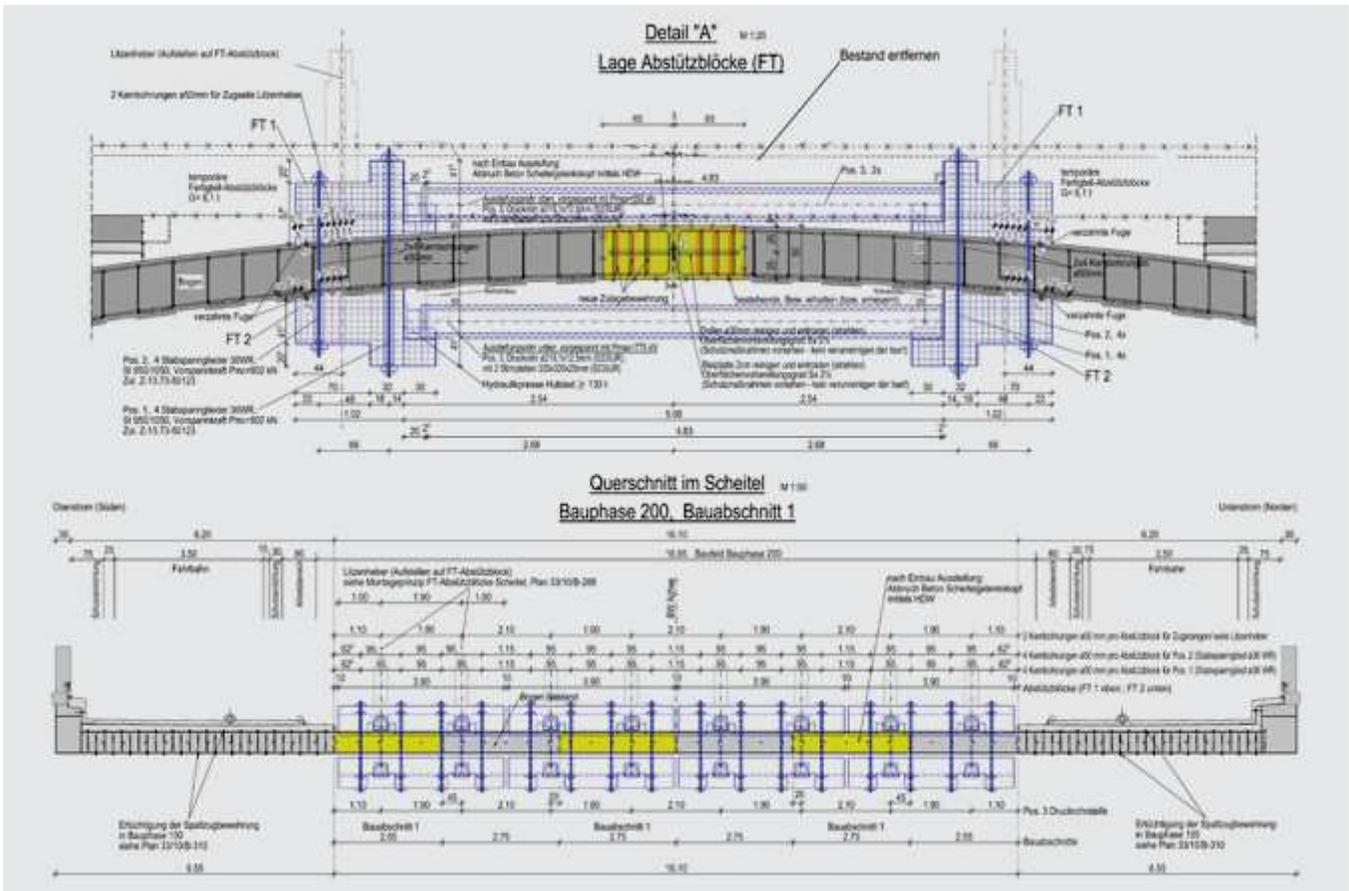


Bild 10: „Kraft-Bypass“ zur Entlastung der Scheitelgelenke während der Erneuerung

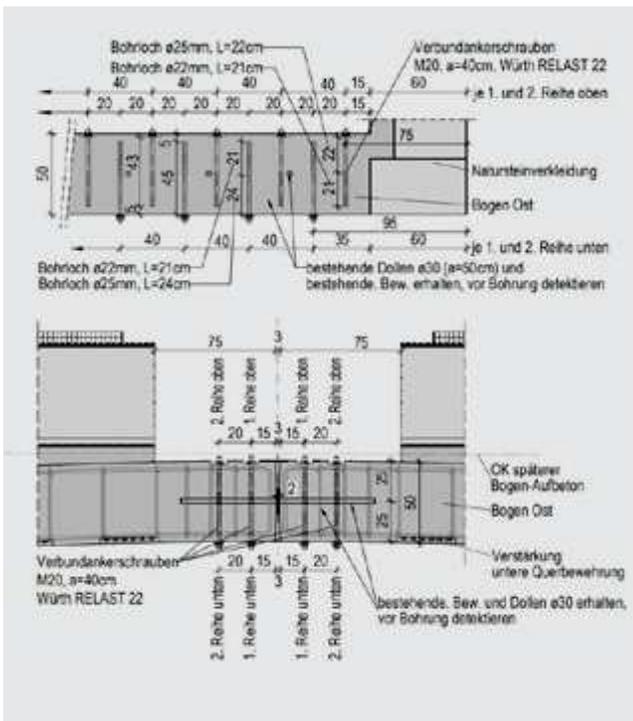


Bild 11: Ertüchtigung der Scheitelgelenksköpfe mittels RELAST Verbundankerschrauben

Vertiefte statische Analysen ergaben allerdings, dass die Erneuerung der Scheitelgelenksköpfe im Schutz des dargestellten „Kraft-Bypasses“ in den Randbereichen der Bögen zu unzulässigen zusätzlichen Biegebeanspruchungen führt. Daher wurden die Scheitelgelenksköpfe in diesen Bogenrandzonen (Baufeld Bauphase 100) nicht erneuert, sondern durch den Einbau von RELAST Verbundankerschrauben im Hinblick auf ihre Spaltzugtragfähigkeit ertüchtigt (siehe Bild 11). Die Anwendung von RELAST Verbundankerschrauben zu diesem Zweck ist durch deren aktuell gültige bauaufsichtliche Zulassung nicht abgedeckt, weshalb eine Zulassung im Einzelfall erwirkt werden musste.

Da die Ertüchtigung der Scheitelgelenksköpfe unter Einsatz des RELAST Systems im Vergleich zur kompletten Erneuerung der Gelenksköpfe im Schutze des „Kraft-Bypasses“ erhebliche baubetriebliche, bauzeitliche und wirtschaftliche Vorteile aufweist, drängte sich im Zuge des Baublaufes die Frage auf, ob die „RELAST-Lösung“ auch für die Bogen-Innenfelder (Bauphase 200) umgesetzt werden kann.

Dies setzte allerdings voraus, dass dort ein dichtes Betongefüge und eine ausreichende Betonfestigkeit vorliegt sowie die Chloridbelastung des Betons im Bereich der Gelenksköpfe und die damit einhergehende Korrosion geringer ist, als prognostiziert. Um die Querkraftübertragung über die Scheitelgelenke zukünftig auch zuverlässig zu gewährleisten, mussten insbesondere die bestehenden Querkraftdollen, die den Gelenkspalt queren, weitgehend unversehrt sein.

Zur Überprüfung dieser Randbedingungen wurden je Scheitelgelenk zusätzlich 5 Bohrkerne gezogen und 4 Bauteilöffnungen vorgenommen. An den Bohrkerne wurden sowohl die Betondruckfestigkeiten bestimmt wie auch die Chloridgehalte ermittelt. In den Bauteilöffnungen wurden die dort liegenden Querkraftdollen und die bestehende Bewehrung freigelegt (siehe Bild 12).

Aus den o. g. Untersuchungen ergaben sich folgende Befunde:

- Einstufung des bestehenden Betons in die Betondruckfestigkeitsklasse C 50/60 entsprechend DIN EN 206-1; weitgehend geschlossenes Betongefüge
- Chloridgehalte bis max. 1,0 M-%/z nur mäßig erhöht
- Vorhandene Bewehrung ohne Korrosion
- An den Querkraftdollen geringe Korrosionsschäden lokalisiert im Fugenspalt des Scheitelgelenks (Mittlerer Querschnittsverlust ca. 5%)

Vor dem Hintergrund dieser Untersuchungsergebnisse und unter der Voraussetzung, dass das bereits im Jahre 2011 an den Scheitelgelenken eingebaute Kathodische Korrosionsschutzsystem weiterhin betrieben wird, wurde vom Bauherrn entschieden, die Scheitelgelenksköpfe auch in den Mittelbereichen der Äußeren Ludwigsbrücke mit Hilfe von RELAST Verbundankerschrauben zu ertüchtigen (siehe Bild 11). Auf den in Bild 10 dargestellten „Kraft-Bypass“ konnte somit verzichtet werden.

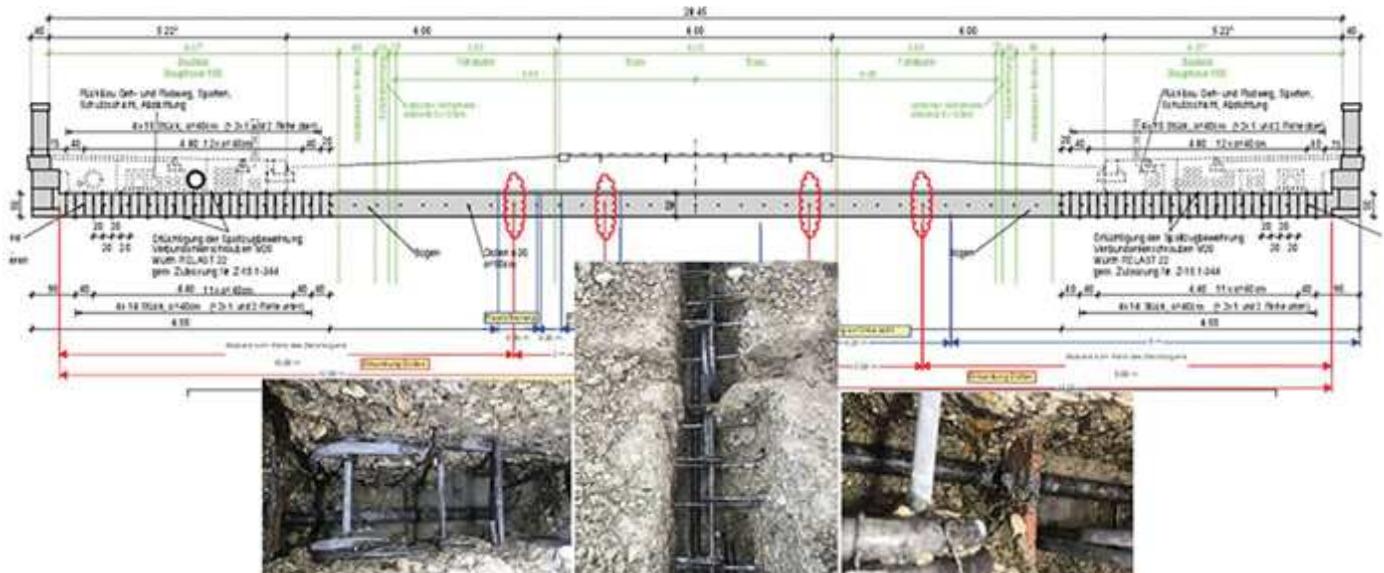


Bild 12: Feuchte- und Chloridbelastung in den Scheitelgelenken (Prognose nach Schiessl-Gehlen-Sodeikat)

Bauausführung

Wie in den Bildern 13 bis 16 dargestellt, wurden beidseitig der Scheitelgelenke ober- und unterseitig je zwei Reihen Verbundankerschrauben M20 des Systems Würth RELAST 22 mit einem Achsabstand von 40 cm eingebaut. Damit wird einerseits ein effektiver Ankerabstand von 20 cm und andererseits eine Vernadelung der Verankerung erreicht, die vor allem die Spaltzugkräfte im Scheitelgelenkskopf aufnehmen soll.

Zum Einsatz kamen sowohl in der Länge vorkonfektionierte Verbundankerschrauben wie auch Verbundankerschrauben mit Standardlängen, die bauseitig passend abgelängt wurden und auf der Baustelle zur Sicherstellung eines dauerhaften Korrosionsschutzes u. a. mit einer zusätzlichen Hutmutter ausgestattet wurden.



Bild 13: Herstellen der Bohrlöcher für die Verbundankerschrauben



Bild 14: Montage der Verbundankerschrauben Würth RELAST 22 an der Brückenunterseite



Bild 15: Montage der Verbundankerschrauben Würth RELAST 22 an der Brückenoberseite



Bild 16: Fertiggestellte Ertüchtigung an den Scheitelgelenken inkl. KKS-System



Bild 17: Übersicht der Baustelle im Juni 2022

Inzwischen sind sämtliche, für die Verstärkung der Scheitelgelenksköpfe vorgesehene, Verbundankerschrauben eingebaut. Indem auf eine komplette Erneuerung der Scheitelgelenksköpfe verzichtet werden konnte, war es möglich, die Bauzeit etwa um 2 bis 3 Monate zu reduzieren, verbunden mit nennenswerten wirtschaftlichen Einsparungen.

Die konstruktiven Instandsetzungsmaßnahmen an der Äußeren Ludwigsbrücke können voraussichtlich im Herbst 2022 abgeschlossen werden. An der Inneren Ludwigsbrücke kann die Ertüchtigung der widerlagerseitigen Kämpfergelenksköpfe, auch unter Anwendung von RELAST Verbundankerschrauben, erst im Zuge einer erheblichen Absenkung des Flussspiegels in der Isar erfolgen. Der Abschluss der gesamten Baumaßnahme ist für Ende 2023 geplant.

Jetzt vormerken!

Dr.-Ing. Otto Wurzer wird auf der 4. Würth Ingenieurwerkstatt am **16. Mai 2023** einen Vortrag zur Generalisierung der Ludwigsbrücken halten.

Weitere Informationen zu RELAST erhalten Sie auf www.wuerth.de/relast

Online-Seminar:

Grundlagen der RELAST Bauwerksverstärkung

In unserem kostenfreien Seminar erhalten Sie einen umfassenden Einblick in die Grundlagen des RELAST-Systems zur nachträglich verankerten Querkraft- und Durchstanzbewehrung nach den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen Z-15.1-344 bzw. Z-15.1-345.

Auf www.wuerth.de/ingenieure finden Sie im Reiter Seminare die Möglichkeit, sich für die Seminare anzumelden.



Inhouse-Anwendungsseminar:

RELAST Bauwerksverstärkung

Gerne bieten wir Ihnen auch Inhouse-Schulungen direkt in Ihrem Büro an. Neben einem umfassenden Einblick in die Grundlagen des RELAST-Systems zur nachträglichen Bauwerksverstärkung werden dort die aus den Zulassungen erworbenen Kenntnisse direkt angewandt und umgesetzt.

Schreiben Sie uns hierfür gerne eine E-Mail an akademie@wuerth.com