
ERNEUERUNG ALTER TUNNELBAUWERKE DER DEUTSCHEN BAHN AM BEISPIEL DES BEBENROTHTUNNELS BEI WITZENHAUSEN

RENEWAL OF OLD TUNNEL STRUCTURES OF THE DB BY EXAMPLE OF THE BEBENROTHTUNNEL NEAR WITZENHAUSEN

Mario **Fankhauser**, BeMo Tunnelling GmbH, Innsbruck

Der zweigleisige Bebenrothtunnel der Eisenbahnstrecke Bebra – Göttingen ist sanierungsbedürftig. Es handelt sich um eine Strecke mit einem zu erwartenden Güter- und Personenverkehr von ca. 170 Zügen pro Tag. Um den in den Jahren 1872 bis 1875 gebauten Alten Bebenrothtunnel an die neuesten betrieblichen und sicherheitstechnischen Anforderungen der Deutschen Bahn anzupassen, wurde in Parallellage zum alten Tunnel der Neue Bebenrothtunnel errichtet.

Nach Inbetriebnahme des Neuen Tunnels wird der Alte Bebenrothtunnel derzeit erneuert. Dabei wird der Tunnel auf einen eingleisigen Tunnelquerschnitt rückgebaut. Nach Abschluss dieser Erneuerung werden beide Tunnel dann jeweils nur noch eingleisig befahren. Der Vortrag behandelt die Maßnahmen im Zuge der Sanierung des Alten Bebenroth Tunnels. Die auszuführenden Hauptleistungen umfassen dabei die Injektion der Hinterpackung des Natursteinmauerwerks, Einbau einer Spritzbetonschale, Eintiefung der Tunnelsohle und Einbau einer druckhaltenden WU-Innenschale.

The existing double track Bebenrothtunnel on the railway line Bebra - Göttingen required an extensive refurbishment. The expected frequency on this line is estimated to be approx. 170 trains per day. To adjust the existing tunnel structure, built between 1872 and 1875, to the latest safety and operational standards of the Deutsche Bahn, a new single track tunnel was built parallel to the existing structure.

Once the new tunnel is completed, the new and the old, but now refurbished tunnel will be operated as two single track tunnels. This paper deals with the required measures to refurbish the existing tunnel, such as contact grouting behind the existing sandstone structure, construction of the shotcrete primary lining, additional invert excavation works and the watertight concrete structures for the final lining.

1. Allgemeines

Die Baustelle Bebenrothtunnel liegt im Länderdreieck Hessen – Thüringen – Niedersachsen auf dem Gebiet der Stadt Witzenhausen (Hessen). Er ist Teil der Eisenbahnstrecke Bebra – Göttingen und wurde in den Jahren 1872 bis 1875 errichtet (siehe auch Bild 1). Der Alte Bebenrothtunnel wurde im zweigleisigen Betrieb mit gegenläufigen Richtungsgleisen betrieben.



Bild 1: Bauarbeiten am Bebenrothtunnel um 1875

Nach rund 140-jährigem Betrieb ist die bestehende Röhre aus Sandsteinmauerwerk in die Jahre gekommen. Entsprechende Sanierungsmaßnahmen wurden daher erforderlich. Im Zuge der Konzeption dieser Maßnahmen wurde entschieden, das Bauwerk unter Umsetzung der aktuell geltenden betrieblichen und sicherheitstechnischen Anforderungen der Deutschen Bahn (DB) von Grund auf zu erneuern. Umgesetzt wurde das sogenannte Zweiröhrenkonzept. Das bedeutet, dass eine zweite eingleisige Röhre in Parallellage errichtet wurde und mittels Querschlägen, durch welche die maximal zulässige Fluchtweglänge auf 500 m begrenzt wird, mit dem Bestand verbunden wird (siehe auch Bild 2). Zusätzlich werden beide Röhren mit einer Festen Fahrbahn inklusive Befahrbarkeit versehen, Trockenlöschwasserleitungen wurden installiert und die betriebstechnischen Anlagen erneuert. Die gesamte Anlage wird unter Einsatz einer wasserundurchlässigen Betonkonstruktion druckwasserhaltend errichtet. Der ursprünglich vorhandene Bergwasserspiegel aus dem 19. Jahrhundert sollte sich wieder einstellen können.

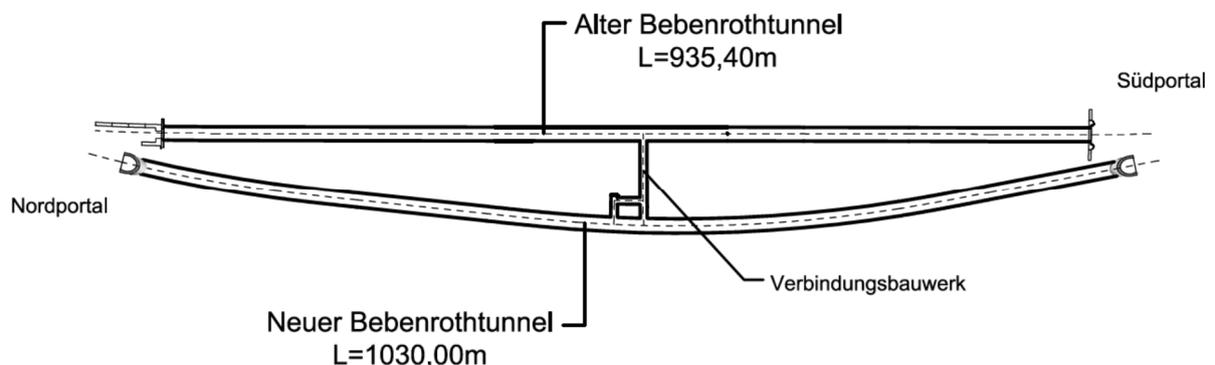


Bild 2: Übersichtsdarstellung der neu konzipierten Tunnelanlage

2. Zeitliche Umsetzung des Konzeptes

Die bauliche Umsetzung dieses Konzeptes erfolgte in zwei zeitlich getrennten Bau- und Betriebsphasen:

Phase 1: Errichtung des „Neuen Bebenrothtunnels“

Im Zeitraum 2009 bis 2012 wurde in Parallellage zur bestehenden Tunnelröhre der „Neue Bebenrothtunnel“ errichtet. Dieser, sowie das Verbindungsbauwerk, wurden im zyklischen Vortrieb mittels Spreng- und Baggerbetrieb aufgeföhren. Nach Abschluss der Vortriebsarbeiten erfolgte der Einbau einer druckwasserhaltenden Innenschale mit in Querschnittsmitte angeordneten Dehnfugenbändern zur Abschottung der Blockfugen. Im Anschluss daran folgten der Einbau der „Festen Fahrbahn“ (System Rheda 2000), der Fluchtwege, Trockenlöschwasserleitung, Handläufe und die betriebstechnische Ausstattung.

Im gesamten Zeitraum des Neubaus wurde der Eisenbahnbetrieb weiterhin zweigleisig im „Alten Bebenrothtunnel“ aufrechterhalten. Dieser wurde während der Vortriebsarbeiten des „Neuen Bebenrothtunnels“ mittels Geophonen überwacht, um so die Einhaltung der zulässigen Sprengerschütterungen zu belegen. Zusätzlich erfolgte eine geodätische Verformungskontrolle des Bestandsmauerwerkes über ein automatisches Monitoringsystem. Die Messwerte wurden online gestellt und konnten von den verantwortlichen Ingenieuren der Baumaßnahme ständig eingesehen werden.

Phase 2: Erneuerung des „Alten Bebenrothtunnels“

Seit 2013 laufen die Baumaßnahmen zur „Erneuerung des Alten Bebenrothtunnels“ (ABBT) und sind bis dato noch nicht abgeschlossen.

Im Rahmen der Erneuerung des ABBT wird innerhalb des bestehenden Gewölbes eine neue wasserdruckhaltende Innenschale aus Stahlbeton eingebaut. Als Besonderheit sei hier anzumerken, dass ein Innenschalenbeton auf Grundlage einer Richtlinienanpassung der DB unter Beimischung von PP-Fasern zum Einsatz kommt. Dieser soll im Brandfall Abplatzungen an der Betonoberfläche verhindern. Der ursprünglich vorhandene zweigleisige Tunnelquerschnitt wird auf einen eingleisigen Tunnelquerschnitt reduziert. Das verbleibende Richtungsgleis Bebra – Göttingen wird in die Tunnelachse verschoben und in den Portalbereichen an die Bestandsgleise angebunden.

Die Erneuerung der Tunnelröhre umfasst im Wesentlichen folgende Tätigkeiten:

- Verfüllung von Hohlräumen und Lockerzonen im Bereich der Packlage hinter der Bestandsschale
- Sohlausbruch und Sicherung Tunnelröhre
- Profilierungsarbeiten durch Abbruch des Unterprofils und Auffüllen des Überprofils
- Aufbringen einer Ausgleichsschicht und Einbau der Gleitschicht
- Einbau der Innenschale
- Einbau der Festen Fahrbahn (System Rheda 2000) inklusive Befahrbarkeit, Fluchtwege, Trockenlöschwasserleitung und Handlauf.
- Einbau der betriebstechnischen Ausrüstung des Tunnels

Während der Dauer der Erneuerung des ABBT wird der Eisenbahnverkehr über den, Ende 2012 in Betrieb genommenen, Neuen Bebenrothtunnel eingleisig im Gleiswechselbetrieb über das Richtungsgleis Göttingen – Bebra geführt.

3. Vorleistungen des Auftraggebers

Bereits im Vorfeld der Baumaßnahme wurden durch den Auftraggeber, der DB, umfangreiche Untersuchungen betreffend die Bestandsröhre durchgeführt. Unter anderem wurde eine Scanaufnahme der bestehenden Tunneloberfläche (Bilder 3-5) veranlasst, Bohrkampagnen zur Erkundung des Zustandes der Hinterpackung und des anschließenden Gebirges durchgeführt und die Bestandsschale bei den routinemäßigen Bauwerkskontrollen durch den Anlagenverantwortlichen der DB in regelmäßigen Abständen begutachtet.

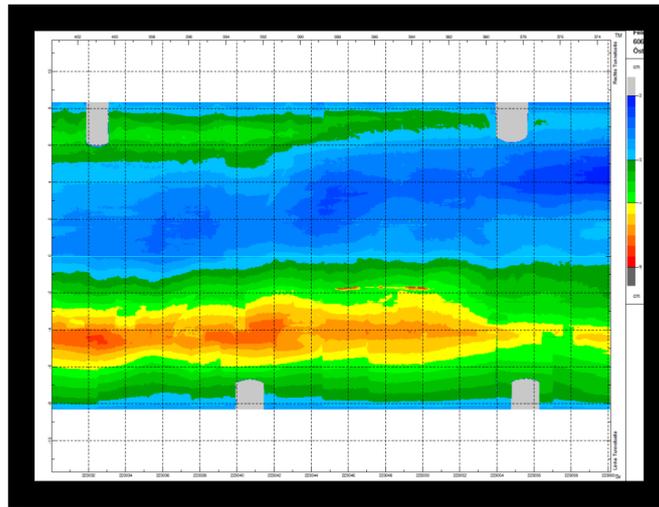
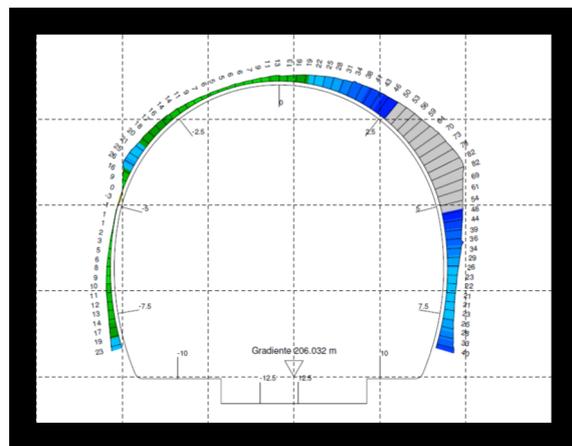
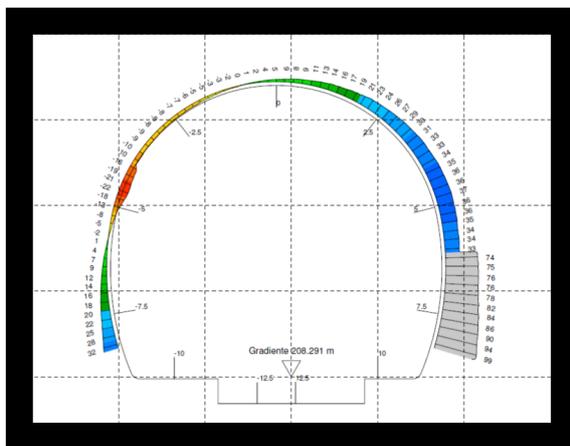


Bild 3: Abwicklung Oberflächenscan [Ausschreibungsunterlage DB-AG], farblich hinterlegte Bereiche: Blau, grün und grau stellen Überprofilbereiche, gelb, orange und rot Unterprofilbereiche dar.



Bilder 4 und 5: Profile Oberflächenscan [Ausschreibungsunterlage DB-AG], farblich hinterlegte Bereiche: Blau, grün und grau stellen Überprofilbereiche, gelb, orange und rot Unterprofilbereiche dar.

Auf Grundlage dieser Untersuchungen erfolgte im Anschluss die Ausschreibungsplanung der Erneuerung des Alten Bebenrothtunnels.

Einerseits sollten die Abtragsarbeiten an der Bestandsschale auf ein Minimum reduziert werden, andererseits gab es für das gleisgeometrische Projekt vorgegebene Zwangspunkte aus dem Bestand.

Innerhalb dieser Vorgaben wurde mittels Absenkung der Gleisgradienten eine Lösung gefunden (Bild 6), welche sowohl Auftragsarbeiten in Überprofilbereichen, als auch Abtragsarbeiten an der Bestandsschale erforderlich machten. Eine zusätzliche Eintiefung der bestehenden Tunnelsohle wurde erforderlich.

Regelquerschnitt
M 1:50

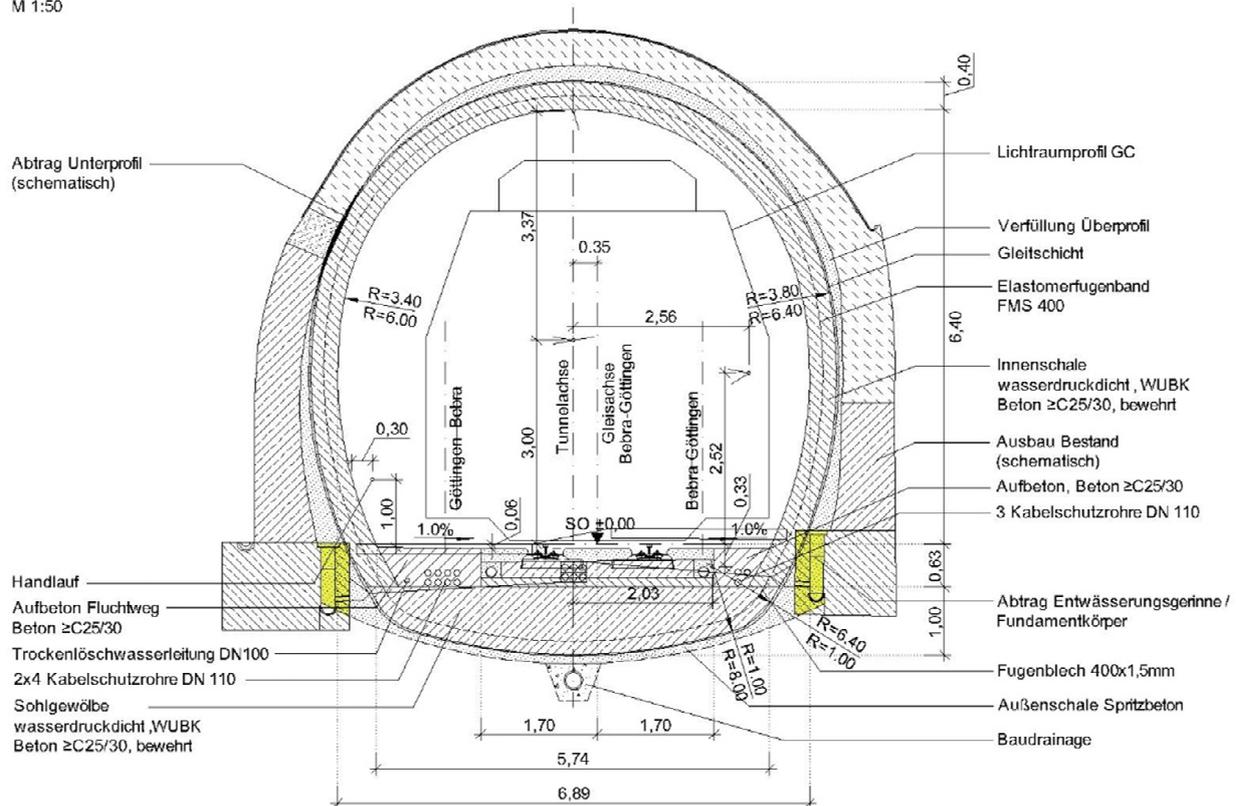


Bild 6: Regelprofil [Ausschreibungsunterlage DB-AG]

4. Optimierungen im Zuge der Ausführungsplanung

Im Zuge der Ausführungsplanung erfolgte eine Optimierung des gleisgeometrischen Projektes, die Gleisachse wurde im Bereich des Tunnels in horizontaler Richtung verschoben. Damit konnten einseitige Auftragsprofile mit großen Spritzbetonstärken in weiten Bereichen des Tunnels minimiert werden, zusätzlich wurden Unterprofilbereiche weitestgehend reduziert.

Abtragsarbeiten, welche tiefreichende Eingriffe in den Bestand erfordert hätten, wurden damit zur Gänze vermieden, erforderliche Resteingriffe in den Bestand wurden auf Bereiche mit geringen Abtragstiefen reduziert.

Im vorliegenden Artikel wird im Weiteren die Korrektur der Überprofilbereiche behandelt.

Der Auftrag des Überprofils erfolgte mit Spritzbeton oder im zulässigen Toleranzbereich der Innenschale nach den Richtlinien der DB mit Schalbeton.

5. Spritzbetonauftrag im Überprofilbereich

Verfahrenstechnisch kam, wie in Tunnelvortrieben vielfach verwendet, Nassspritzbeton im Dichtstromverfahren zum Einsatz. Die Applikation erfolgte mittels eines Spritzbetonmanipulators des Fabrikats Meyco - Potenza. Die Versorgung der Baustelle mit Spritzbeton wurde durch die vor Ort installierte Baustellenmischanlage sichergestellt. Daraus resultierende kurze Transportwege und Verarbeitungszeiten trugen wesentlich zur Erzielung der geforderten Spritzbetonqualität bei.

Der eingesetzte Spritzbeton wurde unter Verwendung regional vorkommender Rohstoffe hergestellt. Bedingt durch die langjährige tunnelbautechnische Tätigkeit unseres Unternehmens in der Region, konnte auf umfangreiche Vorversuche zur Rohstoffvorauswahl verzichtet werden. Der Spritzbeton ist als Stahlbeton C 25/30 XC4 nach DIN 18551 und RIL 853 ausgeschrieben. Mit folgender Rezeptur konnten sämtliche Vorgaben aus dem Bauvertrag für die angegebene Festigkeits- und Expositionsklasse eingehalten werden.

- 375 kg/m³ CEM I 52,5 R
- 25 kg/m³ KSM
- 185 l/m³ Gesamtwasser
- $w/z_{eq} = 0,50$
- 730 kg/m³ 0/2
- 896 kg/m³ 2/8
- $D_{max} = 8 \text{ mm}$
- 0,9 % FM
- ca. 6,0 % Beschleuniger

Aufgrund des bereits bestehenden Hohlraumes sind an die Frühfestigkeitsentwicklung keine speziellen Anforderungen gestellt. Durch die flächig aufgebrachte Bewehrungslage gepaart mit einer tragfähigen Halterung durch Selbstbohranker war im Überkopfbereich eine Frühfestigkeit im unteren J2- Bereich ausreichend (siehe auch Bild 7). Speziell für das Aufspritzen von Lagenstärken bis zu 30 cm durch die hohlraumseitig befestigte Bewehrungslage ist für die Qualität des eingebauten Spritzbetons eine höhere Frühfestigkeit nicht zielführend.

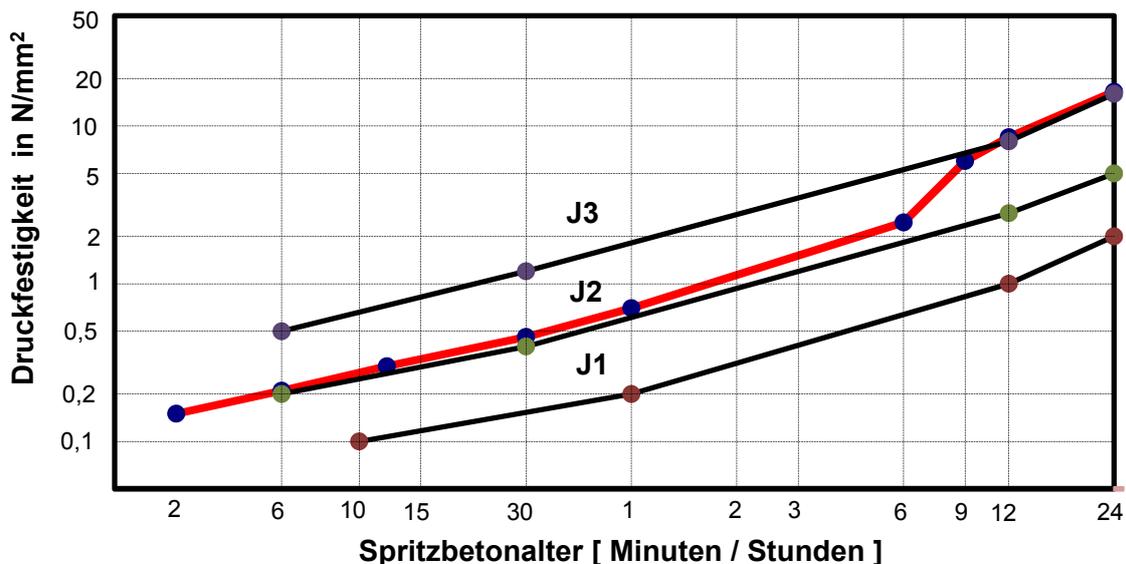


Bild 7: Frühfestigkeitsentwicklung [Eignungsprüfung Bebenrothtunnel]

Den vorhandenen unregelmäßigen Querschnittsgeometrien der Bestandsschale (siehe Abb. 4 und Abb. 5) geschuldet, wurde bereits durch den Bauvertrag ein im Baubetrieb einfach umzusetzendes und anpassungsfähiges Sicherungssystem vorgegeben.

Entsprechend der bauvertraglichen Vorgaben war wie folgt zu verfahren.

Die Oberfläche sollte vor dem Aufbringen der ersten Spritzbetonlage mittels Sandstrahlens gereinigt werden, lose Teile der bestehenden Spritzbetonsicherung entfernt werden. Ab einer Auftragsstärke von 10 cm wurde die neue Schale mittels einer Bewehrungsmatte Q 188 bewehrt. Bei angetroffenen größeren Schichtdicken werden je weiterer 30 cm Stärke jeweils eine zusätzliche Lage an Bewehrungsmatten aufgezogen. Die Bewehrung wurde mittels SB-Ankern in Ihrer Lage fixiert, gleichzeitig erfolgte damit die Verankerung der neuen Spritzbetonschale in das umgebende Gebirge. Als Ankerabstände wurden in Umfangsrichtung und Tunnellängsrichtung 2 m festgelegt, wobei die Anker unterschiedlicher Lagen um jeweils 1 m zu versetzen waren.

Diesen Vorgaben folgend wurden an der Baustelle, jeweils den angetroffenen örtlichen Verhältnissen entsprechend, Ausbaufestlegungen zwischen Bauüberwachung und Auftragnehmer entwickelt und umgesetzt. Diese Ausbaufestlegungen basierten auf der Auswertung eines aktuellen Oberflächenscans, welcher Verformungen aus den vorlaufenden Arbeiten und die im Vorfeld abgestimmten geometrischen Vorgaben der Innenschalenplanung aus der Ausführungsplanung berücksichtigte.

Es zeigte sich, dass speziell im Firstbereich über große Bereiche des Tunnels der Einsatz von Bewehrungsmatten erforderlich war, die neue Spritzbetonschale somit über das Tragsystem Spritzbeton, Bewehrung, Anker mit ausreichender Sicherheit gehalten wurde. Aus diesem Grund wurde auf den zusätzlich erforderlichen Arbeitsschritt einer aufwändigen vorauslaufenden mechanischen Behandlung des Untergrundes verzichtet.

Im Bestandstunnel waren im Laufe der Zeit zusätzlich zum ursprünglich eingebauten Natursteinmauerwerk aus Sandstein unterschiedlichste Baustoffe im Zuge von Sanierungsarbeiten eingesetzt worden. Die Bandbreite unterschiedlich angetroffener Oberflächen erstreckte sich vom ursprünglich vorhandenen Sandsteinmauerwerk über Ort- und Spritzbeton, Ziegelmauerwerk bis hin zur natürlich gewachsenen Felsformation (Bild 8).

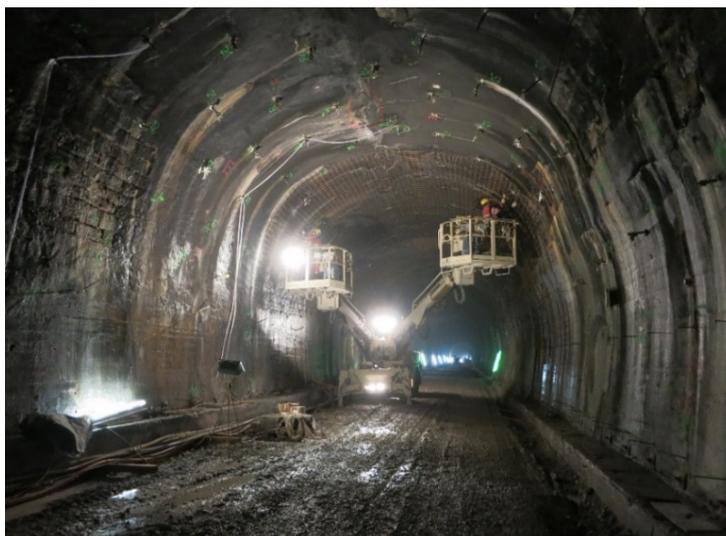


Bild 8: Im Hintergrund - Befestigung der Bewehrungsmatten, im Vordergrund sind die unterschiedlichen Bestandsoberflächen zu sehen – links Sandsteinmauerwerk, in der Firste Spritzbeton, rechts Ortbeton.

Entsprechend der Ausbaufestlegungen wurde mit dem Setzen der Selbstbohranker (SB-Anker) begonnen. Die Anker wurden beim Einbau exakt auf das vorgegebene Abstandsmaß in der Tiefe versetzt um beim späteren Spritzbetonauftrag die erforderliche Bewehrung mittels Ankerplatten bereits lagerichtig einbauen zu können. Der eigene Anspruch eines optimierten Bauablaufs erfordert vorauslaufend zu der Ausführung detaillierte Auswertungen der Bestandsschale sowie umfangreiche Absteckarbeiten (Bild 9).



Bild 9: Bohren und Versetzen der SB-Anker

Als letzter Arbeitsschritt erfolgte der Auftrag des Spritzbetons. Bedingt durch die Ausführung der Spritzbetonarbeiten in den Wintermonaten war die Arbeitsweise der geringen Umgebungstemperatur im Tunnel anzupassen.

Dies erfolgte durch die Unterteilung des Arbeitsganges Spritzbetonauftrag in drei Arbeitsschritte. Im ersten Schritt erfolgte ein Vorspritzen der Oberflächen in geringen Schichtstärken (Bild 10). Durch die geringen Oberflächentemperaturen kam es beim Auftrag von größeren Schichtstärken zu Ablöseerscheinungen im jungen Spritzbeton.



Bild 10: Arbeitsgang Vorspritzen

Nach ausreichender Aushärtungszeit erfolgte als zweiter Schritt das Auftragen von radialen Spritzbetonbalken. Über diese Balken wurden die Anker eingespritzt und die Bewehrungsmatten fixiert (Bild 11). Gleichzeitig wurden dadurch freie Mattenflächen reduziert, damit das Schwingverhalten der Matte beim Spritzvorgang verringert wird. Im Anschluss daran erfolgt als dritter Schritt der vollflächige Auftrag in der erforderlichen Stärke.



Bild 11: Auftrag Spritzbetonbalken

Bei diesem Arbeitsschritt ist große Sorgfalt beim Auftrag des Spritzbetons erforderlich. Einerseits sind große Schichtstärken von bis zu 30 cm bis zur hohlraumseitig liegenden Bewehrung zu überbrücken. Andererseits ist für eine gute Auftragsqualität eine gewisse Plastizität des Spritzbetons zum Spritzen durch die Bewehrung erforderlich. Gepaart mit den kühlen Oberflächentemperaturen der Bestandsschale ist für einen effizienten Spritzbetonauftrag eine permanente Überwachung des Systems erforderlich.

Die Baustelle wurde in dieser Phase durch ein Betonlabor begleitet. Dieses führte sämtliche Prüfungen entsprechend eines vorgegebenen Qualitätssicherungsplanes für das Endprodukt Spritzbeton durch. Diese Qualitätssicherung umfasste die Kontrolle der Betonausgangsstoffe, die laufende Überprüfung der Frischbetoneigenschaften, die Überprüfung der Festigkeitsentwicklung des jungen Spritzbetons, sowie die Nachweisführung der geforderten Vorgaben aus dem Bauvertrag für die angegebene Festigkeits- und Expositionsklasse.

5.1 Besondere Anforderungen an die Arbeitssicherheit

Der kontinuierliche Auftrag von größeren Spritzbetonmengen in mehreren Auftragschichten und -stellen, sowie die beidseitige Zugangsmöglichkeit während des Spritzbetonauftrags in einem Bestandstunnel, birgt ein erhöhtes Risiko von herabfallenden Spritzbetonteilen auf das Baustellenpersonal an frisch aufgetragenen Stellen.

Neben der sorgfältigen Abstimmung des generellen Bauablaufs auf dieses Risiko erfordert dies auch eine hohe Sorgfalt und Koordination bei der temporären Absperrung gewisser Arbeitsbereiche und eine täglich neue Definition der gefährdeten Bereiche im Tunnel, welche zu sichern sind (siehe auch Bild 12).



Bild 12: Absperrung eines frisch aufgetragenen Spritzbetonbereiches im Tunnel

6. Zusammenfassung

Die engagierte Mitarbeit aller Beteiligten – ausführende Firma/ Bauherr/ Ingenieurbüros - ermöglichte bislang eine für alle Beteiligten terminliche und qualitativ zufriedenstellende Umsetzung des Projektes.

Das vom Auftraggeber vorgegebene System zur Korrektur von Überprofilbereichen, bestehend aus, mittels Bewehrungsmatten gesichertem Spritzbeton und der zugehörigen systematischen Verankerung mittels SB-Ankern in das Gebirge, hat sich im gegenständlichen Projekt bewährt. Die ungleichmäßige Oberflächenbeschaffenheit der Bestandsröhre, gepaart mit den kühlen Oberflächentemperaturen erforderten jedoch ein entsprechend sensibles Vorgehen beim Spritzbetonauftrag. Aus Sicht des Arbeitnehmerschutzes sind temporäre Absperrmaßnahmen unter den vorliegenden Randbedingungen jedenfalls vorzusehen.

Zum Autor

Dipl.-Ing. Mario Fankhauser
Studium des Bauingenieurwesens an der TU Graz, Oberbauleiter bei der Fa. BeMo
Tunnelling GmbH, Innsbruck
mario.fankhauser@bemo.net