

Bauwerkserhaltung am Beispiel der Murbrücke St. Lorenzen

Dipl.-Ing. Lukas Praxmarer¹ und Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Reiterer²

¹ Fachbereich Tiefbau, BERNARD Ingenieure, Bahnhofstr. 19, A-6060 Hall i.T.,
e-mail: Lukas.Praxmarer@bernard-ing.com

² Fachbereich Dynamik, BERNARD Ingenieure, Nordbahnstr. 36, A-1020 Wien,
e-mail: Michael.Reiterer@bernard-ing.com

Zusammenfassung

Zur Optimierung der Nutzungsdauer wurde für die Murbrücke St. Lorenzen eine umfangreiche Analyse des aktuell vorhandenen Brückenzustandes kombiniert mit der Installation einer permanenten Monitoringanlage ausgeführt. Die genaue Kenntnis der Ursache für das vorherrschende Schadensbild der Brücke und den aktuell vorhandenen Fehlstellungen bildet eine erforderliche Grundlage für die Planung von effektiven Sanierungsmaßnahmen. Hierbei liefern insbesondere die Ergebnisse aus den statischen und dynamischen Probelastungen eine wichtige Information zum Systemverhalten. Mit Hilfe der Monitoringanlage wird der aktuelle Brückenzustand permanent überwacht und im Falle von Grenzwertüberschreitungen erfolgt eine Alarmierung gemäß einem speziell entwickelten Notfallplan. Abschließend wird festgehalten, dass durch Einsatz der permanenten Monitoringanlage die Nutzungsdauer von Brücken auf kontrollierte Weise verlängert werden kann.

1. Bauwerksbeschreibung

Die Murbrücke in St.Lorenzen wurde im Jahr 1964 errichtet und überführt die St. Lorenzenerstraße L556 über den Fluss. Es handelt sich dabei um eine Spannbetonbrücke mit Hohlkastenquerschnitt. Das Bauwerk überspannt drei Felder (14,5 + 60,0 + 14,5 m) und hat damit eine Gesamtlänge von 89 m. Das stark gevoutete Tragwerk weist über den Stützen eine Gesamthöhe von 2,74 m und in der Feldmitte eine Tragwerkshöhe von 0,80 m auf, was einer Schlankheit von 1/75 entspricht. Die beiden runden Stützen, die biegesteif mit dem Tragwerk verbunden sind, haben einen Durchmesser von 2,10 m und eine Länge von 6 m, davon liegen ca. 3 m unter dem Gelände. Die Brückenenden sind mit Hilfe von schrägen, nicht einsehbaren, vorgespannten Zugbändern zu den Gründungsplatten unter den Pfeilern abgespannt.



Bild 1: Murbrücke St. Lorenzen

2. Problemstellung

Bereits während der Herstellung wurden große Durchbiegungen (ca. 8 cm) im Mittelfeld festgestellt. Diese vergrößerten sich im Lauf der Zeit und liegen inzwischen bei einem Wert von 17cm. Als zusätzliches Schadensbild stellte sich heraus, dass sich die Brückendenen um bis zu 4,5cm hoben. Damit verbunden war auch eine Zerstörung der Asphalt-Fahrbahn in diesem Bereich. Ebenso konnten Schiefstellungen der beiden Pfeiler von 4 bzw. 6 ‰ gemessen werden.

Neben den offensichtlichen und kontrollierbaren beschriebenen Verformungen stellen aber die eingeschütteten und damit visuell nicht überprüfaren Zugbänder ein wesentlich höheres Risiko dar. Der Ausfall dieser Bauteile würde den Einsturz des Gesamtbauwerkes bedeuten.

3. Untersuchung / Analyse

3.1 Brückenprüfung

Im Rahmen einer Brückenprüfung gemäß RVS wurde der aktuelle Zustand des Bauwerkes erhoben.

3.2 Statische FE - Berechnungen

Die Berechnungen wurden mit dem Programmpaket InfoGraph der Firma InfoCAD durchgeführt. Ziel der statischen FE – Berechnungen ist zum einen die Überprüfung der Tragsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitskriterien und zum anderen sollte man durch Einstellungen der verschiedenen Randbedingungen und Systemparameter in der Lage sein, den Schadenshergang rechnerisch nachzuvollziehen. Weiters können am realitätsnahen Rechenmodell die Auswirkungen von statisch-konstruktiven Sanierungsmaßnahmen optimal ermittelt und bemessen werden.

3.3 Dynamische FE - Berechnungen

Auf Basis der in Abschnitt 5.2 durchgeführten statischen FE-Berechnungen wurde eine dynamische Systemanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse der Analyse dienen einerseits zur Einstufung der Schwingungsanfälligkeit sowie zur Durchführung des Model-Updating Verfahrens über die Ergebnisse aus den dynamischen Messungen.

3.4 Installation Messsystem

Im Hinblick auf das Model-Updating Verfahren, wie in Abschnitt 5.3 beschrieben, und die Planung einer effektiven Sanierungsmaßnahme wurde eine Messanlage installiert. Die Sensoren der Messanlage wurden wie folgt ausgewählt: 8 Setzungssensoren, 4 Neigungssensoren, 4 Beschleunigungssensoren und 4 Bauteiltemperatursensoren. Es wurden jeweils zwei Setzungssensoren zur Messung der vertikalen Durchbiegungen an den Auslegerenden Feistritz und St. Lorenzen sowie in Brückenmitte gegenüberliegend angeordnet. Die Neigungssensoren befinden sich an den beiden Flusspfeilern, wobei die Pfeilerneigungen in beide Achsrichtungen gemessen werden. Die 4 Beschleunigungssensoren wurden in Brückenmitte und im Viertelpunkt des Mittelfeldes jeweils gegenüberliegend angeordnet. Aus den Tragwerksschwingungen werden die Eigenfrequenzen und Schwingungsformen sowie die Beschleunigungsantwort zufolge Verkehrsüberfahrten bestimmt.

3.5 Probelastung

Nach Installation und Inbetriebnahme der Messanlage erfolgte eine statische und dynamische Probelastung. Hierzu wurde ein Messfahrzeug mit definierten Achslasten herangezogen. Für die statische Probelastung wurde das

Messfahrzeug an verschiedenen Stellen auf der Brücke positioniert und die sich einstellende Durchbiegung wurde mit Hilfe der Setzungssensoren aufgezeichnet. Im Vergleich zu den am FE-Modell statisch berechneten Durchbiegungen (21mm in Brückenmitte) ergaben die Messungen am realen Brückentragwerk wesentlich geringere Durchbiegungswerte (8mm in Brückenmitte).

3.6 Schadensursache

Als Ergebnis der verschiedenen Untersuchungsmethoden konnte als Hauptursache ein Versagen in der Gründung festgemacht werden. Dies besteht mit hoher Wahrscheinlichkeit aus zwei Versagensarten: Zum einen erzeugt eine vertikale Belastung des Rahmentragwerkes einen nach außen gerichteten horizontalen Schub in der Gründungssohle der Fundamente. Der aufnehmbare Widerstand in der Sohle dürfte bereits in der Bauphase überschritten worden sein, wodurch ein Gleiten mit einer Größenordnung von ca. 4cm verursacht wurde. Dies erklärt auch die eingangs beschriebene Schiefstellung der Pfeiler. Die rechnerisch sehr hohen flussseitigen Kantenpressungen legen zudem die Vermutung nahe, daß es in diesem Randbereich zu lokalen Grundbrüchen gekommen ist. Da die Pfeiler auch eine Schiefstellung quer zur Brückenachse aufweisen, dürfte dieser Effekt in Eckbereichen aufgetreten sein.

Insbesondere durch die Ergebnisse der Probelastung konnte eindeutig festgestellt werden, daß die Brückenenden nicht wie ursprünglich geplant, in vertikaler Richtung frei beweglich ausgebildet sind, sondern daß diese vielmehr auf dem Erdreich aufliegen. So entstanden ungewollt zusätzliche Auflager. Hervorgerufen durch Temperatureinwirkungen beschreiben die Kragarme des Tragwerks immerwiederkehrende Auf- und Abwärtsbewegungen. Heben sich die Brückenenden (z.B. im Winter), so wird durch die Verkehrsbelastung über dem angrenzenden Fahrbahnbereich der Boden hinter der Brücke verdichtet und in den ursprünglichen Spalt zwischen Gelände und Tragwerksunterkante eingepreßt. Eine Abwärtsbewegung ist bei einer Tragwerkserwärmung durch das eingetragene Material nur mehr schwer möglich – durch das nun statisch unbestimmte System entstehen Zwangskräfte und zwar insbesondere zusätzliche Zugkräfte in den vorgespannten Zugbändern.

4. Maßnahmen

4.1 Permanentes Structural Health Monitoring (SHM)

Aufgrund der verifizierten Schadensbilder und der Unsicherheiten in der weiteren Entwicklung des Verformungszustandes der Brücke wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber entschieden, das temporär installierte Messsystem auf ein Dauermonitoring bis zum Ende der Brückenlebensdauer auszudehnen.

Die vertikalen Brückenverformungen, Pfeilerverdrehungen, Bauteiltemperaturen und Schwingbeschleunigungen werden permanent überwacht und am PC vor Ort abgespeichert. Die automatisierte Datenabholung erfolgt über eine ISDN Modemverbindung in den Nachtstunden und eine Standardauswertung generiert übersichtliche Diagramme, die den Verlauf der Verformungen, Verdrehungen, Bauteiltemperatur und Beschleunigungen illustrieren. Nach Ablauf eines Monats wird ein Kurzbericht erstellt und dem Brückenerhalter übermittelt.

4.2 Notfallplan

Der Notfallplan regelt die Zuständigkeit im Alarmfall. Das planmäßige Verhalten der Brücke ist mit einer „Grünphase“ gekennzeichnet. Im Falle von Grenzwertüberschreitungen größer 5 Minuten wird eine erste Alarmierung eingeleitet. Die Überschreitung wird auf Plausibilität geprüft und eine manuelle Empfehlung zur Alarmstufe „rot“ oder eine Entwarnung wird durchgeführt. Bei Empfehlung zur Alarmstufe „rot“ und/oder einer langfristig andauernden Grenzwertüberschreitung größer 24 Stunden wird die Brückensperre eingeleitet.

4.3 Statisch-konstruktive Sanierungsmaßnahmen

Zur Entlastung der nicht einsehbaren, aber überbeanspruchten Zugbänder wird im Bereich der Brückenkrägen ein Zusatzgewicht in Form eines Ballastträgers innerhalb des Hohlkastens aufgebracht. Neben der Reduktion der Spannungen im Zugband wird damit auch eine Vergleichmäßigung der Bodenpressungen in der Fundamentsohle erzielt.

Als weitere Sanierungsmaßnahme werden die auf dem Erdreich aufliegenden Brückenenden wieder freigelegt. Damit werden einerseits die zusätzlichen Zwangskräfte in den Zuggliedern wieder abgebaut und andererseits erhält das Tragwerk die Möglichkeit zu vertikalen Verschiebungen.