

Wirksamkeit von Fahrbahnplatten auf Eisenbahngewölbebrücken

Structural performance of trough slabs
on masonry arch railway bridges

Vorgelegt von

Conrad Lutz Otto Pelka

Geboren am: 10.07.1989 in Dresden

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

Erstgutachter

Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

Zweitgutachter

Prof. em. Dr. dipl. Ing Eugen Brühwiler

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bösche

Tag der Einreichung: 28.11.2025

Tag der Verteidigung: 20.04.2026

Zusammenfassung

Historische Gewölbebrücken bilden mit einem Anteil von ca. 23 % am Brückenbestand der Deutschen Bahn (DB) einen bedeutenden Anteil der Schieneninfrastruktur. Ihre außergewöhnlich hohe durchschnittliche Nutzungsdauer von etwa 111 Jahren übersteigt den Gesamtmittelwert aller Eisenbahnbrücken um rund 40 Jahre und verdeutlicht die strukturelle Robustheit und langfristige Leistungsfähigkeit dieser Bauwerksklasse. Gleichwohl führt ein in Teilen stark beeinträchtigtes äußeres Erscheinungsbild dieser Brücken infolge Feuchteeinwirkung, Aussinterungen, Bewuchs und Rissen in vielen Fällen zu einer negativen Bewertung mit einer schlechteren Zustandskategorie (ZK), sodass daraus ein Ersatzneubau abgeleitet wird.

Durch die Ergebnisse dieser Arbeit und der gutachterlichen Bewertung im Zuge des Forschungsvorhabens „Fahrbahnplatten auf Gewölbebrücken“ der Technischen Universität Dresden, Institut für Massivbau, DB InfraGO AG – Stiftungsprofessur für Ingenieurbau, konnte bei über 55 Brücken im Bestand der Schieneninfrastruktur belegt werden, dass die Tragfähigkeit selbst bei optisch stark geschädigten Gewölbebrücken weit über den aktuellen Betriebsanforderungen liegt. Großbelastungsversuche an Brücken in der Zustandskategorie 4 wiesen Tragreserven bis zum Sechsfachen des Lastmodells LM71 auf.

Die meisten Schadensbilder sind primär durch Dauerhaftigkeitsdefizite infolge Feuchteeinwirkung geprägt und stehen in Verbindung mit rückstauernder Nässe sowie unzureichend funktionierender Brückenentwässerung. Vor diesem Hintergrund gewinnt die Anwendung von dauerhaften wie wasserundurchlässigen Systemen oberhalb des Gewölberückens mit lage- und höhenmäßig angepassten Brückenentwässerungssystemen an Bedeutung.

Eine in dieser Arbeit entwickelte angewandte Methodik zur systematischen Erfassung von Schäden und begleitenden Instandsetzungen an Eisenbahngewölbebrücken vor und nach Fahrbahnplatteneinbau zeigt, dass der Feuchtegehalt des Brückenmauerwerks signifikant und langfristig über Zeiträume von 50 bis 60 Jahren erheblich reduziert werden konnte. Zur Auswertung wurden die systemseitigen technischen Unterlagen von SAP R/3 Netz und digitale Planarchive der DB InfraGO AG sowie analoge Bauwerksbücher aus dem Regionalbereich Südost, Netz Dresden, herangezogen.

Auf dieser Grundlage konnten eine wissenschaftlich fundierte Analyse und konstruktive Optimierung von Fahrbahnplattensystemen auf Gewölbebrücken zur Reduzierung feuchteinduzierter Schadensprozesse, zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit sowie zur Schaffung eines funktionalen sowie baulich integrierten Querschnitts durchgeführt werden. Die Auswertungen zeigen, dass mechanisch induzierte Schäden (Risse, Abplatzungen) durch den Einbau einer Fahrbahnplatte allein nicht behoben werden, sondern dass Mauerwerksinstandsetzungen in den Unterbauten der Konstruktion ergänzend durchgeführt werden müssen. Ebenso ist eine erfolgreiche konstruktive Ausbildung der Stahlbetonfahrbahnplatte von der Geometrie, der materiellen Beschaffenheit, der Widerstandsfähigkeit gegen alle auftretenden Einwirkungen, der regelkonformen Einbringung der Auf-/Hinterfüllbaustoffe und von der Ausführungsqualität abhängig.

Der Einsatz von Fahrbahnplatten aus Ultra-Hochleistungs-Faserverbund-Baustoffen (UHFB) wird ebenfalls nach bautechnische und denkmalpflegerische Instandsetzungspotenzial für Gewölbebrücken beleuchtet. Dieser moderne Baustoff ist in Deutschland aktuell noch in der Pilotprojektphase. Er bietet insbesondere eine sehr schlanke, dauerhafte und gleichzeitig wasserundurchlässige Fahrbahnplatte bei gleichzeitig hoher mechanischer Leistungsfähigkeit. Die Integration von FBP aus Stahlbeton als auch aus UHFB in das Erhaltungskonzept von

Gewölbebrücken weist gegenüber einem Ersatzneubau signifikante Vorteile auf. Die Lebensdauer kann um mindestens 50 Jahre verlängert werden, die Instandsetzungsbedingten CO₂-Emissionen reduzieren sich um bis zu 70 % gegenüber einem Neubau und durch den Einsatz vorgefertigter Plattenlösungen lassen sich Bauzeiten deutlich verkürzen. Die genannten quantifizierbaren Vorteile werden durch die denkmalgerechte Instandsetzung im Sinne des technischen Weiterbaus ergänzt, wodurch sowohl die kulturelle Resilienz als auch der denkmalpflegerische Wert erhaltenswerter Gewölbebrücken im Bestand gestärkt werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse der Fahrbahnplattenausbildung wurden 2024 in die systemseitige Strategie der DB integriert, die eine prognostizierte Gesamtnutzungsdauer von bis zu 199 Jahren für instandgesetzte Gewölbebrücken vorsieht. Das methodische Vorgehen eröffnet darüber hinaus die Möglichkeit einer Übertragung auf weitere historische Brückenkategorien und Viadukte. Perspektivisch sind eine umfassendere Digitalisierung der Bauwerksdiagnostik sowie der Einsatz kontinuierlicher Monitoringverfahren vorgesehen, um die Prognosefähigkeit und Langzeitbeobachtung substanzschonender Instandsetzungskonzepte weiter zu verbessern. In einer abschließenden stochastischen Einschätzung wird darauf hingewiesen, dass ca. 75 % aller noch nicht mit einer Fahrbahnplatte ausgestatteten Gewölbebrücken mit einem Bogen kleiner 10 m lichte Weite als sogenannte Potenzialgewölbe eingestuft werden können und somit erhaltungswürdig sind. Insgesamt konnte auf diesem Wege das Verständnis für eine substanzschonende sowie nachhaltige Infrastruktur im Einklang mit kultureller Verantwortung gestärkt werden, indem historische Eisenbahngewölbebrücken nicht nur als funktionale Tragwerke, sondern auch als Zeugnisse ingenieurtechnischer Baukultur begriffen und durch integrative Erhaltungsstrategien in die heutige Netzinfrastruktur eingebunden werden.

Abstract

Historic masonry arch bridges account for approximately 23% of Deutsche Bahn's (DB) total railway bridge stock, making them a key part of the national rail infrastructure. These bridges have an impressive average service life of about 111 years, around 40 years longer than the average of all railway bridges in Germany. This clearly reflects their high structural robustness and long-term performance.

However, many of these bridges receive poor condition ratings due to visible signs of deterioration, such as moisture damage, efflorescence, vegetation, and cracks. These condition ratings (ZK) are often used to justify complete replacement. Yet recent findings from the research project "*Trough Constructions on Masonry Arch Bridges*" at TU Dresden, in cooperation with DB InfraGO AG, show that many of these visually damaged bridges still have very high load-bearing capacity. In on-site assessments of over 55 bridges, even those classified in the lowest condition category (ZK 4) showed structural reserves up to six times greater than those required by Load Model LM71.

The majority of damage is related not to structural failure, but to long-term moisture exposure. This is often caused by poor drainage and water retention above the arch barrel. In this context, waterproof and durable retrofitting systems combined with adapted drainage designs become increasingly important.

A structured method was developed to record damage patterns and repair interventions before and after installing trough constructions. It was shown that moisture levels in the masonry could be significantly reduced for periods of 50 to 60 years. Data sources included technical documentation from SAP R/3 Netz, digital archives of DB InfraGO AG, and analogue bridge records from the Southeast region (Netz Dresden). These sources also showed that, out of 5,891 masonry arch bridges in the DB network (as of 2023), 4,931 are single-span bridges with a clear span of less than 10 meters.

Based on these findings, a detailed technical analysis and optimization of trough constructions was carried out. The aim was to reduce moisture-related damage, increase durability, and ensure a better integration into the bridge cross-section. However, mechanically induced damage such as cracking or spalling cannot be resolved by the track slab alone and must be addressed through masonry repair works in the substructure.

The successful application of trough constructions depends on their geometry, material quality, resistance to environmental impacts, correct placement of backfill, and high construction quality. The study also evaluated the potential of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete (UHPFRC) for trough constructions. Although still in the pilot project in Germany, UHPFRC offers a durable, waterproof, and very slender slab with high mechanical capacity, making it attractive for both technical and heritage-sensitive applications.

Integrating track slabs, whether made of reinforced concrete or UHPFRC, into the maintenance strategy of historic masonry arch bridges offers clear benefits compared to complete replacement. Service life can be extended by at least 50 years, CO₂ emissions from construction activities can be reduced by up to 70%, and prefabricated slab systems allow for much shorter construction times. These measurable benefits are supported by a heritage-sensitive repair approach in line with the concept of technical continuation, which helps to preserve both the engineering and cultural value of these bridges.

In 2024, the technical findings were integrated into DB's system-wide maintenance strategy. The forecasted total service life of retrofitted masonry arch bridges is now up to 199 years. The methodology is also suitable for transfer to other historic bridge types and viaducts. In the future, more advanced digital diagnostics and continuous monitoring systems are planned to improve predictive maintenance and long-term observation.

Finally, a probabilistic analysis suggests that around 75% of all masonry arch bridges with single spans under 10 m, currently not retrofitted with trough constructions, are structurally worth preserving. This work strengthens the broader understanding of a sustainable and resource-efficient railway infrastructure that respects cultural heritage, by recognizing historic arch bridges not only as structural assets, but as valuable examples of railway engineering history that can be successfully integrated into today's rail network.