

BAUSUBSTANZ

Zeitschrift für nachhaltiges Bauen, Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege



Sanierung des Berghotels Malta

Revitalisierung des Wiener Goethehofs

Holzbesiedelnde Pilze – ein Überblick

Injektionskontrolle mit Bauradar

Gabriele Patitz

Injektionskontrolle mit Bauradar am Natursteinmauerwerk einer Eisenbahnbrücke

Prinzipiell können Radarmessungen als zerstörungsfreie Untersuchungsmethode zur Erfolgs- und Qualitätskontrolle von Injektionsarbeiten an altem Natursteinmauerwerk sowie an Betonbauwerken dienen [1]. Bei dem im Folgenden beschriebenen Projekt sollten die Flügelwände einer denkmalgeschützten Eisenbahnbogenbrücke für die Aufnahme der Lasten aus dem Bahnverkehr ertüchtigt werden. Im Zuge der Baumaßnahme sollte die vorhandene provisorische Brücke aus Stahlträgern durch eine Fertigteilkonstruktion aus Stahlbeton ersetzt werden (Abb. 1 und 2).

Ziel der Radarmessungen war es, durch vollflächige zerstörungsfreie Erkundung des Mauerwerks der Flügelwände sowie des Bogens und der Bogenwiderlagermauern vor und nach den vorgesehenen Mauerwerksvernadelungen den Erfolg der Injektionen nachzuweisen.

Exemplarische Objekt- und Zustandsbeschreibung

Prinzipiell handelte es sich bei dem Natursteinmauerwerk der Bogenbrücke um ein sehr hochwertiges Quadermauerwerk mit dünnen Fugen. Typische, aber kurze Stirnring-



Abb. 1: Ansicht bahnrechts



Abb. 2: Ansicht bahnlinks

risse, verbunden mit leichten Steinversätzen, waren im Bereich des Scheitels bahnrechts erkennbar. Das Widerlagermauerwerk ist lagenweise ausgeführt, bestehend aus großen und meistens gut bearbeiteten lokalen Natursteinen. Schadhafte Natursteine aufgrund von Frost, Verwitterung oder lokalen Lastspitzen waren nicht vorhanden.

Die teilweise ausbauchenden Flügelwände bestehen aus einem Mauerwerk aus großen Bruchsteinen, die im »wilden« Verband versetzt sind. Hier befanden sich lokal sehr große und offene Fugen mit einem hohen Anteil an bindemittelloser Sand- bzw. Erdfüllung. In der Mauerwerkstiefe waren Mörtel und Zwickelsteine nicht mehr überall vorhanden (Abb. 3 und 4).

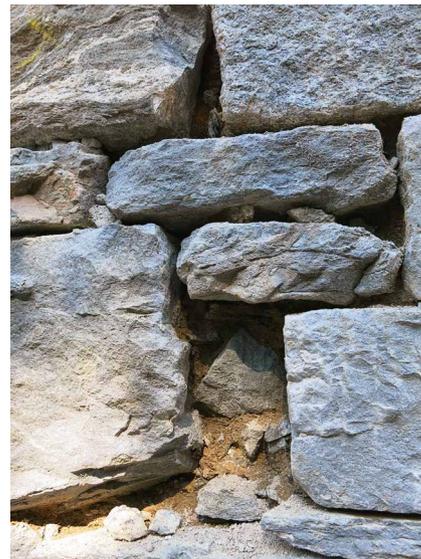
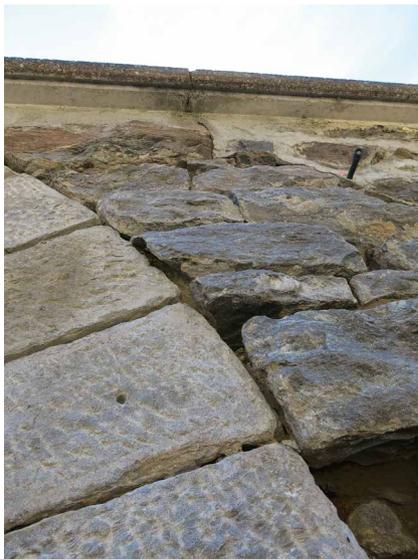


Abb. 3 + 4: Lokale Ausbauchungen an den Flügelwänden; bindemittelloser Mörtel hinter den unebenen Bruchsteinen; lose Zwickelsteine

Grundlagenerstellung und Projektablauf

Um den u. a. vermuteten Bauwerksverdrehungen nachzugehen, wurden von der Messbildstelle Dresden GmbH Orthofotos des Gesamtbauwerks erstellt. In diesen konnten die vorhandenen Ausbauchungen und Verformungen an den Flügelwänden erfasst und die vorhandene Geometrie überprüft werden.

Für die Dokumentation aller Untersuchungsergebnisse und ausgeführten Arbeiten standen auf Basis der Orthofotos steinsichtige digitale Ansichtspläne zur Verfügung. In diesen wurden die ausgeführten Verankerungen und Vernadelungen inklusive der Injektionsmengen dokumentiert.

Die Erstellung der Orthofotos und die Ausführung der Radarmessungen zur Kontrolle der Injektionen erfolgten während des laufenden Bauprozesses. Aus bauablaufbedingten Gründen mussten die Radaruntersuchungen

und die Orthofotos bei verschiedenen Bauzuständen wiederholt werden. So wurden aus statischen Gründen zunächst die oberen Mauerbereiche der Flügelwände durch Maueranker und Injektionen sowie Stahlspangen gesichert. Die unteren Bereiche waren noch mit Erdreich angeschüttet. Abschnittsweise von oben nach unten wurde das Mauerwerk am Bogen, den Widerlagern sowie den Flügelmauern neu verfügt. Die Natursteine wiesen keine Schäden auf und mussten daher nicht ausgetauscht werden. Lediglich die Oberflächen wurden schonend gereinigt und es erfolgte eine Tiefen- und Oberflächenverfugung. Auch die Verankerungs-, Vernadelungs- und Injektionsarbeiten erfolgten von oben nach unten, je nach statisch möglicher Zugänglichkeit und Baufreiheit.

Injektionskontrolle mit Bauradar

Die Radarmessungen und Auswertungen erfolgten in interdisziplinä-

rer Zusammenarbeit von Dipl.-Geophys. Markus Hübner der GGU mbH und Bauingenieurin Dr.-Ing. Gabriele Patitz, Büro IGP Karlsruhe. Es wurde angestrebt, insbesondere bei den Mauerbereichen der Flügelwände den Erfolg der Hohlräuminjektionen zu kontrollieren und zu dokumentieren. Basis bildeten die Radarmessungen am unverpressten Mauerwerk als Nullmessungen. Die teilweise noch sehr frischen Neuverfugungen wirkten sich auf die Datenqualität nicht negativ aus.

In Abwägung der erzielbaren Auflösung und Eindringtiefe kam der 900-GHz-Radarsensor zum Einsatz (Abb. 5 bis 8). Mit diesem wurden die Flügelwände in Vertikalprofilen mit einem geeigneten Profilarstand vollflächig abgescannt. Die genaue Lage der Profile wurde dokumentiert, damit bei den Wiederholungsmessungen zur Verpresskontrolle exakt diese Profile mit identischer Messtechnik und Einstellung aufgenommen werden können.

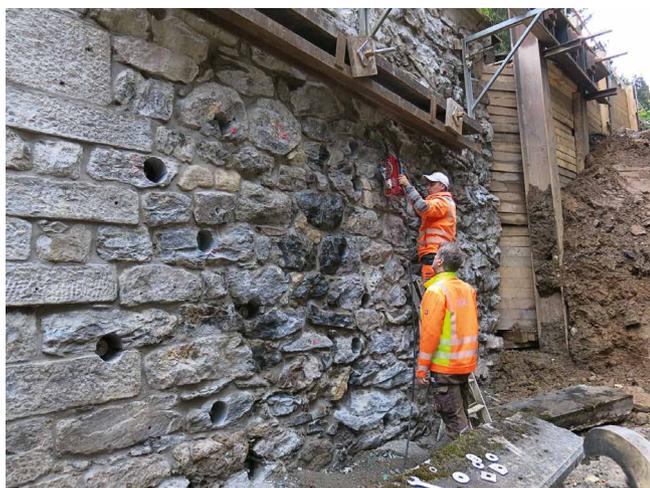


Abb. 5–8: Radaruntersuchungen an den Flügelmauern; Aufnahme von Vertikalprofilen mit einem 900-MHz-Sensor

Beispielhafte Radarergebnisse bahnlinks

Reflexionen der ins Bauteil gesendeten elektromagnetischen Radarwellen treten prinzipiell an Grenzflächen von Materialien unterschiedlicher elektrischer Leitfähigkeit auf. Je stärker der elektrische Leitfähigkeitskontrast ist, desto stärker sind die Reflexionen. Dies betrifft insbesondere Grenzflächen von Stein zu Luft oder zu Stahl (Bewehrung). Weiterhin beeinflussen unterschiedliche Feuchte- und Salzbelastungen die Reflexionsstärken sowie die Signalabsorption, was sich in der erzielbaren Eindringtiefe widerspiegelt.

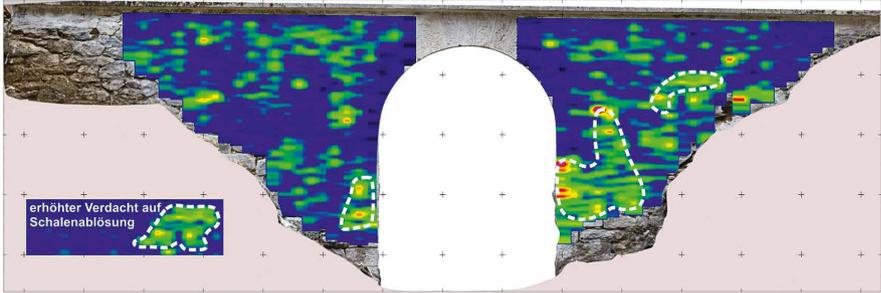
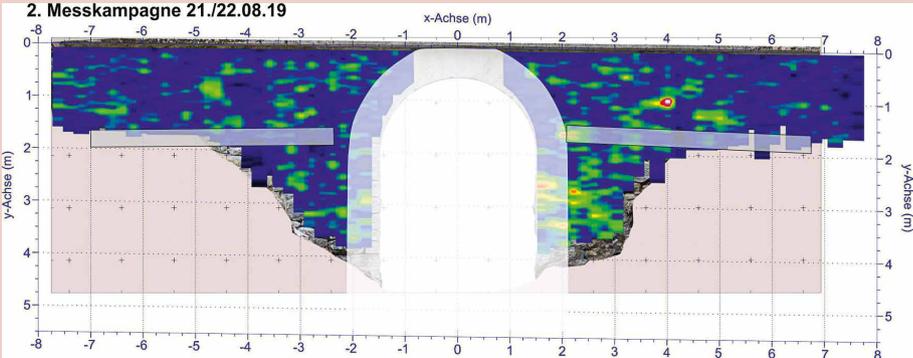
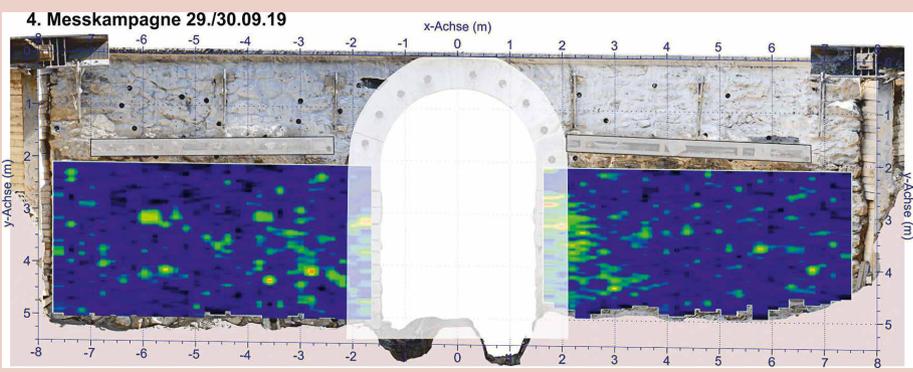
Die unterschiedlichen Reflexionsstärken werden flächig in ausgewählten, erkundungszielbezogenen Bauteil-

tiefen erfasst und farbcodiert dargestellt. Bei grün/gelb markierten Reflexionsflächen sollte ohne Kalibrierungen von einem hohlraumreichen Mauerwerk ausgegangen werden. Mit Blau und Dunkelblau ist üblicherweise ein homogenes, einheitliches und wenig reflektives Mauerwerk codiert.

Diese physikalischen Messergebnisse müssen dann bewertet und objektbezogen interpretiert werden. Hilfreich für die Interpretation sind neben Erfahrungswerten z. B. Informationen aus gezielt gesetzten Bohrungen bzw. lokalen Öffnungen. [1] [2] [3] [4]

In Tab. 1 sind die Radarergebnisse an den Widerlagern bahnlinks bei verschiedenen Bauzuständen für die Bauteil-

Tab. 1: Radarergebnisse bahnlinks für die Bauteiltiefen von ca. 20 bis ca. 40 cm

Radarergebnisse als Zeitscheibe für die Bauteiltiefen von ca. 20 cm bis ca. 40 cm	Interpretation
<p>Tiefenbereich ca. 20 cm bis 40 cm hinter Maueroberfläche - äußere Schalengrenze (außer Bogenmauerwerk):</p>  <p>erhöhter Verdacht auf Schalenablösung</p> <p>Die Messung wird als Null- bzw. Ausgangsmessung angesehen.</p>	<p>Messung 1 vor den Injektionen: Bei den zusammenhängenden grünen Flächen besteht der Verdacht auf Hohlräume hinter der vorderen Mauerschale</p>
<p>2. Messkampagne 21./22.08.19</p> 	<p>Messung 2 nach den Injektionen: Es sind kaum zusammenhängende grüne Flächen mit Verdacht auf Hohlräume hinter der vorderen Mauerschale vorhanden. Die Restflächen wurden nachgearbeitet.</p>
<p>4. Messkampagne 29./30.09.19</p> 	<p>Messung 4: Die Injektionsarbeiten sind abgeschlossen. Sehr lokal sind hinter der ersten Steinschicht noch kleine Bereiche mit leicht höheren Reflexionsstärken erkennbar. Dabei muss es sich nicht unbedingt um einen lokalen Hohlraum hinter dem Stein handeln, sondern ursächlich kann z. B. auch eine sehr ebene und glatte Steinrückseite sein.</p>

tiefen von ca. 20 bis ca. 40 cm gegenübergestellt. Dabei handelt es sich um den Grenzbereich der vorderen Mauerschale zur Innenfüllung des Widerlagers. Hier musste insbesondere abgeklärt werden, ob Mauerablösungen vom Kern erfolgen und somit größere Hohlräume vorhanden sind.

Tab. 2 zeigt die Radarergebnisse bahnlinks bei verschiedenen Bau-

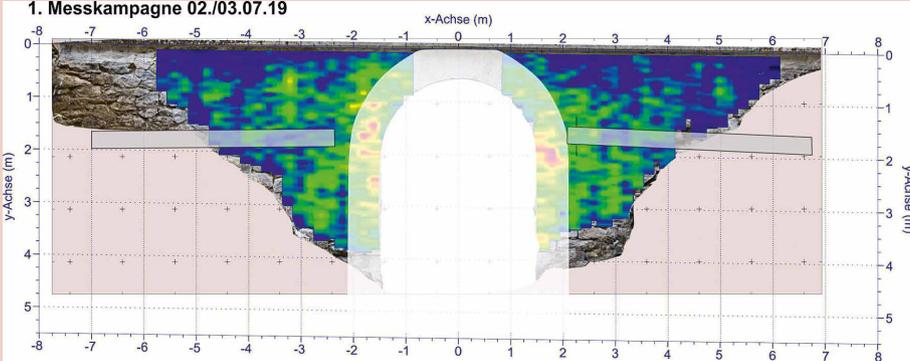
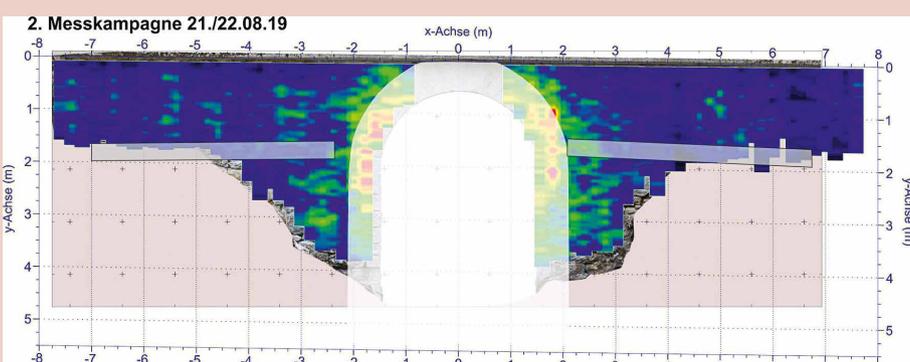
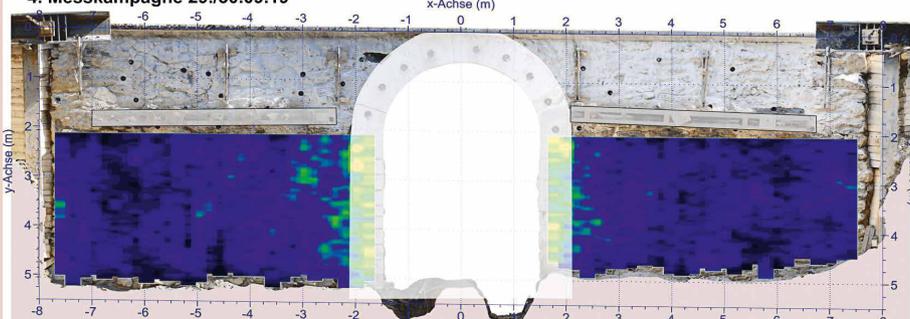
zuständen für die Bauteiltiefen von ca. 60 bis ca. 150 cm. Dabei handelt es sich um den Bereich des Widerlagermauerwerks hinter der vorderen Mauerschale. Hier musste insbesondere abgeklärt werden, ob größere Hohlräume oder Kavernen vorhanden sind.

Ergänzend zu den Radaruntersuchungen erfolgten gezielt einige Bohrungen, kombiniert mit Bohrloch-

scans, die ergänzend den Erfolg der Injektionsarbeiten bestätigen.

Auf Basis der Radaruntersuchungen, Dokumentation der Injektionsmengen, Befahrung ausgewählter Bohrlöcher und Besichtigung der Bohrkerne konnten die sanierten Widerlager von dem zuständigen Sachverständigen als monolithisch eingestuft werden. Das Risiko einer hinter den Außenmauern

Tab. 2: Radarergebnisse bahnlinks für die Bauteiltiefen von ca. 60 cm bis ca. 150 cm

Radarergebnisse als Zeitscheibe für die Bauteiltiefen von ca. 60 cm bis ca. 150 cm	Interpretation
<p>1. Messkampagne 02./03.07.19</p> 	<p>Messung 1 vor den Injektionen: Die höher reflektiven grünen Bereiche weisen auf Hohlräume in der Innenfüllung des Flügel-mauerwerks hin</p>
<p>2. Messkampagne 21./22.08.19</p> 	<p>Messung 2 nach den Injektionen: Lediglich rechts und links neben dem Bogen sind noch Verdachtsstellen für Hohlräume vorhanden, die nachgearbeitet wurden</p>
<p>4. Messkampagne 29./30.09.19</p> 	<p>Messung 4: Die Injektionsarbeiten sind abgeschlossen. In den Radardaten zeigen sich fast keine Verdachtsstellen auf Hohlräume mehr.</p>

vorhandenen, hohlraumreichen und nicht belastbaren Mauerfüllung wurde durch diese Herangehensweise weitestgehend ausgeschaltet.

Fazit

Mit dem Radarverfahren kann an Natursteinmauerwerk der Erfolg von Injektionsarbeiten kontrolliert wer-

den. Ein größerer zeitlicher Abstand zwischen den Injektionen und den Messungen ist nicht erforderlich. Die Messflächen müssen für identische Messraster zugänglich sein. Wichtig ist, dass für die Datenbewertung und den Datenvergleich Ergebnisse im un bearbeiteten Zustand, also im Schadenszustand, und im injizierten Zustand vorliegen. Einige wenige kalibrierende

Kernbohrungen, kombiniert mit Bohrlochscans, sind empfehlenswert.

Ähnliche Erfahrungen konnten bereits bei der Verpresskontrolle eines wenig bewehrten denkmalgeschützten Eisenbahnviadukts aus Stampfbeton gemacht werden. Bis in ca. 30 cm Bauteiltiefe wurden nur lokal, in vorab mit Radar auskartierten Flächen, Kiesnester verpresst. [1]

Literatur

- [1] Patitz, Gabriele: Bauradar zur Bestandsbewertung am Laufenmühle-Viadukt. In: BAUSUBSTANZ Thema: Betoninstandsetzung. Edition Bausubstanz, Band 1. Instandsetzung des Laufenmühle-Viadukts. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2017
- [2] Seibel, Mark; Zöllner, Matthias (Hrsg.); Patitz, Gabriele; Wietersheim, Mark von; Zöllner, Matthias: Baurechtliche und -technische Themensammlung. Heft 7: Bauteiluntersuchung. Notwendigkeit und Grenzen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2016
- [3] Verein Erhalten historischer Bauwerke e.V. (Hrsg.): Historische Eisenbahnbrücken. Tagungsband. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2019
- [4] Patitz, Gabriele; Bewer, Andreas: Falkenbach-Viadukt. Interdisziplinäre Bestandsuntersuchung und Bewertung für die Reaktivierung als Eisenbahnbrücke. BAUSUBSTANZ 10 (2019), Nr. 3. S. 52–62

Abbildungsnachweis

Abbildungen in den Tab. 1 und 2: GGU Gesellschaft für Geophysikalische Untersuchungen mbH, Karlsruhe

Alle anderen Abbildungen: Autorin

PROJEKTDATEN

Bauherr: DB Netz AG, Anlagen- und Projektmanagement Regionalnetze, Sandstraße 38–40, 90443 Nürnberg

Architekt/Entwurfsverfasser: Dipl.-Ing. Alaeddin Suleiman, DB Engineering & Consulting GmbH, München

Verantwortlicher/s Ingenieur/Ingenieurbüro: Dipl.-Ing. Gregor Stolarski, LGA Bautechnik GmbH, Nürnberg

INFO/KONTAKT



Dr.-Ing. Gabriele Patitz

Hochschulstudium Bauingenieurwesen TH Leipzig; 1998 Promotion an der Universität Karlsruhe (TH); 1998 Gründung des Ingenieurbüro IGP für Bauwerksdiagnostik und Schadensgutachten – seit 2004 Veranstalter der jährlich stattfindenden Fachtagung »Natursteinsanierung«; seit 2012 Leitung des FPI Forschungs- und Prüfinstituts Steine und Erden Karlsruhe e.V.; 2004 Gründung und Vorstandsvorsitzende des Vereins Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke e.V.; Herausgabe von Fachbüchern, Veröffentlichungen, Vorträge, Dozentin an der Propstei Johannesberg sowie an Hochschulen.

Tätigkeitsschwerpunkt: Moderne zerstörungsfreie Untersuchungsverfahren aus der Geophysik im Bauwesen; Bestandsanalysen: Untersuchen und Bewerten bestehender Bauwerke aus Mauerwerk und Beton.

IGP Ingenieurbüro für Bauwerksdiagnostik und Schadensgutachten
Beratende Ingenieurin ING BW
Alter Brauhof 11
76137 Karlsruhe
E-Mail: mail@gabrielepatitz.de
Internet: www.gabrielepatitz.de
www.natursteintagung.de
www.erhalten-historischer-bauwerke.de
www.fpi-ka.de

ANZEIGE

BAUSUBSTANZ THEMA: Betoninstandsetzung

Instandsetzung des Laufenmühle-Viadukts

Gabriele Patitz u. a.
Edition Bausubstanz, Band 1
2017, 49 S., 50 Abb., Softcover
Fraunhofer IRB Verlag
ISBN 978-3-7388-0013-5

Der Titel beschreibt die Planungsarbeiten für die Sanierung des denkmalgeschützten Laufenmühle-Viadukts von der Bestandserfassung und Bestandsbewertung bis zur statischen Nachweisführung und Ausführungsplanung. Ein interdisziplinäres Team aus Bauingenieuren, Bauwerksprüfern, Geophysikern, Bauchemikern und Baustoffingenieuren entwickelte ein Instandsetzungskonzept, das den Erhalt der ursprünglichen Substanz, der Funktion und des äußeren Erscheinungsbildes dieses technischen Denkmals ermöglicht. Durch den flächigen Einsatz von Bauradar konnten geschädigte und ungeschädigte Bogenbereiche auskartiert und über gezielte Materialproben verifiziert werden. Auf dieser Basis war eine innovative Herangehensweise bei der statischen Nachweisführung möglich. Für die nur noch lokal auszuführenden Verpressarbeiten wurde das geeignete Verpressmaterial konzipiert und am Objekt dessen Praktikabilität getestet. Der Erfolg der Verpressungen wurde mit Bauradar kontrolliert und dokumentiert.

Mit dieser bestandsorientierten und auf das wirklich notwendige Ausmaß an Eingriffen erfolgten Ertüchtigung werden auch die bisherigen Alterungsspuren aus der Bau- und Lebensgeschichte des Viaduktes sichtbar bleiben.

Bestellung:
Tel. 0711 970-2500 | Fax 0711 970-2508
E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de | www.baufachinformation.de