

Gefügeverbesserung bei historischen Tragwerken am Beispiel von Stampfbeton-Gewölbebrücken

Diagnostik, Planung und Überwachung im Rahmen einer zielgerichteten Instandsetzung (Teil 1)

JAN-HAUKE BARTELS | DAVID TIEDTKE |
SEBASTIAN KUNZ | CONRAD PELKA

Historische Stampfbeton-Gewölbebrücken sind ein wichtiger Bestandteil des Eisenbahnbrückenbestands, weisen jedoch infolge Alterung und Feuchteinwirkung häufig Schäden auf, die Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit oder Dauerhaftigkeit beeinflussen. Gefügeverbessernde Injektionen können eine substanzschonende Instandsetzungsmaßnahme darstellen, wenn Schadensbild, Materialzustand und Instandsetzungsziel systematisch erfasst und bewertet werden. Dieser Beitrag beschreibt hierfür eine praxisorientierte Vorgehensweise von der Bauwerksdiagnostik über Planung und Ausführung bis zur Qualitätssicherung und Erfolgskontrolle.

Motivation

Gewölbebrücken zählen zu den ältesten noch in Betrieb befindlichen Tragwerken im Eisenbahnnetz. Neben Naturstein- und Ziegelgewölben wurden insbesondere im späten 19.

und frühen 20. Jh. auch Gewölbebrücken aus Stampfbeton errichtet. Viele dieser Bauwerke befinden sich bis heute im Bestand der Deutschen Bahn AG (DB) und leisten weiterhin einen wichtigen Beitrag zur Verfügbarkeit der Eisenbahninfrastruktur. Gleichzeitig weisen sie infolge ihres Alters, der langjährigen Beanspruchung sowie äußerer Einwirkungen zunehmend Schäden auf, die ihre Tragfähigkeit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit beeinflussen können [1, 2].

Charakteristisch für historische Stampfbetone ist das ungleichmäßig verdichtete und damit heterogene Betongefüge. In der Folge streuen die Druckfestigkeiten vergleichsweise deutlich, wobei die Festigkeit in der Regel gut mit der Rohdichte als Maß für die Verdichtung korreliert. Typische Schadensbilder bei Stampfbeton-Gewölben sind Risse, Durchfeuchtungen und damit zusammenhängende Aussinterungen. Diese Schäden entstehen häufig durch eine Kombination aus alterungsbedingten Materialveränderungen, unzureichender Abdichtung, wiederholtem Feuchteintrag und den betrieblichen Beanspruchungen aus dem Eisenbahnverkehr.

Eine Besonderheit historischer Stampfbetone besteht darin, dass oberflächennahe Bereiche häufig besser verdichtet sind als Kern- und Hinterfüllbereiche. Teilweise wurden Außenschalen mit feinkörnigeren und bindemittelreicheren Betonzusammensetzungen ausgeführt, sodass innenliegende Verdichtungsmängel von außen meist nicht zuverlässig erkennbar sind. Für die Bewertung des Bauwerkszustands sind daher geeignete Untersuchungsmethoden und eine systematische Einordnung der festgestellten Schäden erforderlich. Eine besondere Herausforderung stellt die Ermittlung repräsentativer Druckfestigkeiten dar. Bei der Bohrkernprüfung besteht die Gefahr, dass bevorzugt intakte und gut präparierbare Abschnitte ausgewählt werden, während schlecht verdichtete oder ausbrechende Bereiche unberücksichtigt bleiben. Dadurch kann die Druckfestigkeit des Stampfbetons überschätzt werden. Werden minderfeste Bereiche hingegen repräsentativ einbezogen, erhöht sich häufig die Streubreite der Festigkeiten, wodurch die anzusetzenden Quantilwerte deutlich reduziert werden. Ergeben sich hieraus Defizite in der rech-

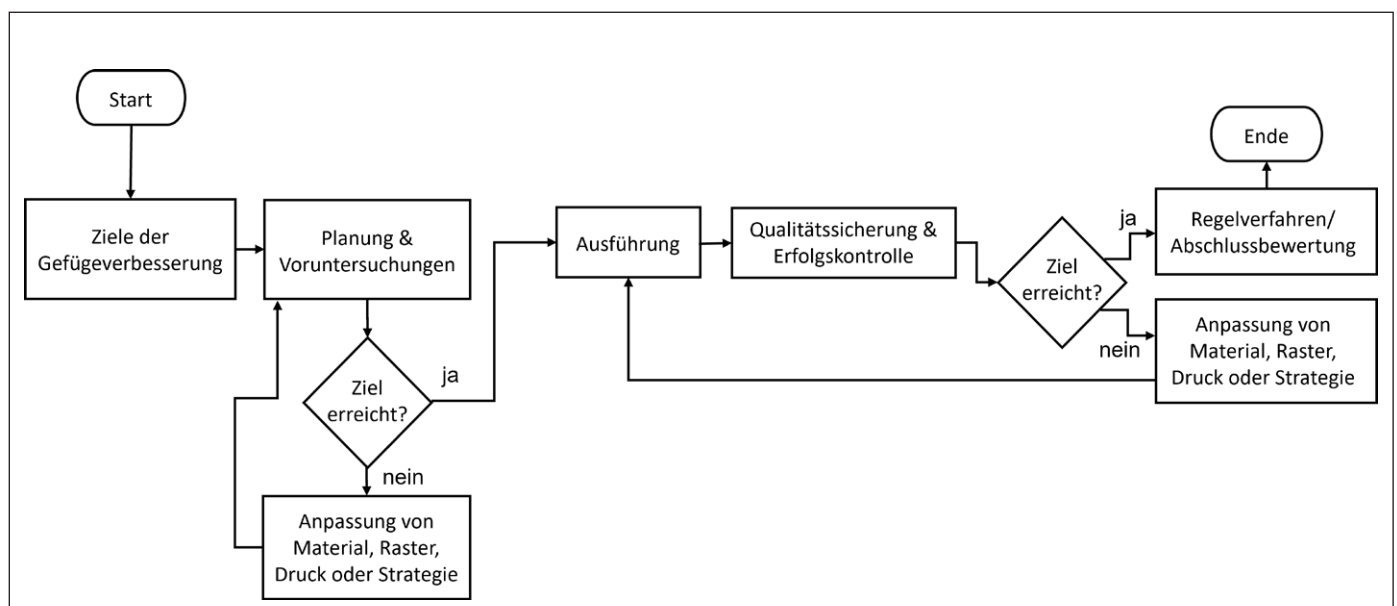


Abb. 1: Systematische Vorgehensweise zur Gefügeverbesserung bei Stampfbeton-Gewölbebrücken

Quelle: eigene Darstellung

nerischen Bewertung, kann eine gefügeverbessernde Injektion erforderlich werden, ggf. auch nur in besonders beanspruchten Tragwerksbereichen. Ziel ist es, Hohlräume und Fehlstellen zu reduzieren, den inneren Verbund des Stampfbetons zu verbessern und damit eine belastbarere Grundlage für die tragwerksplanerische Bewertung zu schaffen. Gegenüber dem vollständigen Ersatz der historischen Bauwerksstrukturen stellt dies häufig eine substanzschonendere und nachhaltigere Instandsetzungsstrategie dar.

In der Praxis stellt sich jedoch häufig die Frage, in welcher Reihenfolge Untersuchungen, Bewertungen und Instandsetzungsmaßnahmen sinnvoll durchgeführt werden sollten und welche flankierenden Maßnahmen erforderlich sind. Eine isolierte Einzelmaßnahme ist oft nicht zielführend, wenn Schadensursachen, Materialzustand und Feuchteinwirkungen nicht ausreichend berücksichtigt werden. Vielmehr ist ein abgestimmtes Vorgehen erforderlich, das von der Bestandsaufnahme über die Bauwerksdiagnostik und Schadensbewertung bis zur Planung, Ausführung und Qualitätssicherung der Gefügeverbesserung reicht. Ergänzende Maßnahmen, insbesondere zum Feuchteschutz, sind dabei in die Gesamtstrategie einzubinden. Der vorliegende Beitrag stellt Erfahrungswerte aus Ertüchtigungsmaßnahmen an historischen Tragstrukturen dar und leitet daraus wesentliche Schritte für eine erfolgreiche Ausführung ab.

Regelwerkliche Einordnung von Injektionsmaßnahmen

Technische Regelwerke bei der DB

Bis zum Jahr 2012 verfügte die DB über das Regelwerk „Vergelungsmaßnahmen – Planung, Durchführung und Qualitätssicherung“ für die nachträgliche Abdichtung massiver Eisenbahnbrücken [3]. Im praktischen Einsatz traten jedoch teilweise Ausführungsmängel auf, die insbesondere auf unzureichende Bauwerksuntersuchungen, Defizite bei der Prozessüberwachung sowie eine nicht immer fachgerechte Ausführung zurückzuführen waren. Hierdurch kam es unter anderem zur Beeinträchtigung vorhandener Entwässerungseinrichtungen, zum unkontrollierten Eintrag von Injektionsmaterial und damit zu langsam fortschreitenden, aber mitunter erheblichen Folgeschäden.

Die im Jahr 2012 erstellte Überarbeitung des Regelwerks reagierte auf diese Erkenntnisse und passte die Anforderungen an den Stand der Technik an. Wesentliche Neuerungen betrafen die Erweiterung des zugelassenen Materialspektrums, die verschärften Anforderungen an den Umwelt- und Gesundheitsschutz sowie die deutlich intensivere Bauwerks- und Baugrunddiagnostik als Grundlage der Instandsetzungsplanung. Darüber hinaus wurden die Verantwortlichkeiten des sachkundigen Planers, die Prüfung der Ausführungsplanung sowie die digitale Erfassung und Überwachung sämtlicher Injektionsparameter präzisiert. Gleichzeitig wurde das Spektrum der geregelten Injektionsverfahren über die klassische Vergelung hinaus erweitert und an unterschiedliche Schadensbilder angepasst [4].

Die Überarbeitung des Regelwerks erfolgte dabei nicht aufgrund grundlegender fachlicher Defizite des ursprünglichen Regelwerks, sondern als konsequente Weiterentwicklung unter Berücksichtigung neuer Werkstofftechnologien, gestiegener Anforderungen an Qualitätssicherung, Umweltverträglichkeit und Planung sowie aktueller technischer Erkenntnisse. Die in Teil 2 dieser Ausarbeitung aufgeführten Ausführungsbeispiele zeigen, dass die bereits im Jahr 2012 geschaffenen Grundlagen eine qualitätsgesicherte und regelwerkskonforme Wiedereinführung der Vergelung als Instandsetzungsverfahren für massive Eisenbahnbrücken ermöglichen.

Technische Regelwerke außerhalb der DB

Auch außerhalb des Regelwerks der DB stehen technische Regelwerke und Merkblätter zur Verfügung, die auf Injektionsmaßnahmen an historischen Tragstrukturen angewendet und, wenn auch eingeschränkt, übertragen werden können. Hierzu zählen insbesondere die ZTV-ING und die Normenreihe DIN EN 1504:2013-06, die

Verfahren zur Instandsetzung und zum Schutz von Betonbauteilen beschreiben [5, 6]. Für historische Mauerwerks- und Bestandskonstruktionen sind darüber hinaus Merkblätter der WTA relevant, insbesondere zu Injektionsmaßnahmen, Feuchte transport in kapillaraktiven Baustoffen sowie Anforderungen an Bauwerksdiagnostik und Ausführung [7, 8].

Die genannten Regelwerke sind nicht unmittelbar auf jede Stampfbeton-Gewölbebrücke übertragbar, liefern jedoch wichtige methodische Grundlagen für eine qualitätsgesicherte Planung. Dazu gehören die systematische Zustandserfassung, die Auswahl geeigneter Injektionsstoffe in Abhängigkeit von Schadensbild, Feuchtezustand und Instandsetzungsziel sowie die Festlegung von Ausführungs- und Kontrollparametern. Einen besonderen Stellenwert haben Versuchsfelder beziehungsweise Testinjektionen, mit denen Bohrbild, Injektionsdruck, Materialverbrauch sowie Eindring- und Verbundverhalten zwischen Gefüge und Injektionsgut überprüft werden können.

Je nach Zielsetzung kommen unterschiedliche Verfahren zur Anwendung. Kraftschlüssige Rissverfüllungen erfolgen häufig mit Epoxidharzen, während größere Hohlräume oder strukturverbessernde Maßnahmen auch zementgebundene Suspensionen erfordern können. Bei begrenzt beweglichen Rissen können Polyurethanharze zur Verbesserung der Dichtheit eingesetzt werden. Schleier- und Flächeninjektionen, etwa mit Acrylatgelen, dienen vor allem der nachträglichen Abdichtung wasserbelasteter Bauteile. Lokal stark geschädigte Bereiche können ergänzend durch Betonersatz- oder Reprofilierungsmaßnahmen instandgesetzt werden [9].

Ihr exklusiver Händler für DE / AT

PLATTFORM
BASKET

RR19-500

WICHTIGE INFOS*:

Arbeitshöhe 19,00 m

seitl. Reichweite 12,60 m

max. Traglast 500 kg

NEU Kranfunktion 500kg

*Technische Änderungen vorbehalten

Besuchen Sie uns:



Stand O/240 bei
Platform Basket
im Freigelände

weitere Infos:

SCAN ME



Kunze GmbH DE

DE-83052 Bruckmühl

DE-59348 Lüdinghausen

Kunze AT GmbH

AT-8561 Söding - St. Johann

www.kunze-buehnen.com

KUNZE

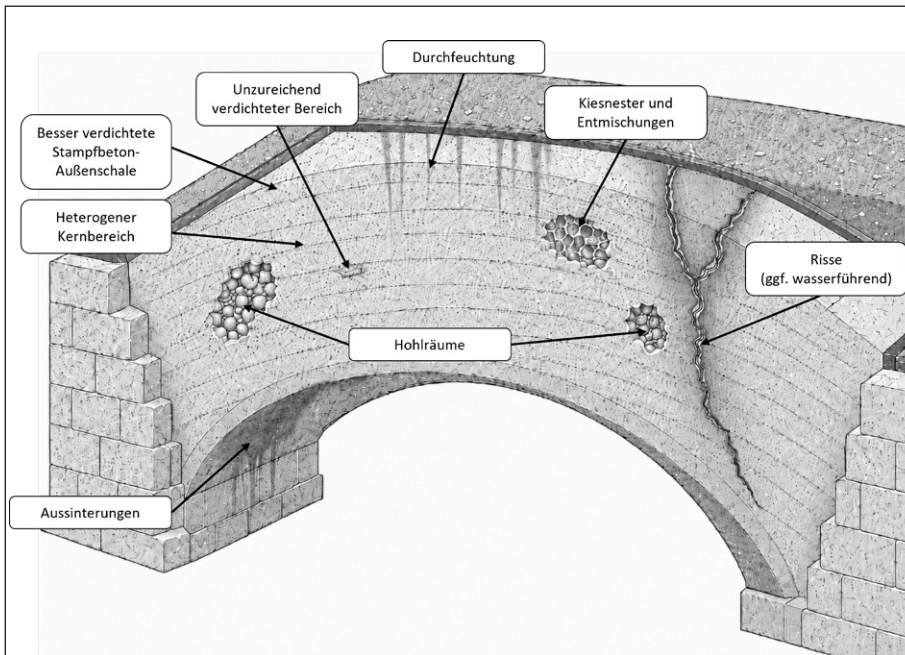


Abb. 2: Schematische Darstellung typischer Schadensmechanismen und -bilder bei Stampfbeton-Gewölbebrücken
Quelle: eigene Darstellung in Kombination mit KI-Bildgenerierung

Die Regelwerke zeigen, dass Injektionsmaßnahmen stets aus Schadensdiagnose, Instandsetzungsziel, Planung und objektspezifischer Festlegung der Verpressparameter (insbesondere Verpressdruck, Bohrraster und -tiefe sowie Verpressvolumen), Materialwahl, Ausführung und Erfolgskontrolle abzuleiten sind. Für Stampfbeton-Gewölbebrücken lassen sich diese Grundsätze sinngemäß übertragen, müssen jedoch an das historische Gefüge und die Randbedingungen des Eisenbahnbetriebs angepasst werden.

Vorgehen bei der Instandsetzungsplanung von Stampfbeton-Gewölbebrücken

Im folgenden Abschnitt wird das Vorgehen bei der Instandsetzungsplanung von Stampfbeton-Gewölbebrücken erläutert. Ziel ist es, die in Abb. 1 dargestellte syste-

matische Vorgehensweise zur Stampfbeton-Gefügeverbesserung den Lesenden nachvollziehbar zu erläutern. Die dargestellten Schritte bilden einen zusammenhängenden Planungs- und Überwachungsprozess unter Einbeziehung der vorab erläuterten Regelwerke. Zunächst werden die bauwerksspezifischen Randbedingungen sowie die relevanten Schadensmechanismen als Grundlage für die Festlegung des Injektionsanlasses erläutert. Anschließend werden die einzelnen Schritte der in Abb. 1 zusammengefassten Vorgehensweise sowie ihre Wechselwirkungen näher beschrieben.

Bauwerksspezifische Randbedingungen im Eisenbahnwesen

Instandsetzungsmaßnahmen an Stampfbeton-Gewölbebrücken sind an die besonderen Randbedingungen des Eisenbahnwe-

sens anzupassen. Neben den dynamischen Beanspruchungen und Erschütterungen infolge wiederkehrender Lastwechsel aus dem Zugverkehr sind insbesondere kurze Sperrpausen, begrenzte Bauzeitfenster und eingeschränkte Zugänglichkeiten zu berücksichtigen, beispielsweise im Bereich von Gewölbeuntersichten, Widerlagern oder angrenzenden Tunnelbauwerken.

Darüber hinaus können Wasserzutritte und aggressive Umgebungsbedingungen die Materialeigenschaften und das Gefüge des Stampfbetons langfristig beeinträchtigen. Wiederkehrende Durchfeuchtungs- und Austrocknungsprozesse, Frost-Tauwechsel, chemische Einwirkungen sowie ggf. mechanische Beanspruchungen können vorhandene Risse und Hohlräume vergrößern, Auslaugungs- und Stofftransportprozesse begünstigen und zu einer fortschreitenden Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit führen.

Diese bauwerks-, betriebs- und umgebungsbedingten Randbedingungen wirken sich unmittelbar auf den Untersuchungsumfang, die Ausführungsplanung und die Wahl des Injektionsverfahrens aus.

Schadensmechanismen und Ableitung des Injektionsanlasses

Das Gefüge historischer Stampfbeton-Gewölbebrücken ist infolge der Herstellung häufig durch ausgeprägte Inhomogenitäten gekennzeichnet. Wie in Abb. 2 dargestellt, können der lagenweise Einbau und die manuelle Verdichtung zu unzureichend verdichteten Bereichen, Entmischungen, Arbeits- und Stampffugen sowie lokal stark schwankenden Materialeigenschaften führen. In Verbindung mit langjähriger Feuchteeinwirkung können Auslaugungen, Ausspülungen und Frost-Tauwechsel das Gefüge zusätzlich schwächen und vorhandene Hohlräume oder Risse vergrößern. Wiederkehrende dynamische Beanspruchungen aus dem Eisenbahnverkehr sowie Setzungen und Verformungen des Tragwerks können die Schadensentwicklung weiter vorantrei-

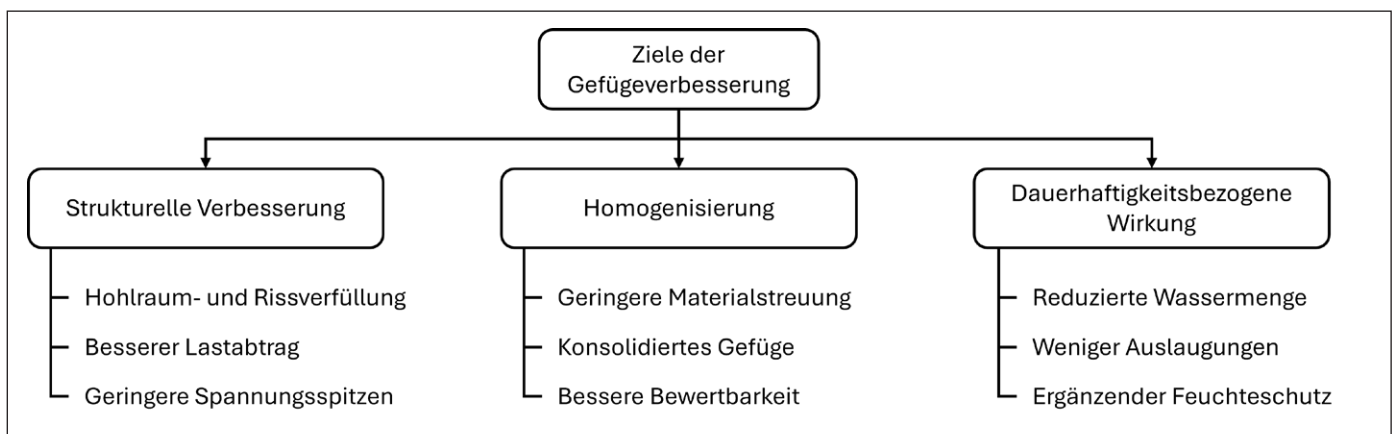


Abb. 3: Ziele der Gefügeverbesserung

Quelle: eigene Darstellung

ben. Daraus können eine verminderte Kraftübertragung, lokale Spannungskonzentrationen und eine erhöhte Wasserwegigkeit innerhalb des Gewölbes resultieren.

Ein Injektionsanlass liegt insbesondere dann vor, wenn Risse, Hohlräume oder unzureichend verbundene Gefügebereiche die Standsicherheit, Verkehrssicherheit oder Dauerhaftigkeit des Bauwerks beeinträchtigen. Voraussetzung für die Festlegung einer Injektionsmaßnahme ist daher eine bauwerksdiagnostische Untersuchung, mit der Art, Ausmaß, räumliche Verteilung und Ursache der Gefügestörungen erfasst werden. Auf dieser Grundlage ist zu beurteilen, ob eine Injektion zur Riss- oder Hohlraumverfüllung, zur Verbesserung des inneren Verbunds oder zur Homogenisierung der Materialeigenschaften geeignet ist. Fortbestehende Schadensursachen, insbesondere Wasserzutritte oder Bauwerksbewegungen, sind dabei gesondert zu berücksichtigen und ggf. durch ergänzende Maßnahmen zu beseitigen.

Ziele der Gefügeverbesserung

Vor der Planung einer Gefügeverbesserung sind auf Basis der Bestandsdatenanalyse die mit der Maßnahme verfolgten Ziele eindeutig festzulegen. Die mit einer Gefügeverbesserung verfolgten Ziele lassen sich grundsätzlich in drei Kategorien einteilen. Abb. 3 gibt einen Überblick über diese Zielkategorien.

Ein mögliches Ziel besteht in der strukturellen Verbesserung, indem vorhandene Hohlräume, Risse und unzureichend verbundene Gefügebereiche verfüllt werden. Dadurch sollen der innere Verbund verbessert, der Lastabtrag innerhalb des Gewölbes vergleichmäßig und lokale Spannungskonzentrationen reduziert werden. Gleichzeitig kann eine kraftschlüssige Verfüllung dazu beitragen, weitere Umlagerungen und Nachsetzungen zu begrenzen.

Bei inhomogenen Stampfbetongefügen kann die Injektion darüber hinaus auf eine Homogenisierung der Materialeigenschaften

ten und insbesondere der örtlich stark streuenden Festigkeiten abzielen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nicht zwingend eine gleichmäßige Erhöhung der Druckfestigkeit erreicht wird. Maßgebend ist vielmehr, Fehlstellen zu reduzieren, schwach verbundene Bereiche zu konsolidieren und dadurch eine verlässlichere Beschreibung des Tragverhaltens und der für die rechnerische Bewertung anzusetzenden Materialeigenschaften zu ermöglichen.

Neben den statisch-konstruktiven Zielen können auch dauerhaftigkeitsbezogene Verbesserungen angestrebt werden. Durch die Verfüllung wasserführender Risse und Hohlräume lassen sich mögliche Transportwege für Wasser und gelöste Schadstoffe reduzieren. Dadurch können Auslaugungsprozesse sowie Schädigungen infolge von Frost-Tauwechseln oder chemischen Einwirkungen begrenzt werden. Eine Injektion ersetzt jedoch in der Regel keine funktionierende Bauwerksabdichtung [10]. Bestehende Wasserzutritte und ihre Ursachen sind daher gesondert zu untersuchen und ggf. durch ergänzende Abdichtungs- oder Entwässerungsmaßnahmen zu beheben. Eine Verbesserung der Ermüdungsbeständigkeit kann sich mittelbar aus einem gleichmäßigeren Lastabtrag und der Reduktion lokaler Spannungsspitzen ergeben, ist jedoch für den jeweiligen Anwendungsfall gesondert nachzuweisen.

Planung und Voruntersuchung

Grundlage einer zielgerichteten Gefügeverbesserung ist eine belastbare Kenntnis des Bauwerkszustands. Hierzu sind die vorab analysierten Bestandsunterlagen durch bauwerksdiagnostische Untersuchungen zu ergänzen. Die Bausteine der Voruntersuchung sind in Abb. 4 dargestellt.

Zerstörungsfreie Verfahren wie Radar, Ultraschall oder Endoskopie können Hinweise auf Hohlräume und Gefügeheterogenitäten liefern. Für die Bestimmung der Materialeigenschaften und die direkte Beurteilung des inneren Gefüges sind in der Regel ergän-

zende Bohrkernentnahmen erforderlich. Die Untersuchungen sollten repräsentative Bauwerksbereiche und auffällige Schadstellen erfassen.

Aus den Untersuchungsergebnissen und den zuvor definierten Zielen ist eine bauwerksspezifische Injektionsstrategie abzuleiten. Die Auswahl von Injektionsverfahren und -stoff richtet sich insbesondere nach Rissbreite, Hohlraumgehalt, Durchlässigkeit und Feuchtezustand des Gefüges sowie der angestrebten Wirkung. Zusätzlich sind die Materialverträglichkeit, das Fließ- und Erstarrungsverhalten sowie mögliche Schwind- und Steifigkeitseffekte zu berücksichtigen. Die geplante Gefügeverbesserung ist zudem tragwerksplanerisch zu bewerten, da lokale Veränderungen von Festigkeit und Steifigkeit den Lastabtrag beeinflussen und Umlagerungen oder Spannungskonzentrationen hervorrufen können.

Vor der flächigen Ausführung sollten repräsentative Versuchsfelder angelegt werden. Diese dienen der Überprüfung der Injizierbarkeit sowie der Festlegung von Bohrlochraster, Injektionstiefen, Materialrezeptur, Druckgrenzen sowie Prüf- und Abnahmekriterien.

Ausführung der Gefügeverbesserung

Die Ausführung der Gefügeverbesserung erfolgt auf Grundlage der zuvor festgelegten Injektionsstrategie und der in den Versuchsfeldern ermittelten Verfahrensparameter. Hierzu sind zunächst die Bohrlochanordnung, die Injektionstiefen und das Injektionsraster entsprechend der Geometrie des Gewölbes und der räumlichen Verteilung der Gefügestörungen festzulegen. Die Anordnung der Injektionsstellen sollte so gewählt werden, dass eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Injektionsstoffs erreicht und eine unkontrollierte Überlagerung einzelner Injektionsbereiche vermieden wird. Während der Injektion sind neben herstellerbedingten Vorgaben insbesondere der Injektionsdruck, die eingebrachte Materialmenge, das Fließverhalten und die Injekti-

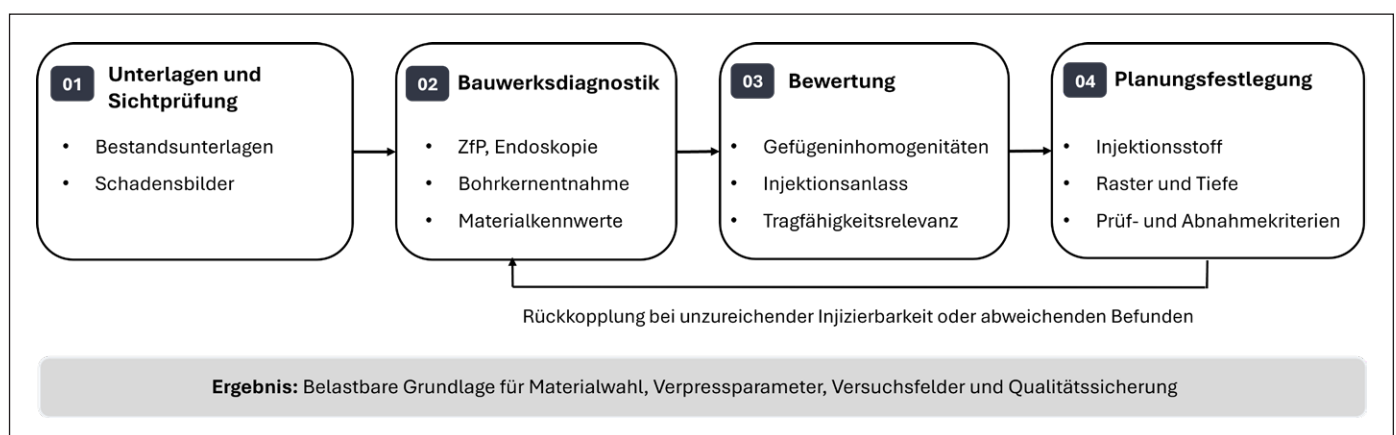


Abb. 4: Bausteine der Voruntersuchung als Grundlage der Injektionsplanung

Quelle: eigene Darstellung

onsdauer kontinuierlich zu überwachen und zu dokumentieren. Der Druckverlauf und die aufgenommene Injektionsmenge liefern wesentliche Hinweise auf die Aufnahmefähigkeit des Gefüges und den Fortschritt der Verfüllung. Auf Grundlage dieser Messgrößen sind für jede Injektionsstelle geeignete Abbruch- und Wechselkriterien festzulegen, beispielsweise bei Erreichen der zulässigen Druckgrenze, ausbleibender Materialaufnahme oder Austritt des Injektionsstoffs an benachbarten Bohrungen und Bauteiloberflächen.

Besondere Herausforderungen ergeben sich aus unbekannten oder unregelmäßigen Hohlraumgeometrien, unkontrollierten Materialabflüssen sowie vorhandenen Wasserströmungen. Diese können die Ausbreitung des Injektionsstoffs erheblich beeinflussen und eine Anpassung von Druck, Viskosität, Injektionsreihenfolge oder Bohrlochrastrerfordern. Bei Arbeiten unter laufendem oder eingeschränkt aufrechterhaltenem Bahnbetrieb sind darüber hinaus die betrieblichen Randbedingungen, Erschütterungen und kurzen Sperrpausen in den Ausführungsablauf einzubeziehen. Sämtliche Abweichungen von der geplanten Vorgehensweise und die daraus abgeleiteten Anpassungen sind nachvollziehbar zu dokumentieren.

Qualitätssicherung und Erfolgskontrolle

Die Qualitätssicherung erfolgt sowohl während der Ausführung als auch nach Abschluss der Maßnahme. Während der Injektion werden die maßgebenden Frischstoffeigenschaften kontrolliert und die ausgeführten Arbeiten vollständig dokumentiert. Nach Abschluss der Injektion wird der Maßnamenerfolg durch geeignete Kontrollprüfungen, vorzugsweise Bohrkernentnahmen und zerstörungsfreie Nachuntersuchungen, bewertet. Maßgebend ist, ob die zuvor definierten Ziele der Gefügeverbesserung erreicht werden.

Risiken und Grenzen

Die Wirksamkeit einer Injektion ist durch die Heterogenität des Bestandsgefüges und die begrenzte Erfassbarkeit innerer Fehlstellen eingeschränkt. Insbesondere bei unbekannten Hohlraumgeometrien oder sehr dichten Gefügebereichen kann es zu einer unvollständigen Durchdringung und damit zu lokal verbleibenden Fehlstellen oder zu einem Abfluss in vorhandene, nicht explizit lokalisierbare Kavernen kommen. Weitere Risiken bestehen in möglichen Unverträglichkeiten zwischen Injektionsstoff und Bestandmaterial sowie in Unsicherheiten hinsichtlich des langfristigen Verbund- und Alterungsverhaltens der eingesetzten Stoffe.

Eine besondere Bedeutung kommt daher der Bauwerksdiagnostik zu. Werden Schadensursachen, Feuchteverhältnisse oder Gefügeinhomogenitäten unzutreffend oder

unvollständig bewertet, kann eine geeignete Injektionsstrategie nicht abgeleitet werden. Zudem ersetzt die Injektion in der Regel weder die Beseitigung fortbestehender Wasserezutritte noch erforderliche Abdichtungs-, Entwässerungs- oder konstruktive Maßnahmen. Die Grenzen des Verfahrens sind deshalb bereits in der Planung zu berücksichtigen und durch geeignete Kontrollprüfungen zu verifizieren.

Zusammenfassung und Ausblick

Gefügeverbessernde Injektionen an Stampfbeton-Gewölbebrücken können eine substanzschonende Instandsetzungsmaßnahme darstellen, wenn sie auf einer qualifizierten Fachplanung der Unterbausanierung beruhen. Entscheidend ist, die Instandsetzungsmaßnahme nicht als nachgeordnetes Ausführungsdetail zu behandeln; vielmehr sollte sie als eigenständige Maßnahme aus vorhandenem Bauwerkszustand, vorliegenden Schadensbildern, Instandsetzungsziel und tragwerksplanerischer Bewertung abgeleitet werden.

Der Beitrag zeigt hierfür eine systematische Vorgehensweise auf. Grundlage sind die Auswertung der Bestandsunterlagen, eine zielgerichtete Bauwerksdiagnostik sowie Untersuchungen zu Gefüge und Materialkennwerten. Darauf aufbauend sind Injektionsziel, Materialwahl, Bohrbild, Injektionstiefe, Verpressparameter sowie Prüf- und Abnahmekriterien objektspezifisch festzulegen. Versuchsfelder beziehungsweise Testinjektionen sind dabei ein wesentliches Mittel, um die Injizierbarkeit, Materialverteilung und Wirksamkeit vor der flächigen Ausführung zu überprüfen.

Während der Ausführung sind die maßgebenden Injektionsparameter nachvollziehbar zu dokumentieren und durch geeignete Kontrollprüfungen zu ergänzen. Reine Verbrauchsangaben reichen zur Bewertung des Maßnamenerfolgs nicht aus, da sie nicht belegen, dass das Injektionsgut die zu ertüchtigenden Bereiche erreicht hat. Teil 2 dieses Beitrags veranschaulicht die dargestellte Vorgehensweise anhand von drei Praxisbeispielen und zeigt, unter welchen Randbedingungen gefügeverbessernde Injektionen zielführend sind. ■

QUELLEN

- [1] UIC – International union of railways, „Workshop on Masonry Arch Bridges 2018“, Workshop on Masonry Arch Bridges 2018. Zugriffen: 22. Dezember 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://uic.org/events/workshop-on-masonry-arch-bridges>
- [2] Veihelmann, K.: „Frühgeschichte des modernen Konstruktionsbetons: Teil 3: Vom Pisé zum Stampfbeton“, Bautechnik (92), 6/2025, S. 424–431, doi: 10.1002/bate.201400089
- [3] Deutsche Bahn AG, Ril 804.6102 Eisenbahnbrücken u. sonstige Ingenieurbauwerke: Vergelungsmaßnahmen – Planung, Durchführung und Qualitätssicherung, München, 1. Mai 2003. Zurückgezogen
- [4] Deutsche Bahn AG, Ril 804.6102 Eisenbahnbrücken u. sonstige Ingenieurbauwerke: Vergelungsmaßnahmen – Planung, Durchführung und Qualitätssicherung, München, 1. Mai 2012. Unveröffentlicht

[5] DIN 1504-5:2013-06 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität – Teil 5: Injektion von Betonbauteilen, Berlin, 2013

[6] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-ING Teil 3 Massivbau, August 2025

[7] WTA Merkblatt 4-10 Ausgabe 03.2004/D: Injektionsverfahren mit zertifizierten Injektionsstoffen gegen kapillaren Feuchtetransport

[8] WTA Merkblatt 5-20: Ausgabe 05.2009/D Gelinjektion

[9] Technische Regel Instandhaltung von Betonbauwerken, Mai 2020

[10] Bartels, J.-H.; Hartig, C.; Kunz, S.; Petersen, L.: „Grouting of Historic Masonry Arch Bridges – A Case Study on the Rendsburg Loop“, in Proceedings of the International Masonry Conference, Lübeck, Juli 2026



Dr.-Ing. Jan-Hauke Bartels

Brückentragwerksplaner und
Bauwerksmonitoringspezialist
LPI Ingenieurgesellschaft mbH,
Hannover
bartels@lpi-ing.de



David Tiedtke, B.Sc.

Bauwerksdiagnostiker,
Beton-/Mauerwerksinstandsetzung
Fachplaner für Bauwerksinstandsetzung
nach WTA (WTA/EIPOS)
LPI Ingenieurgesellschaft mbH, Herten
tiedtke@lpi-ing.de



Dr.-Ing. Sebastian Kunz

Betoningenieur,
Fachkoordination Bahninfrastruktur
LPI Ingenieurgesellschaft mbH, Herten
kunz@lpi-ing.de



Dr.-Ing. Conrad Pelka

Bauartverantwortung LS-Technik
und Brückenbau
DB InfraGO AG, Dresden
conrad.pelka@deutschebahn.com