

Tunnelerneuerung mit Fester Fahrbahn bei Schmalspurbahnen

Wie die Ausrüstung mit Fester Fahrbahn zur Verbesserung der Situation in Bestands-tunneln beitragen kann – erläutert am Beispiel der Rhätischen Bahn

AGNES FORSTINGER | KATRIN ZIERLER

Bei Normalspurbahnen fand die Feste Fahrbahn (FF) in den letzten Jahrzehnten vor allem auf Strecken mit hohen Fahrgeschwindigkeiten sowie hoher Nutzungsintensität zunehmende Verbreitung. Im Rahmen einer Diplomarbeit [1] an der Technischen Universität Wien wurden nun mögliche Einsatzbereiche für diese Oberbauart bei Schmalspurbahnen beleuchtet. Dabei wurde vor allem der Einbau von FF in Tunneln als sinnvolle Anwendung identifiziert. In diesem Beitrag werden Empfehlungen für den Umgang mit historischen Bestands-tunneln auf Schmalspurstrecken abgeleitet. Im Zuge dessen wird auf die der Tunnelerneuerung der Rhätischen Bahn zugrundeliegenden Überlegungen sowie die neuesten Weiterentwicklungen ihrer „Normalbauweise Tunnel“ eingegangen.

Die meisten Schmalspurbahnen in Mitteleuropa wurden gegen Ende des 19. Jahrhunderts bzw. noch vor dem Beginn des Ersten Weltkriegs errichtet [2, 3, 4]. Im an den Zweiten Weltkrieg anschließenden Zeitalter der individuellen Motorisierung erfuhren Schmalspurbahnen nur die allernotwendigsten Investitionen. Viele

wurden teilweise oder zur Gänze eingestellt, etwa die Ybbstalbahn in Niederösterreich [5].

Tunnel bei Schmalspurbahnen

Viele der vor über 100 Jahren hergestellten Tunnelbauwerke, deren Instandhaltung und Modernisierung über Jahrzehnte eine niedrige Priorität beigemessen wurde, erreichen nun das Ende ihrer Lebensdauer und sind akut sanierungs- bzw. erneuerungsbedürftig. Die am häufigsten auftretenden Probleme in Bahntunneln dieses Alters sind die folgenden [1, 6–9]:

- Wassereintritte
- Schäden am Mauerwerk oder an später angebrachten Spritzbetonschalen
- Versinterung der Entwässerungsanlagen
- starke Verwitterung von unverkleideten Tunnelabschnitten
- unzureichende Sicherheitsräume
- verringertes Lichttraumprofil gegenüber der restlichen Strecke (Hindernis für den Einsatz von zeitgemäßem Rollmaterial).

In Kombination mit der Tatsache, dass Regionalbahnen aktuell aufgrund ihrer Relevanz für die Verkehrswende, die den Klimawandel bremsen soll, eine Renaissance erleben und die diesbezügliche Investitionsbereitschaft der öffentlichen Hand wieder im Steigen begriffen ist, ergibt sich

hier ein vielfältiges Anwendungsfeld für innovative Sanierungs- bzw. Erneuerungsmethoden, die möglichst viele der aufgelisteten Probleme adressieren.

Überlegungen zum Einsatz von Fester Fahrbahn in Tunneln

Im normalspurigen europäischen Eisenbahnnetz hat sich die FF aus wirtschaftlichen Überlegungen zum Standardoberbau für Tunnelbereiche entwickelt. Die Hauptgründe hierfür sind die folgenden [10]:

- Die geringere Bauhöhe der FF im Vergleich zum Schotteroberbau erlaubt eine Verkleinerung des Ausbruchsquerschnitts. Hierzu wird auf die Gegenüberstellung des Höhenbedarfs verschiedener Oberbauformen in Tunneln in Tab. 1 verwiesen. Da sie Systeme für verschiedene Einsatzzwecke direkt miteinander vergleicht, ermöglicht diese Tabelle lediglich einen groben Überblick bzw. eine erste Abschätzung der Höhenunterschiede.
- Falls dies im Rettungskonzept vorgesehen ist, kann die FF mit einer für gummibereifte Einsatzfahrzeuge befahrbaren Oberfläche ausgeführt werden.
- Die dauerhaft hohe Gleislagequalität bei Einbau einer FF führt zu einem gegenüber dem

Konzept	Bauart	Höhe ^a	Quelle
Schotteroberbau			
Betonschwellen	Pinzgauer Lokalbahn ¹	74,4 cm	[1]
Betonschwellen	Rhätische Bahn ¹	66,2 cm	[11, 12] ^b
Holzschwellen	Rhätische Bahn ¹	64,7 cm	[12] ^b
Feste Fahrbahn			
Kompakt	RHEDA 2000	47,2 cm ^c	[1, 10, 13]
Aufgelagert	GETRAC A3	57,4 cm	[10]
Fertigteileplatten	BÖGL	47,4 cm ^c	[1]
	RhB ¹	61,7 cm ^d	[1]
	ÖBB-PORR ²	43,3 cm ^c	[1]
Elastische Schwellenlagerung	LVT ¹	62,7 cm	[1]

^a von der Schienenoberkante des Profils 60E1 bis zur Oberkante der Tunnelsohle

^b mit 30 cm Gleisschotter gem. Angaben der Rhätischen Bahn

^c ohne 30 cm hydraulisch gebundene Tragschicht bzw. Lastverteilplatte

^d Doppelfunktion als Sohlsprenger

¹ für Schmalspur (760 bzw. 1000 mm)

² mit unbewehrtem Füllbeton

Tab. 1: Aufbauhöhen verschiedener FF-Bauarten im Tunnel bei Direktauflagerung auf profilgerecht hergestellter Tunnelsohle bzw. Sohlauffüllung

Quelle: [1]

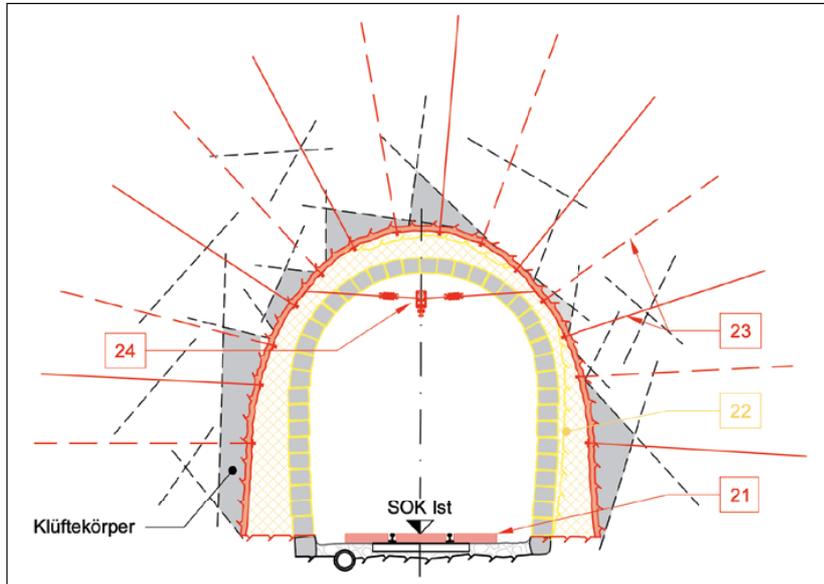


Abb. 1: Bauphase „Gewölbeaufweitung“

Quelle: [21]

Schotteroberbau stark reduzierten Instandhaltungsaufwand, was in Tunnelbereichen unter anderem aus Gründen der Arbeitssicherheit erstrebenswert ist.

- Darüber hinaus erlaubt das Vorhandensein eines setzungsfreien bzw. setzungsarmen Unterbaus in Form der Tunnelsohle eine kostengünstigere Ausführung vieler Bauarten der FF, da Schichtstärken, Schichtanzahl und Bewehrungsgrade reduziert werden können [10].

Mindestlängen für die Feste Fahrbahn

Für die Normalspur gelten in der Regel 500 m als Mindestlänge für den sinnvollen Einsatz von FF, da zwischen Abschnitten mit ver-

schiedenen Oberbauformen die Anordnung von kostenintensiven Übergangskonstruktionen erforderlich ist [10, 12, 13]. Das schweizerische Bundesamt für Verkehr (BAV) genehmigte den Einbau von FF aus wirtschaftlichen Gründen bis vor einigen Jahren nur in Ausnahmefällen ab 500 m und setzte eine grundsätzliche Mindestlänge von 1000 m an [1]. Die Rhätische Bahn AG, die in der Schweiz ein knapp 400 km langes meterspuriges Netz mit einem hohen Tunnelanteil von 15 % betreibt, geht bei der für das dortige Netz entwickelten „Normalbauweise Tunnel“ mit FF inzwischen jedoch von einer Wirtschaftlichkeit bereits ab 300 m Länge aus [1].

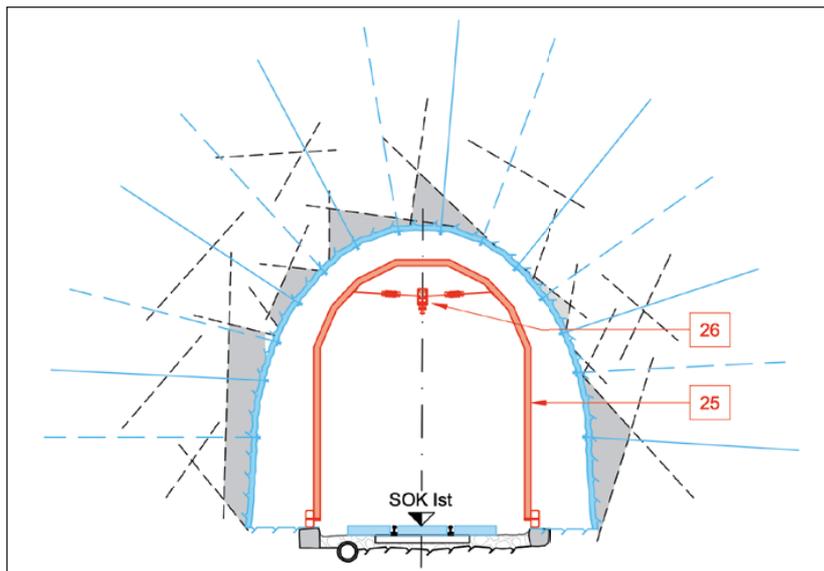


Abb. 2: Bauphase „Situation am Tag mit Schutzunnel“

Quelle: [21]

Hochleistungssteckverbinder für Transformatoren

- **Längere Lebensdauer** durch Han® HPR Standard-Metalgehäuse für raue Außenumgebungen
- **Zeitersparnis** durch einfache Installation und Abschirmung ohne Schrumpfen oder Tapen
- **Kostensenkung** durch Reduzierung des Lagerbestandes dank eines effizienten Kodierungssystems
- **Sichere Lösung** gemäß relevanter Bahnnormen (EN 50467, EN 50124-1, EN 61373, EN 45545, EN 60137)

One Range. No Limits:

www.HARTING.com/hptc



Pushing Performance
Since 1945

Beleg-E-Paper der Ausgabe EI 3/20, Veröffentlichung des eigenen Beitrags im Zusammenhang mit Intranet- und Social-Media-Plattformen unbefristet genehmigt © DVV Media Group GmbH

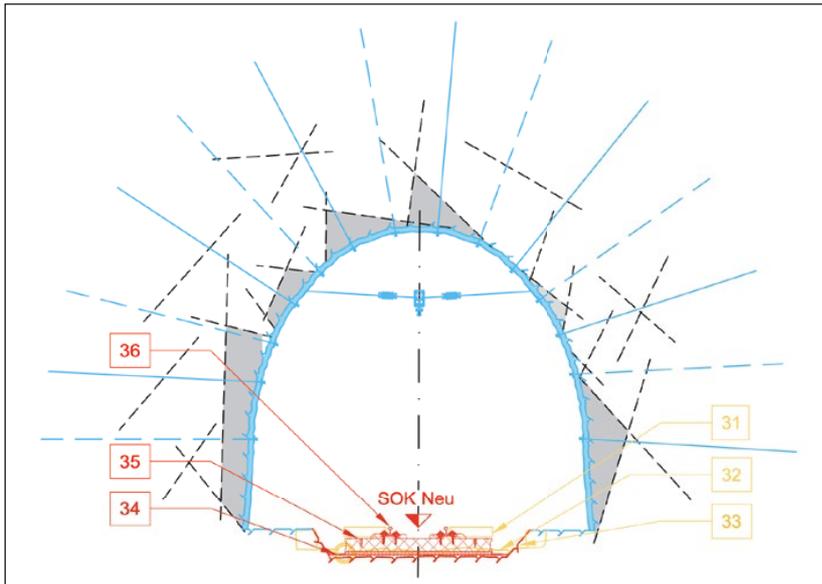


Abb. 3: Bauphase „Erneuerung Fahrbahn“

Quelle: [21]

Die „Normalbauweise Tunnel“

Für die Erneuerung einer Vielzahl von Tunnelbauwerken auf ihrem meterspurigen Streckennetz entwickelte die Rhätische Bahn die „Normalbauweise Tunnel“, bei der eine Profilaufweitung der Tunnel mit der Erneuerung der Tunnelschale sowie dem Einbau einer FF kombiniert wird. Zweck dieser Maßnahmen sind die Sicherung der Benützbarkeit der Anlagen für die kommenden Jahrzehnte durch möglichst ursächliche Beseitigung der bestehenden Bauwerksschäden sowie die Anpassung der Infrastruktur an aktuelle Sicherheitsstandards [6].

Der große Vorteil der „Normalbauweise Tunnel“ gegenüber den zuvor angewandten Erneuerungsmethoden ist die weitaus länger erwartete Lebensdauer des erneuerten Bauwerks. Diese liegt bei der „Normalbauweise Tunnel“ für das Tunnelbauwerk selbst sowie die FF bei ordnungsgemäßer Wartung bei 70 bis 100 Jahren, während bei klassischen Spritzbetonsanierungen ohne Behebung der Schadensursachen von einer Wirksamkeit von lediglich 25 bis 50 Jahren ausgegangen wird [14, 15].

Das Netz der Rhätischen Bahn verfügt insgesamt über 115 Tunnel mit 58,7 km Gesamt-

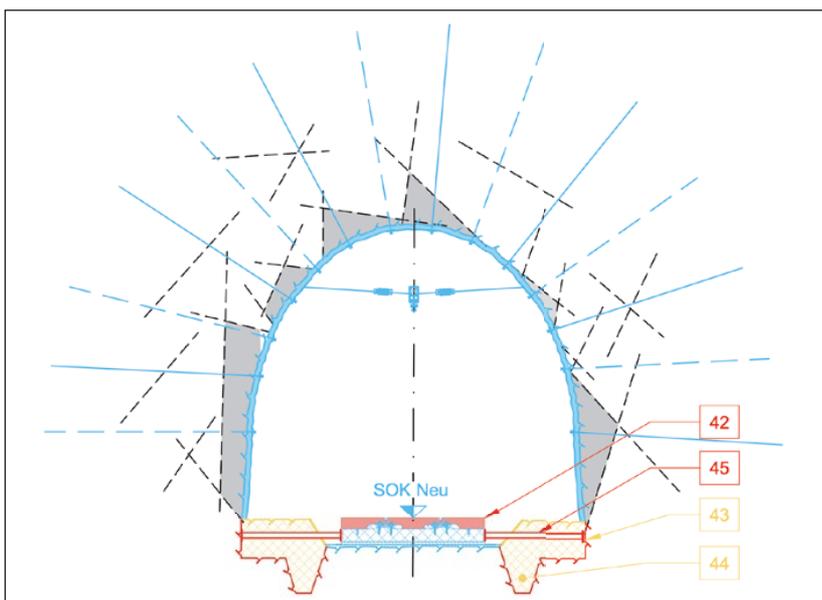


Abb. 4: Bauphase „Ausbruch Bankettbereich“

Quelle: [21]

länge, wobei im Rahmen der Konzeption des beschriebenen Bauverfahrens von seiner Anwendung in 75 Tunneln mit insgesamt 25 km ausgegangen wurde. Das Ziel der Entwicklung war somit eine Kostensenkung durch eine hohe Standardisierung von Planung und Ausführung bei gleichzeitig möglichst geringen Einschränkungen für den Bahnbetrieb [6].

Bauablauf

Die „Normalbauweise Tunnel“ ermöglicht die Erneuerung ohne nennenswerte Betriebsbeeinträchtigung ausschließlich in Nachtsperren. Hierbei wird nach der Herstellung einer Baustellenfahrbahn im Gleis (Abb. 1; 21) das bestehende gemauerte Tunnelgewölbe abschnittsweise abgebrochen, der Querschnitt vergrößert (Abb. 1; 22) und mit Anker und Spritzbeton temporär gesichert (Abb. 1; 23).

Im Übergangsbereich zwischen Bestandsquerschnitt und vergrößertem Querschnitt wird zu Schichtende ein fahrbarer stählerner Schutz-tunnel platziert (Abb. 2; 25), um den tagsüber durch den Tunnel abgewickelten Fahrgast- und Güterverkehr vor eventuellen Nachbrüchen zu schützen [6, 16]. Nach Abschluss der Ausbruchsarbeiten und temporären Sicherungsmaßnahmen auf der gesamten Tunnel-länge wird ein dauerhaftes Gewölbe aus Beton-tübbingen eingebaut. Der Ringschluss an der Tunnelsohle wird hierbei mittels Betonfertigteileplatten hergestellt, auf die bei der ersten Anwendung des Verfahrens im Glatscherastunnel (333,5 m [3], 2017 fertiggestellt [17]) ein herkömmlicher Schotteroberbau aufgebaut wurde.

In mehreren Entwicklungsschritten entstand seither die Version der „Normalbauweise Tunnel“, die im aktuell in Umbau befindlichen Brailtunnel II (308,6 m [3]) angewendet wird. Von Juni bis Oktober 2023 wurde in diesem Tunnel das Profil oberhalb der Schienenoberkante (SOK) aufgeweitet und temporär gesichert (Abb. 1 und 2). Den zweiten Schritt bilden der Abbruch der Baustellenfahrbahn (Abb. 3; 31), des bestehenden Oberbaus (Abb. 3; 32), die Aufweitung des Profils im mittleren Bereich der Tunnelsohle (Abb. 3; 33) sowie der Einbau einer FF aus Fertigteilplatten (Abb. 3; 34-36). Diese Arbeiten sollten im Brailtunnel II im Rahmen einer für April 2024 geplanten 18 Tage andauernden Totalsperre durchgeführt werden. Da für eine benachbarte Baustelle eine längere Sperrzeit benötigt wird, stehen für Sohl-ausbruch und Einbau der FF nun 26 Tage zur Verfügung. Der anschließende Ausbruch der seitlichen Sohlbereiche (Abb. 4; 43-44) sowie der Einbau von Sockelsteinen (Abb. 5; 52) und Tübbingen (Abb. 5; 53-55) sowie die Herstellung von Entwässerung und Randwegen inkl. Kabelwegen können wieder in Nachtsperren erfolgen (Abb. 6; 61 u. 63) [1, 18].

Durch die Ausführung der FF wird der erforderliche Sohl-ausbruch reduziert. Der Wegfall des Schotteroberbaus vereinfacht darüber hinaus die Baustellenlogistik [19, 20]. Während

der Umbauarbeiten erfolgt die Stromversorgung der Strecke über eine Deckenstromschiene (Abb. 1-6), die eine einfache Demontage und erneute Montage zu Beginn und Ende jeder Nachtsperre erlaubt [1]. Nach Abschluss der Arbeiten wird der Tunnel wieder mit einer Kettenfahrleitung ausgerüstet [21].

Die Feste Fahrbahn

Das Ziel eines von Witterungsbedingungen und Außentemperaturen unabhängigen und schnellen Einbaus der Fahrbahnkonstruktion im Rahmen der „Normalbauweise Tunnel“ führte bei der Rhätischen Bahn zur Notwendigkeit, eine neue Bauart der FF zu entwickeln. Die Besonderheiten dieses Systems sind

- der Verzicht auf Untergussmaterialien oder vor Ort hergestellte Tragschichten aus Asphalt oder Beton,
- die Beschränkung auf zwei Standard-Plattentypen ohne werksseitige Anpassung an die Trassierungsparameter und
- die Doppelfunktion der Fertigteileplatten als Fahrbahnplatten sowie als Sohlspanner der Tunnelkonstruktion [1, 22, 23].

Auf den Fels wird zunächst eine Ausgleichsschicht aus HGT-Material aufgebracht. Daran anschließend erfolgt der Einbau des Überhöhungskeils sowie einer 10 cm starken Tragschicht aus identischem Material. Die Gleisragplatten werden auf eine 3 cm dicke Schicht aus gebrochenem Hartgestein mit Zementgehalt verlegt und können bedingt durch ihre geringen Abmessungen und ihr niedriges Gewicht von maximal 3 t problemlos mit einem gummiereiften Hubstapler, der über die bereits positionierten Platten zufährt, an den Einbauort transportiert werden [1, 23].

Die Platten werden mit einem Abstand von 15 bis 20 cm verlegt und sind direkt nach dem Einbau der Schienen mit gleisgebunde-

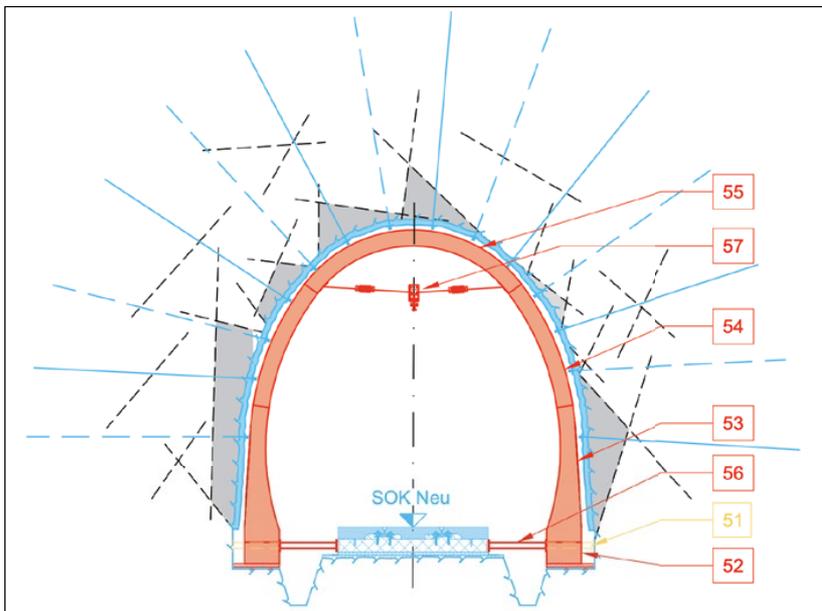


Abb. 5: Bauphase „Versetzen Fertigtelemente“

Quelle: [21]

nen Fahrzeugen befahrbar. Zur dauerhaften Lagesicherung werden die Lücken zwischen den Platten sobald es die Witterung erlaubt mit Stahlfaserbeton vergossen [1]. Abb. 7 zeigt einen Querschnitt der Bauart inkl. der angrenzenden Bereiche der mit der „Normalbauweise Tunnel“ hergestellten neuen Tunnelschale.

Anwendungsgrenzen

Aus Wirtschaftlichkeitsgründen gelten 300 m aktuell als Mindestlänge für die Anwendung der „Normalbauweise Tunnel“. Der längste Tunnel, der in Zukunft auf die beschriebene Art

und Weise saniert werden soll, ist der 985,8 m lange Solistunnel [1, 3].

Bei den 75 Tunneln, die mit der Normalbauweise erneuert werden sollten, wurde bei grundlegenden Untersuchungen der Bausubstanz festgestellt, dass in etwa 50 Jahren ohne Sanierung mit dem Auftreten von Tragsicherheitsproblemen zu rechnen sein wird. Um die Erneuerung dieser 75 Tunnel „mittlerer“ Länge in 50 Jahren abschließen zu können, ist eine Umbauleistung von ein bis zwei Tunneln pro Jahr erforderlich. Um dieses Ziel nicht zu gefährden, ist die Anwendung der Bauweise bei Tunneln über 1 km Länge nicht geplant [1, 18].

SOLUTIONS YOUR WAY.

RAILONE
70 YEARS OF CONCRETE ENGINEERING

DER GIPFEL DER PRÄZISION.

Auf den höchsten Gleisen Europas, in engsten Kurven, durch 115 Tunnel – Strecken der Rhätischen Bahn erfordern echte Millimeterarbeit. RAILONE realisiert maßgeschneiderte Lösungen im System RHEDA CITY für das legendäre Meterspurnetz durch die Schweizer Alpen. Für einen nachhaltigen Personenverkehr, der ganz hoch hinaus will und präzise wie ein Schweizer Uhrwerk funktioniert. Wo auch immer der Weg hingehen soll, wir bringen jedes Projekt in die Erfolgsspur.

www.railone.de



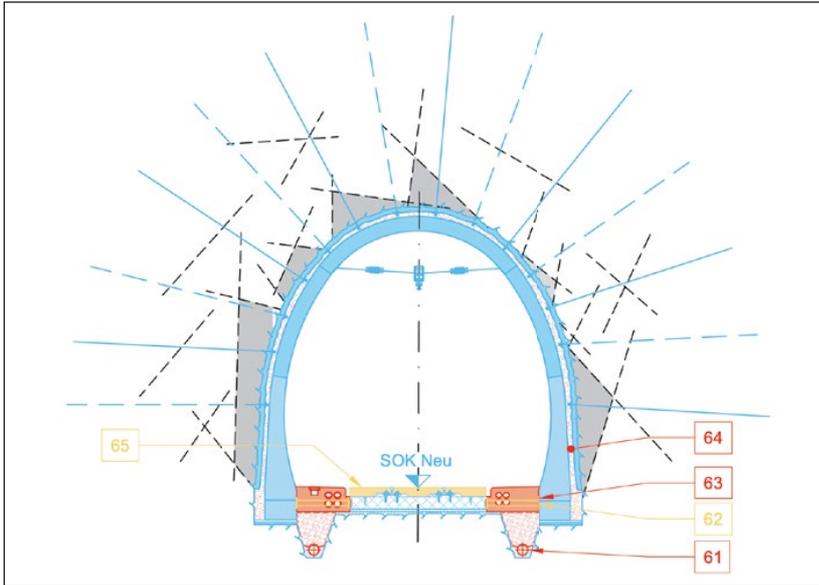


Abb. 6: Bauphase „Entwässerung und Bankette“

Quelle: [21]

Darüber hinaus schreibt das schweizerische BAV bei Eingriffen in die Bausubstanz von Tunneln ab 3 km Länge die Errichtung eines Flucht- und Rettungstollens vor. Unter diesen Umständen ist es wirtschaftlicher, einen neuen Streckentunnel zu errichten und im Anschluss daran einen Umbau des Bestandstunnels zum Fluchtweg nach dem aktuellen Stand der Technik vorzunehmen. Eine derartige Vorgehensweise wurde etwa beim 5866 m langen Albulatunnel gewählt – der neue Bahntunnel soll im Laufe des Jahres

2024 eröffnet werden und damit den Umbau des Bestandstunnels zu einem Rettungstollen ermöglichen [1, 24].

Empfehlungen

Als Resultat aus den Erfahrungen bei der Rhätischen Bahn und den im Rahmen der Diplomarbeit [1] durchgeführten Recherchen können folgende allgemeine Empfehlungen für den Umgang mit historischen Bestandstunneln in Schotterbauweise auf Schmalspurstrecken formuliert werden:

Sobald absehbar ist, dass Baumaßnahmen im Tunnelbereich erforderlich werden, ist eine umfassende Untersuchung des Tunnels auf Standfestigkeit, Funktion der Entwässerung und sonstige ggf. aufgetretene Schäden durchzuführen. Unter Baumaßnahmen sind hier sämtliche Sanierungsmaßnahmen der Tunnelkonstruktion sowie auch einfache Oberbauerneuerungen aufgrund aufgebrauchter Stopfreserven zu verstehen.

Beim Untersuchungsergebnis einer Restlebensdauer der Tragkonstruktion von mindestens 30 Jahren bzw. der örtlich üblichen Lebensdauer eines neuen Schotteroberbaus ist eine herkömmliche Sanierung als wirtschaftlichere Lösung heranzuziehen. Dies trifft auch zu, wenn lediglich geringfügige bzw. punktuelle Eingriffe in die Entwässerung des Tunnels notwendig sind.

Bei Vorliegen von größeren Schäden an der Tunnelschale oder bei notwendigen Eingriffen in die Bausubstanz aus anderen Gründen wie z.B. einer erforderlichen Anpassung an neue Sicherheitsvorschriften wird die Umsetzung von längerfristig wirksamen Maßnahmen nach dem Vorbild der Rhätischen Bahn empfohlen. Hierbei sollte bereits in der Planungsphase auf mögliche Synergien geachtet werden. Dies gilt insbesondere für die Möglichkeit der Nutzung derselben Betonplatte als Sohlsprenger und Tragplatte der FF sowie die mögliche Anwendbarkeit der Bauweise auf mehrere Tragwerke, wofür im Bedarfsfall eine Zusammenarbeit mit anderen Eisenbahninfrastrukturunternehmen, die bei sich ggf. geringfügig unterschiedenden Spurweiten vor ähnlichen Problemstellungen stehen, anzustreben ist.

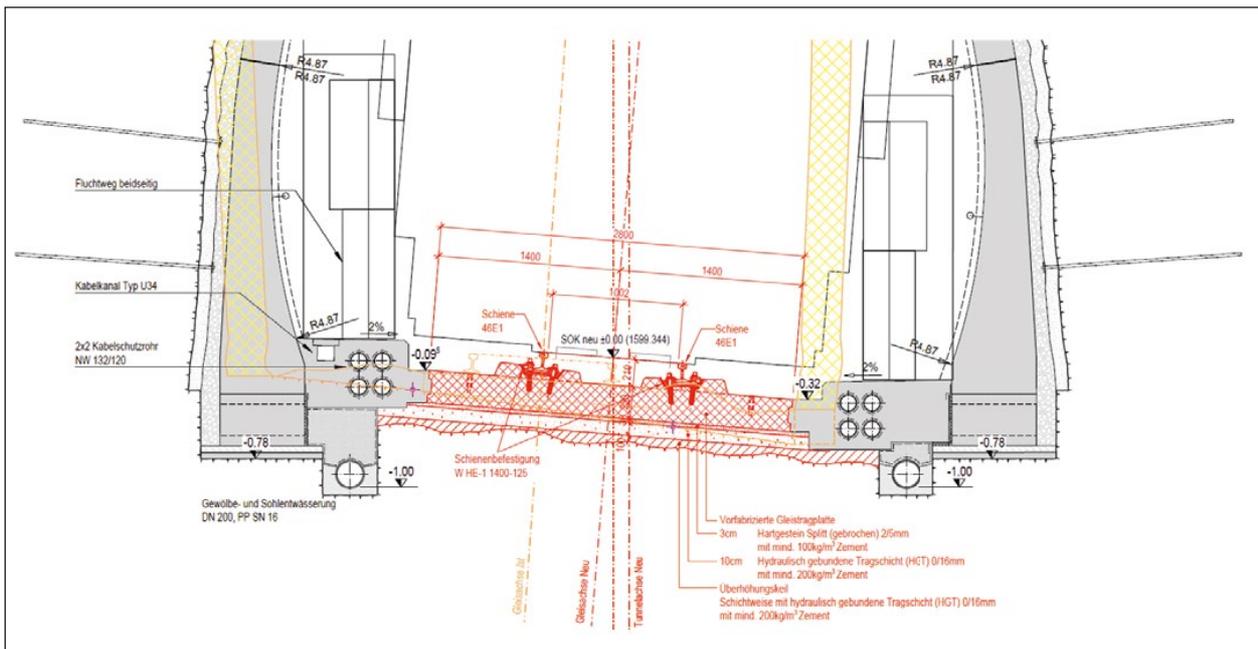


Abb. 7: Querschnitt der Festen Fahrbahn Bauart RhB

Quelle: [23]

Fazit

Die Ausstattung von Bestandstunneln mit FF im Rahmen einer erforderlichen Generalerneuerung oder -instandsetzung ist technisch herausfordernd. Bei entsprechender Planung und Vorbereitung sowie gegebener Finanzierbarkeit stellt sie jedoch eine wirtschaftliche und sinnvolle Maßnahme dar, die die Erhaltung der Nutzbarkeit bestehender Infrastruktur weit in die Zukunft sichern kann. ■

Die Autorinnen bedanken sich bei Urs Tanner von der Rhätischen Bahn für das Zurverfügungstellen von ergänzenden Informationen.

QUELLEN

- [1] Forstinger, A.: Zum Potenzial der Festen Fahrbahn bei Schmalspurbahnen, Diplomarbeit, Technische Universität Wien, Juni 2023
- [2] Blieberger, J.; Meyer, A.; Pospichal, J.: Schmalspurig durch Alt-Österreich, 1. Auflage, Wien: bahnm Medien.at, 2022, ISBN 3-903177-38-5
- [3] Belloncle, P.; Brügger, G.; Grossenbacher, R.; Müller, C.: Das grosse Buch der Rhätischen Bahn: 1889 – 2001, Kerzers: Viafer, 2002, ISBN 3-9522494-0-8
- [4] Machel, W.-D.: Enzyklopädie der deutschen Schmalspurbahnen: Geschichte, Strecken, Fahrzeuge, München: GeraMond, 2011, ISBN 3-86245-101-1
- [5] Dultinger, J.: 1991: Endstation Ybbstal. Aus für eine Eisenbahn?, Thaur bei Innsbruck: Wort und Welt Verlag, 1989, ISBN 3-8537-3124-4
- [6] Mayer, C.: Normalbauweise für die Bahntunnelerneuerung – Schweizer Schmalspur-Gebirgsbahn hat Regelbauverfahren für die Tunnelinstandsetzung entwickelt, El 11/2017, S. 16–20
- [7] Mikulášek, P.: Rekonstrukce Střelenského Tunelu – Strelna Tunnel Reconstruction, Tunnel 01/2014, S. 63–70
- [8] Strupi Šuput, J.; Mladenović, A.; Černilogar, L.; Olenšek, V.: Deterioration of mortar caused by the formation of thaumasite on the limestone cladding of some Slovenian railway tunnels, Cement and Concrete Composites 25.8 (2003), Thaumasite in Cementitious Materials, S. 1141–1145, ISSN 0958-9465, DOI 10.1016/S0958-9465(03)00144-6
- [9] Kradolfer, W.: Instandsetzung und Erneuerung von alten Bahntunneln – Technische Lösungen und Erfahrungen bezogen auf das Schienennetz der Schweiz, El 10/2016, S. 10–15
- [10] ifv-Bahntechnik: Systementscheidung Schotteroberbau oder Feste Fahrbahn, 3. Auflage, Berlin, 2003, ISBN 3-9809335-0-4
- [11] Darr, E.; Fiebig, W.: Feste Fahrbahn: Konstruktion und Bauarten für Eisenbahn und Straßenbahn, 2. überarbeitete Auflage, VDEI-Schriftenreihe, Hamburg: Eurailpress, 2006, ISBN 3-7771-0348-8
- [12] Mach, M.: Zustandsbewertung und Nutzungsdauerprognose von Festen Fahrbahn Systemen im Netz der ÖBB, Dissertation, Technische Universität Wien, September 2011
- [13] Oberweiler, G.: Die Feste Fahrbahn – Eine kritische Zwischenbilanz nach 30 Jahren Forschung, Entwicklung und Erfahrung, ETR 01/2002, S. 68–74
- [14] Amberg Engineering AG: Brailtunnel II, Plangenehmigungsprojekt, Projektbasis. Plannr. RhB 3440-0104. Chur, März 2021
- [15] Grossauer, K.; Modetta, F.; Tanner, U.: Die „Normalbauweise Tunnel“ der Rhätischen Bahn – Entwicklung vom Konzept zur Ausführungsreife, Beitrag zum 66. Geomechanik Kolloquium der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG), Salzburg, 2017
- [16] Grossauer, K.; Modetta, F.; Tanner, U.: Die „Normalbauweise Tunnel“ der Rhätischen Bahn, Geomechanics and Tunneling 10.5 (2017), S. 542–550, DOI: 10.1002/geot.201700029
- [17] <https://www.suedostschweiz.ch/aus-dem-leben/2017-05-10/der-glatscherastunnel-ist-fertig-sanieret>, 04.02.2024 um 09:40
- [18] Amberg Engineering AG: Brailtunnel II, Plangenehmigungsprojekt, Nutzungsvereinbarung. Plannr. RhB 3440-0103. Chur, März 2021
- [19] <https://www.rhb.ch/de/unternehmen/projekte-dossiers/normalbauweise-tunnel>, 30.01.2024 um 14:05
- [20] <https://www.rhomburg-sersa.com/de/news/eine-gute-loesung-verbessert>, 30.01.2024 um 14:05
- [21] Amberg Engineering AG: Brailtunnel II, Plangenehmigungsprojekt, Bauphasen Felstrecke. Plannr. RhB 3440-0124. Chur, März 2021
- [22] Ingenieurbüreau Heierli AG im Auftrag der Rhätischen Bahn AG: Plan Nr. RhB 3440-0127.4: Brailtunnel II – Km 113.481 - Km 113.790 – Detailprojekt – Feste Fahrbahn – Statische Nachweise, Chur, 2023
- [23] Ingenieurbüreau Heierli AG im Auftrag der Rhätischen Bahn AG: Plan Nr. RhB 3440-0121.4: Brailtunnel II – km 113.481 - km 113.789 – Detailprojekt – Querprofile Fahrbahn, Chur, 2023
- [24] <http://albulatunnel.rhb.ch/de/ausgabe/albulatunnel/zahlen-und-fakten-zum-neuenalbulatunnel.html>, 30.01.2024 um 14:06
- [25] Felsinger, H.; Schober, W.: Die Mariazellerbahn, 3. erweiterte Auflage, Wien: Pospichil, 2002



DI Agnes Forstinger, B.Sc.
Site Supervision Engineer
AFRY Austria GmbH, AT-Salzburg
agnes.forstinger@afry.com



Ing. DI Katrin Zierler, B.Sc.
Universitätsassistentin
Forschungsbereich für Baumechanik
und Baudynamik
Technische Universität Wien, AT-Wien
katrin.zierler@tuwien.ac.at

Wir sind dort, wo Ihre Kunden sind.

1. Halbjahr 2024

DER **EI**
EISENBahn
INGENIEUR



Weitere Infos: **Silke Härtel** • Telefon: 040/237 14-227 • silke.haertel@dvvmedia.com

Änderungen vorbehalten.