

Teilerneuerung der Tunnel Kalmut und Talberg

Pilotprojekt der DB Netz AG zur Teilerneuerung einer alten Bestandstunnelschale mit Stahlfaserspritzbeton

LARS RÖCHTER | HARALD JOOS |
MICHAEL SCHLEBUSCH

Die Tunnel Kalmut und Talberg befinden sich auf der eingleisigen, nicht elektrifizierten Eisenbahnstrecke Boppard–Emmelshausen. Hierbei handelt es sich um die viertsteilste Bahnstrecke in Deutschland mit bis zu 60,9 % Neigung. Die 1908 in Betrieb genommenen Tunnel wiesen ein Schadensbild mit Abplatzungen des Mauerwerks und Aussinterungen auf, welches eine Erneuerung erforderlich machte. Als individuelle technische Lösung wurden im Sinne einer Teilerneuerung das Abfräsen des Mauerwerks bis auf die gesunde Substanz und ein Ersatz mit Stahlfaserspritzbeton als endgültige Tunnelschale geplant und erfolgreich ausgeführt.

Projektbeschreibung

Die 124 m bzw. 144 m langen Tunnel Kalmut und Talberg befinden sich auf der eingleisigen, nicht elektrifizierten Eisenbahnstrecke 3020 Boppard–Emmelshausen im Regional-

netz Eifel Rhein-Mosel zwischen Boppard Hbf und dem Hp Boppard-Buchholz. Die Nebenstrecke wird von einem privaten Unternehmen nur mit Triebwagen betrieben. Aufgrund des starken Gefälles von 60,9 % handelt es sich gemäß der DB-Richtlinie (Ril) 465¹ um eine Steilstrecke, für die eine maximale Geschwindigkeit von 30 bzw. 40 km/h (Tal- bzw. Bergfahrt) zulässig ist.

Aufgrund des umfangreichen Schadensbildes der Tunnel wurde eine Erneuerung erforderlich. Zur Ausführung kam im Rahmen dieses Pilotprojektes der DB Netz AG eine Teilerneuerung der alten Bestandstunnelschale mit Stahlfaserspritzbeton als endgültige Tunnelschale. Gleichzeitig zur Planung erfolgte die 9. Aktualisierung der Ril 853 [3] hinsichtlich des Einsatzes von Stahlfaserspritzbeton im Rahmen von Tunnelerneuerungen, weshalb die Planung in enger Abstimmung mit den Richtlinienautoren erfolgte.

Die erforderliche Teilerneuerung erfolgte unter einer Totalsperre des Bahnbetriebs mit Einrichtung eines Schienenersatzverkehrs. Das Konzept der Teilerneuerung wurde gemeinsam

¹Ril 465.0001: Betrieb auf Steilstrecken; Besondere Vorschriften über das Bremsen, 15.11.1997, DB Netz AG

von der DB Netz, gbm Gesellschaft für Baugelogie und -messtechnik mbH als Tunnelbautechnischem Gutachter und der Vössing Ingenieurgesellschaft in einem Zeitraum von knapp vier Jahren für die Leistungsphasen 1 bis 7 der HOAI² entwickelt. Die Realisierung erfolgte größtenteils im Rahmen einer Sperrzeit von ca. drei Monaten. Nach Abschluss der Bauausführung konnte auf der Strecke im November 2018 wieder der Regelbetrieb aufgenommen werden. Die Gesamtkosten betragen ca. 5 Mio. EUR.

Baugrund- und Bauwerksdaten

Die Tunnel Kalmut und Talberg wurden 1905 bzw. 1907 in bergmännischer Bauweise durch einen hohen Bergausläufer des Kalmut bei einer maximalen Überdeckung von ca. 20-25 m aufgeföhren. Das einschalige Mauerwerksgehölbe der sohloffenen Tunnel besteht weitestgehend aus Ziegelstein. Eine Entwässerung ist nicht vorhanden. Auf beiden Widerlagerseiten des Tunnels befinden sich Schutzrischen, an deren Rückwand der aufgeschlossene Fels größtenteils nicht verkleidet ist. Die denkmalgeschützten Portale mit den Portaltürmen und der Portalmauer bestehen aus Grauwacke-Schiefer und Sandstein, während der Tunnelausbau in den Portalzonen aus großformatigem Natursteinmauerwerk hergestellt wurde.

Mit einer 2013 durchgeführten Sonderinspektion der Tunnelbauwerke wurde ein umfangreiches Schadensbild dokumentiert, das sich in starken Aussinterungen aus den Mauerwerksfugen der Portalwand und der Seitentürme sowie progressiv voranschreitenden Abplatzungen, Ausbrüchen und Nasserstellen des Tunnelausbaus und tiefen Ausbrüchen der Nischenleibungen zeigte. Angesichts dieser visuell festgestellten Schadenssituation der Tunneloberflächen wurde zu Beginn der Projektierung zunächst von einer Vollerneuerung des Tunnels mit einem vollständigen Rückbau des alten Ausbaus ausgegangen. Das von der gbm entwickelte Erkundungskonzept beinhaltete u. a. Kernbohrungen in Firste, Ulmen und Sohle in mehreren Querschnitten der Tunnel zur Erkundung des Mauerwerks und des anstehenden Rheinischen Schiefergebirges. Abb. 1 zeigt die Durchführung einer Kernbohrung in der Firste des Tunnels Kalmut. Hier sind die Schäden an der Gewölbeoberfläche in Form von Abschalungen, Ausbrüchen,

²HOAI: Honorarordnung für Architekten & Ingenieure; Leistungsphase 1: Grundlagenermittlung; Leistungsphase 7: Mitwirkung bei der Vergabe

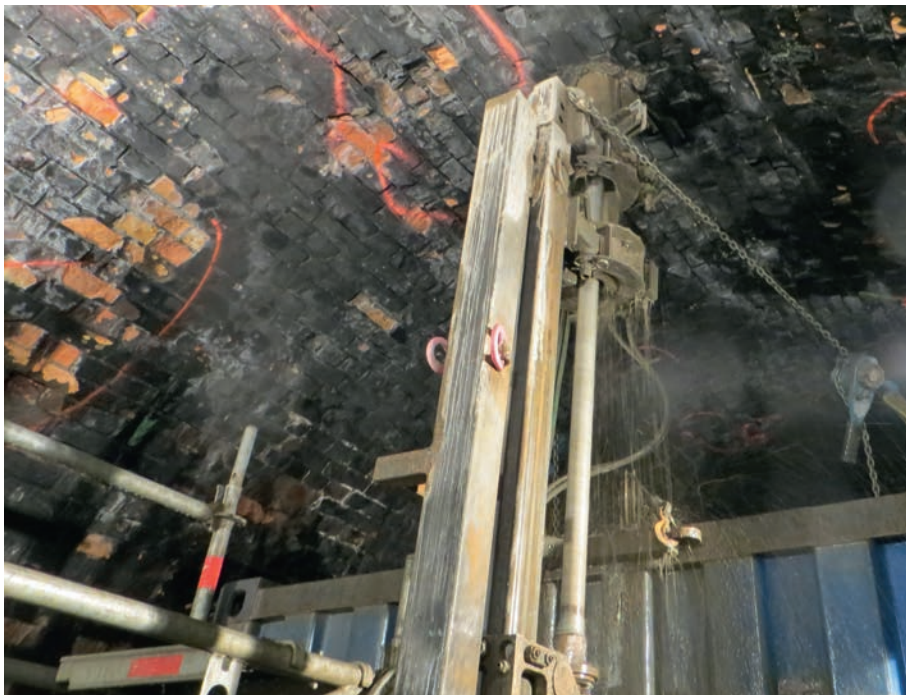


Abb. 1: Kernbohrung in der Tunnelfirste

Quelle: gbm



Abb. 2: Bohrkern aus der Tunnelfirste

Quelle: gbm



Abb. 3: Kamerabefahrung im Bohrloch

Quelle: gbm

offenen Fugen und Nasstellen sichtbar. Abb. 2 zeigt einen Bohrkern aus der Firste des Tunnels Kalmut mit den Bestandteilen Mauerwerk, Teerabdichtung, Schutzziegel, Hinterpackung und Schiefergebirge. Die Mauerwerksdicken aus Lochziegel wurden beim Tunnel Kalmut mit ca. 0,5-0,6 m und beim Tunnel Talberg mit ca. 0,8 m erkundet. Hinter dem Ziegelmauerwerk wurde eine Hinterpackung von 10 cm bis 70 cm beim Tunnel Kalmut und von 10 cm bis 110 cm beim Tunnel Talberg ermittelt. An einzelnen Stellen wurden Spannungsmessungen zur Ermittlung der In-situ-Spannungen im Tunnelausbau realisiert. Die Bohrkernproben sowie durchgeführte Kamerabefahrungen zeigen unterhalb der schadhaften Oberfläche eine gute bis sehr gute Qualität und eine vollständige Verfüugung des Mauerwerks (Abb. 3). Das Gebirge des Kalmut ist über die Tunnellänge bezüglich Klüftigkeit und Verwitterungsgrad heterogen, weshalb eine Aufteilung in Homogenbereiche vorgenommen wurde. So steht in den Portalbereichen stark klüftiges Gestein mit hohem Verwitterungsgrad an, während das Gebirge im mittleren Tunnelbereich bei größerer Überdeckung weitestgehend tragfähig ist. Innerhalb der Tunnelstrecke sind mehrere Störzonen mit stark zerlegtem und entfestigtem Gebirge zu verzeichnen.

Planung

Der Erkundung kam ein maßgeblicher Stellenwert zu. Aufgrund des positiven Fazits hinsichtlich der guten Qualität und der Dicke des Mauerwerks wurde zur Erneuerung der Tunnelbauwerke eine Planung ausgearbeitet, die entgegen der ursprünglich vorgesehenen Vollerneuerung ein Abräsen von ca. 10 cm bis auf die gesunde Substanz des Mauerwerks und einen Ersatz mit Stahlfaserspritzbeton vorsah (Abb. 4). Dadurch konnte das vorhandene Lichtraumprofil nach Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) beibehalten werden. Der Verbund zwischen Spritzbetonschale und Mauerwerk wird mittels Verdübelung gewährleistet. Auch hinsichtlich der Entwässerung konnte Bestandsschutz geltend gemacht werden, sodass auf den Einbau einer Entwässerung ver-

zichtet werden konnte. Anfallendes Sickerwasser aus dem Gebirge wird weiterhin über die Hinterpackung entlang des natürlichen, steilen Längsgefälles der Tunnel abgeleitet. Zusätzlich wurden lediglich systematisch Noppenbahnen aus Kunststoff der Breite 50 cm zwischen Mauerwerk und Spritzbetonschale installiert, die durch ein Vlies gegen den Aufprall von Stahlfasern geschützt und mit einer Mattenbewehrung in der Lage gesichert wurden. Entlang der Noppenbahnen abgeleitetes Wasser wird durch lokale Aussparungen in der Spritzbetonschale in das Schotterbett eingeleitet und in diesem wiederum über das vorhandene Gefälle abgeleitet. Die Drainageelemente der gewählten Spritzbetonlösung sind zwar nicht als gleichwertig zu einer Abdichtung mit einer wasserundurchlässigen Betonkonstruktion oder einer Kunststoffdichtungsbahn im Zusammenhang

mit einer Ortbetoninnenschale anzusehen, die zutage tretenden Wassermengen sind aber so gering, dass diese Gegebenheit als tolerierbar hingenommen werden konnte. Wesentlicher Vorteil dieser Teilerneuerung gegenüber einer Vollerneuerung ist der deutlich geringere bautechnische Aufwand bezüglich Rückbau und Betonage sowie die erheblich kleineren Anforderungen an Logistik und Baustelleneinrichtungsflächen (BE-Flächen). BE-Flächen standen im direkten Umfeld der Tunnel aufgrund der schwierigen Geländeverhältnisse und der über öffentliche Verkehrswege unzugänglichen Tunnel nahezu nicht zur Verfügung. Darüber hinaus wurde durch die Vermeidung des vollständigen Rückbaus der Bestandsgewölbe die Freilegung und Entsorgung der als gefährlicher Abfall einzustufenden teerhaltigen Abdichtung vermieden.

Gesellschaft für Baugeologie und -meßtechnik mbH

Baugrundinstitut

Untersuchung, Planung und Beratung in den Bereichen

- Ingenieur- und Hydrogeologie
- Grundbau, Felsbau, Geomechanik
- Tunnel- und Kavernenbau
- Umwelt, Deponien
- Geotechnische Messungen

76275 Ettlingen
Pforzheimer Str. 126a
Tel. 07243 / 76 32 - 0

85622 Feldkirchen
Dornacher Str. 61
Tel. 089 / 36 03 517 - 70

www.gbm-baugrundinstitut.de



65549 Limburg
Robert-Bosch-Str. 7
Tel. 06431 / 91 12 - 0

67663 Kaiserslautern
Casimirring 71
Tel. 0631 / 89 24 893 - 0

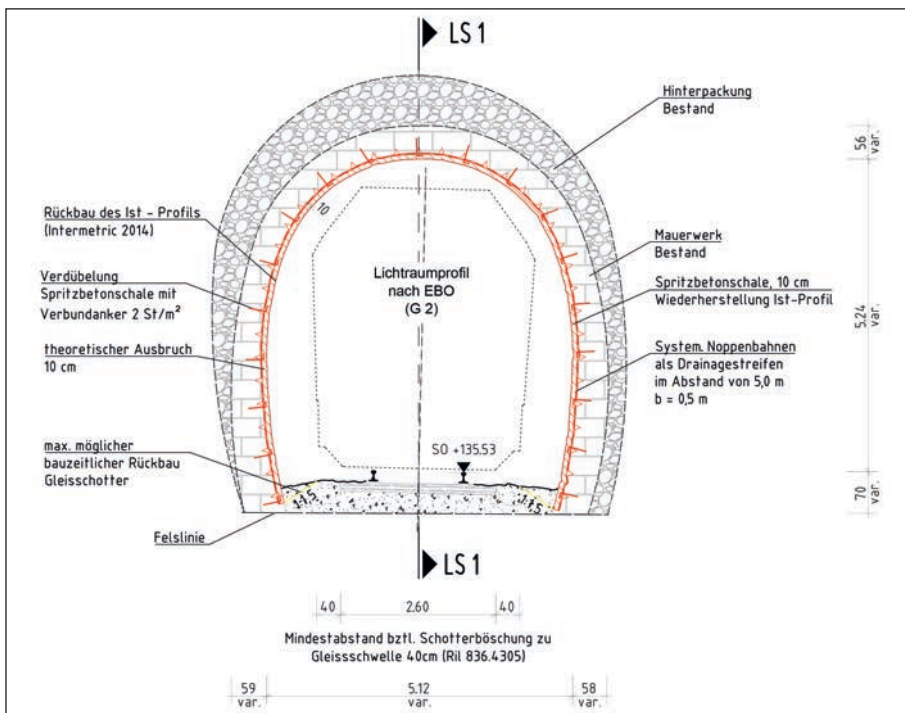


Abb. 4: Tunnelquerschnitt mit geplanten Maßnahmen

Quelle: DB Netz AG, Planverfasser Vössing

Mit dem Grundgedanken der Verhältnismäßigkeit, vor allem angesichts der betrieblichen Anforderungen einer geringen Verkehrsauslastung und dem Ausschluss von Lademaßüberschreitungs- und Doppelstockwagenverkehr sowie der angestrebten Verlängerung der betriebssicheren Nutzung um mindestens 30 Jahre, konnte mit der Teilerneuerung eine technisch sinnvolle und die wirtschaftlich günstigste Lösung zur Aufrechterhaltung der beiden Tunnelbauwerke entwickelt werden.

Stahlfaserspritzbeton

Nach eingehender Bewertung der vorliegenden Randbedingungen sowie der Chancen und Risiken entschied sich die DB Netz in Abstimmung mit dem Planer und dem Tunnelbautechnischen Gutachter dafür, mit dem Einsatz von Stahlfaserspritzbeton als endgültige Tunnelauskleidung ein Pilotprojekt zu generieren. Gemäß dem aktuellen Stand der Technik [5] und den Empfehlungen des STUVA-Arbeitskreises (Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen e.V., STUVA) „Instandsetzung von Verkehrstunneln“ [6] bietet der Einsatz von Stahlfaserspritzbeton folgende Vorteile gegenüber einer Mattenbewehrung:

- Bauzeitverkürzung, da keine Mattenbewehrung aufgehängt werden muss
- geringere Abplatzneigung infolge geringeren Sprengdrucks der Stahlfasern im Fall von Korrosion
- bessere Homogenität der Spritzschicht, da keine Spritzschatten entstehen.

Ein Risiko bestand hinsichtlich der Genehmigungsfähigkeit dieser Lösung, da Stahlfaserspritzbeton gemäß der Ril 853.4003 als unregelmäßige Bauart gilt. Auf Grundlage der zum Zeitpunkt der Entscheidung für die Verwendung von Stahlfaserspritzbeton gültigen Ril 853.4003 [1] musste somit davon ausgegangen werden, dass eine unternehmensinterne Genehmigung (UiG) und eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) des Eisenbahn-Bundesamts (EBA) erforderlich sein würden. Gleichzeitig zur Planung der Erneuerung der Tunnel Kalmut und Talberg befand sich die 9. Aktualisierung der Ril 853.4003 in intensiver Abstimmung mit dem EBA, deren Zwischenergebnisse in enger Abstimmung mit den Richtlinienautoren bereits berücksichtigt werden konnten. Der Entwurf der Ril 853.4003 E 11.2015 [2] sah eine weitreichende Änderung in dem Sinne vor, dass für die Anwendung in der Instandsetzung Ausnahmen geregelt werden sollten, für die dann keine separate Genehmigung mehr erforderlich sein würde. Auf Basis der noch gültigen Ril wurde der UiG-Antrag für die Erneuerung der Tunnel Kalmut und Talberg im März 2018 positiv beschieden. Mit der bauaufsichtlichen Einführung der 9. Aktualisierung der Ril 853.4003 [3] trat die Neuregelung in Kraft. Hiernach haben sich die Ausnahmen für die Verwendung in der Instandsetzung/Teilerneuerung durchgesetzt. Damit ist aktuell die Verwendung von Stahlfaserspritzbeton als Ersatz eines bestehenden Ausbaus zu-



Abb. 5: Fräsarbeiten in Tunnellängsrichtung

Quelle: Vössing

lässig – ohne UiG oder ZiE! Diese Neuregelung machte den bereits eingereichten ZiE-Antrag somit entbehrlich.

Nachdem somit die Genehmigung für den Einsatz von Stahlfaserspritzbeton für den endgültigen Ausbau der Tunnelbauwerke vorlag, wurde die Bauleistung ausgeschrieben. Die Ausschreibung des Stahlfaserspritzbetons erfolgte hierbei nach Eigenschaften, da gemäß DIN EN 14487-1 [4] zur Instandsetzung und Verstärkung von tragenden Konstruktionen, z.B. Tunnel mit geringem Verkehrsaufkommen, die Überwachungskategorie 2 anzusetzen ist. Als Eigenschaft für faserbewehrten Beton wurde gemäß [4] die Restfestigkeitsklasse vorgegeben und geprüft. Außerdem wurden die Druckfestigkeitsklasse C25/30 sowie die Dichtigkeitsklasse 3 (kapillar durchfeuchtet) vorgegeben. Die Wahl des Spritzverfahrens (trocken bzw. nass) wurde dem Auftragnehmer (AN Bau) freigestellt.

Minimierung der Sperrzeit

Eine weitere Herausforderung im Rahmen des Genehmigungsverfahrens resultierte aus dem Verzicht auf ein Planrechtsverfahren und dem damit einhergehenden Erfordernis, das Einvernehmen mit sämtlichen Betroffenen herzustellen. So war zu berücksichtigen, dass für den privaten Bahnbetreiber die Minimierung der Sperrzeit höchste Priorität hatte. Mit nachfolgend aufgelisteten Maßnahmen gelang es, die erforderliche Sperrzeit von zunächst ca. 17 Monaten (Vollerneuerung) bzw. ca. zehn Monaten (Teilerneuerung, jeweils Stand Vorplanung) auf etwa drei Monate zu verkürzen:

- Verzicht auf die Montage von durchgehender Mattenbewehrung durch den Einsatz von Stahlfaserspritzbeton
- Planung eines 2- bzw. 3-Schichtbetriebs anstelle eines 1-Schicht-Betriebs
- Durchführung von Arbeiten in beiden Tunneln und in den Voreinschnitten (Felssicherungen) simultan statt sukzessiv
- Verzicht auf den Einbau einer Entwässerung
- Durchführung der Erneuerung nur bis unterhalb der Schotteroberkante anstelle einer



Abb. 6: Zwischenzustand des teilgefrästen Tunnels

Quelle: DB Netz AG

Erneuerung bis auf die Felsgrenze und damit Verzicht auf eine Schotterhalterung

- statischer Nachweis der Möglichkeit des Abfrärens über die gesamte Tunnellänge anstelle eines abschlagsweisen Vorgehens.

Die letztgenannte Maßnahme des statischen Nachweises gelang hierbei dadurch, dass in einem ersten Schritt der Bestandstunnel nachgerechnet werden konnte, indem die Systemlinie der Tunnelschale iterativ angepasst wurde, bis ein Lastabtrag in der bestehenden Tunnelschale nur noch über Druckspannungen nachgewiesen werden konnte. Die Ergebnisse wurden durch Abgleich mit den Spannungsmessungen im Tunnelausbau plausibilisiert. Der Bauzustand des über die gesamte Tunnellänge abgefrästen Mauerwerks wurde anschließend mit der ermittelten Systemlinie unter Berücksichtigung der verringerten Mauerwerksstärke nachgewiesen. Gemäß der Ril 853 wurde hierbei eine statisch wirksame Funktion der Stahlfasern bei den Nachweisen nicht angesetzt.

Ausführung

Die Ausführung konnte gemäß der Planung unter Einhaltung der vorgesehenen Sperrzeit erfolgreich realisiert werden. Die Arbeiten wurden von einer ca. 1900 m² großen Haupt-BE-Fläche am Hp Buchholz organisiert, von wo aus sämtliche Materialien und das Personal über eine Entfernung von ca. 7 km mit der maximal zulässigen Geschwindigkeit von 20 km/h mit einem eingesetzten Arbeitszug bis zur Tunnelbaustelle transportiert wurden. Die Einordnung der Strecke als Steilstrecke in der Ril 465 stellte hohe Anforderungen hinsichtlich der redundanten Bremsmöglichkeiten an den Arbeitszug sowie an sämtliche fahrbaren Baugeräte. Die Fräsarbeiten in den Tunnelbauwerken wurden mit einem Zwei-Wege-Gerät mit aufgesetztem Fräskopf durchgeführt, das im Tunnel gleisgebunden betrieben wurde (Abb. 5). Durch den oben beschriebenen Nachweis der Standsicherheit der abgefrästen Mauerwerksschale im Bauzustand wurde

PROJEKTE MIT TIEFENWIRKUNG

Unsere Kompetenz- und Geschäftsfelder:

- Bahn-, Straßen- und Medientunnel
- Unterirdische Bahnhöfe im innerstädtischen Bereich
- Offene und geschlossene Bauweisen
- Tunnelsanierungen und -erneuerungen
- Spezialtiefbau und Sonderverfahren
- Geotechnik

Vössing Ingenieurgesellschaft mbH

Über 600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, 13 Niederlassungen in Deutschland sowie Standorte in China, Katar, Polen und Slowenien

tunnel@voessing.de | www.voessing.de

BERATUNG | PROJEKTMANAGEMENT | PLANUNG | BAUÜBERWACHUNG



ein Fräsen in Tunnellängsrichtung anstelle des üblichen Fräsens in Umfangsrichtung ermöglicht und realisiert. Abb. 6 zeigt einen Zwischenzustand der Fräsarbeiten, die mit der Frästoleranz von 3 cm anforderungsgemäß ausgeführt werden konnten. Die anschließenden Spritzbetonarbeiten wurden im Trockenspritzverfahren händisch durch Spritzbetontrupps von der Gleisebene aus durchgeführt, wobei die Silos mit der Spritzbetonmischung und der Wassertank auf dem Arbeitszug im Tunnel vorgehalten wurden. Die durchgeführten Versuche mit Spritzkisten offenbarten für das gewählte Trockenspritzverfahren einen überproportionalen Rückprall von Stahlfasern, weshalb bei der Herstellung der Mischung immer darauf geachtet werden muss, dass ein ausreichend großer Fasergehalt verwendet wird. Für die Erneuerung der Tunnel Kalmut und Talberg wurden Stahlfasern mit 35 mm Länge und 0,75 mm Durchmesser bei einem Fasergehalt von 51 kg/m³ eingesetzt.

Zusammenfassung

Mit der Teilerneuerung der Tunnel Kalmut und Talberg konnte ein Pilotprojekt der DB Netz mit Stahlfaserspritzbeton als teilweiser Ersatz einer alten Bestandstunnelschale erfolgreich umgesetzt werden. Infolge der Neuregelung der Ril 853.4003 steht damit neben der Instandsetzung und der Vollerneuerung ein weiteres systematisches Verfahren zum betriebssicheren Erhalt alter Tunnel zur Verfügung. Angesichts der großen Anzahl der zukünftig zu erneuernden Tunnelbauwerke der DB Netz bietet die vorgestellte Teilerneuerung eine Möglichkeit, die verfügbaren Finanzmittel und Ressourcen zielgerichtet und wirtschaftlich einzusetzen. Die Anwendung des Verfahrens muss jedoch jeweils projektspezifisch geprüft werden. Als wesentliche Voraussetzung für die Anwendbarkeit in dem hier vorgestellten Projekt seien die betriebliche Anforderung, die ausreichend tragfähige Grundsubstanz des Bestandsgewölbes und die geplante Verlängerung der betriebssicheren Nutzung um mindestens 30 Jahre genannt. ■

QUELLEN

- [1] Richtlinie 853.4003 – Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten, 3. Aktualisierung, gültig ab 01.01.2007, DB Netz AG
- [2] Richtlinie 853.4003 – Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten, Entwurf E-11.2015, DB Netz AG
- [3] Richtlinie 853.4003 – Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten, 9. Aktualisierung, gültig ab 01.09.2018, DB Netz AG
- [4] DIN EN 14487-1:2006-03: Spritzbeton – Teil 1: Begriffe, Festlegungen und Konformität, DIN e.V.
- [5] Guirguis, P.: Stahlfaserspritzbeton im Tunnelbau: Stand der Technik und Beispiele, Tunnel 7/2011
- [6] STUVA Sonderheft Forschung und Praxis 50; Sachstandsbericht 2017: Instandsetzungsstrategien und -verfahren für Verkehrstunnel, STUVA-Arbeitskreis „Instandsetzung von Verkehrstunneln“



Dr.-Ing. Lars Röchter

Abteilungsleiter Planung Tunnelbau und Geotechnik
Vössing Ingenieurgesellschaft mbH,
Düsseldorf
lars.roechter@voessing.de



Dipl.-Ing. Harald Joos

Arbeitsgebietsleiter
DB Netz AG, Frankfurt a.M.
harald.joos@deutschebahn.com



Dipl.-Ing. Michael Schlebusch

Geschäftsführer
gbm Gesellschaft für Baugewerbe und -meßtechnik mbH, Ettlingen
m.schlebusch@gbm-baugrundinstitut.de

Vermessung
Geotechnik
Geoinformatik
Entwicklung



intermetric
Das richtige Maß

AM ENDE DES TUNNELS...

U-Bahn-Linie UB im Herzen Berlins: Die Ingenieure und Techniker der intermetric sorgten für die exakte Fahrt und führten mittels automatischer Systeme, Deformations- und Erschütterungsmessungen an der Nachbarbebauung durch, um diese vor Einflüssen durch die Bautätigkeit zu schützen. Nun sehen beide Röhren das berühmte Licht – mit dem richtigen Maß.

intermetric GmbH | Industriestr. 24 | 70565 Stuttgart | T +49 (711) 780039-2 | www.intermetric.de