

RhB: Erneuerung Arosertunnel\*



## Untergrund vorbereitet

Der Arosertunnel der Rhätischen Bahn wird rundum erneuert. Um die geplante Erweiterung des Querschnitts überhaupt zu ermöglichen, musste vorab der umliegende Untergrund verbessert werden. Zum Einsatz kam eine zweiphasige Injektion. Nach einer Konsolidierungsinjektion mit Zementmörtel im Bereich der Gewölbehinterfüllung wurde das dahinter anstehende Bodenmaterial mit kolloidalem Silika injiziert.

Der Arosertunnel auf der RhB-Linie Chur – Arosa ist seit 107 Jahren in Betrieb. Aufgrund der starken Schäden am Tunnelgewölbe und der fehlenden Sicherheitsräume und -einrichtungen muss er vollständig erneuert werden. Das bestehende Mauerwerk wird im Schutze eines Rohrschirms komplett abgebrochen und der Tunnel rundum ausgeweitet – der Querschnitt wird gegenüber heute von rund 18 m<sup>2</sup> auf gut 24 m<sup>2</sup> deutlich vergrössert. Ein bestehendes Gebäude muss dabei äusserst knapp unterfahren werden.

Die Hauptarbeiten zur Tunnelaufweitung erfolgen in zwei langen Totsperrungen in den Sommern 2020 und 2021. Im Winter dazwischen muss hingegen der Bahnbetrieb gewährleistet werden. Diese Vorgaben führen zu einem Bauvorgang, bei dem der zum Vortrieb vorgesehene Rohrschirm nur im oberen Teil des Tunnelprofils angeordnet werden kann. Damit auch die Arbeiten im Bereich der Widerlager sicher

ausgeführt werden können, wurden deshalb ergänzende Massnahmen nötig: Der Baugrund musste auf der ganzen Tunnellänge im Bereich der heutigen Widerlager mit Injektionen derart verbessert werden, dass seine Standfestigkeit einen sicheren Ausbruch der künftigen Ulmenbereiche gewährleistet.

In analoger Weise wurde der Baugrund im Bereich der knapp zu unterfahrenden Liegenschaft verbessert: Die Injektionen wurden auch hier aus dem Tunnel heraus bis direkt unter die Bodenplatte des Gebäudes ausgeführt, um Hohlräume zu verfüllen, den anstehenden Boden zu verfestigen und eine möglichst gleichmässige Bettung herzustellen.

### Zweiphasige Injektionen

Der Baugrund – Lockergestein bestehend aus Sackungsmaterial und Moräne – wird als schlecht injizierbar eingestuft. Der di-

■ Bohrarbeiten für Kalotteninjektionen.  
(Bilder: F. Preisig AG Bauingenieure und Planer SIA USIC sowie fretus ag)

rekt hinter dem gemauerten Tunnelgewölbe anstehende Bereich, die Hinterfüllung, ist hingegen tendenziell gut durchlässig, zudem weist das bestehende, alte Mauerwerk viele undichte Fugen auf. Die Injektionen erfolgten deshalb in zwei Phasen: Das lockerere gelagerte Hinterfüllungsmaterial aus dem ehemaligen Tunnelvortrieb wurde in einem groben Raster mit einer eher «dicken» Zementsuspension bis auf eine Tiefe von zirka 50 cm hinter das bestehende Mauerwerk injiziert. Anschliessend erfolgte die Injektion des dahinter anstehenden Untergrundes mit kolloidalem Silika (niedrigviskos, vergleichbar mit Wasser) in einem Raster von 50 x 70 cm und einer Tiefe von bis über 3 m.

Aufgrund der komplexen räumlichen Situation wurden die Injektionen im Bereich des zu unterquerenden Gebäudes mit einem 3D-Modell geplant. So wurden dort für jede Bohrung Ansatzpunkt, Richtung und Länge individuell bestimmt.

Die Injektionsarbeiten wurden losgelöst vom Hauptlos der Tunnelarbeiten submittiert und nach Ostern 2020 in Angriff genommen. Anfang September, das heisst bei Beginn der Hauptarbeiten, konnten sie erfolgreich abgeschlossen werden.



■ Injektionsarbeiten ab Bauzug.



■ Bohren der Widerlagerinjektionen mit Bohrraube.

## Logistisch anspruchsvoll: Bauzug in Nachtintervallen

Die Arbeiten mussten vollständig in der Nacht ausgeführt werden, damit tagsüber ein Bahnbetrieb ohne Einschränkungen gewährleistet werden konnte. Zum Einsatz kam deshalb ein Bauzug, mit dem jeweils am Abend nach Durchfahrt des letzten Zugs alle für die Arbeiten nötigen Geräte und Materialien in den Tunnel gefahren wurden. Die Baustelle wurde jeweils für wenige Stunden eingerichtet, bevor am kommenden Morgen der Tunnel wieder vollständig geräumt und für den Bahnbetrieb freigegeben werden musste.

Die Widerlagerinjektionen erfolgten auf eine Tiefe von 2,8 m. Im Bereich der Kalotteninjektion – unter der zu unterqueren-

den Liegenschaft – variierten die Bohrlängen zwischen 0,3 und 3,5 m. Zur Herstellung der Bohrungen mit Bohrdurchmesser 90 mm waren drei Bohrgeräte parallel im Einsatz, insgesamt wurden über 4870 Bohrungen mit 12 500 Bohrmeter Gesamtlänge ausgeführt.

Die Injektionen erfolgten über Manschettenrohre: Es wurden 1,5-Zoll-Rohre aus PP verwendet, die Manschettenabstände betragen 33 cm. Insgesamt wurden rund 8250 Manschetten mit hydraulischen Doppelpackern angefahren, in der Regel wurde jede Manschette nur einmal angefahren.

Die Abbruchkriterien für die Injektionen wurden vom Projektverfasser vorgegeben. In der Regel erfolgte ein Abbruch bei einer Menge von 50 Liter pro Manschette

«Die Realisierung der Injektionen unter Aufrechterhaltung des Bahnbetriebs waren in ihrem Umfang und in ihrer Komplexität aussergewöhnlich. Dank kompetenter Planung und Ausführung konnten die hochgesteckten Ziele erreicht und die Kampagne erfolgreich abgeschlossen werden».

Paul Loser, Gesamtprojektleiter RhB

oder einem Druck von 10 bar. Im Bereich der Kalotteninjektion wurde aufgrund des direkt darüber liegenden Gebäudes das Vorgehen zwischen ausführender Unternehmung und Projektverfasser intensiv diskutiert und angepasst: Geringere Drücke, reduzierte Verpressraten und eine optimierte Abfolge der Injektionen wurden festgelegt, um eine möglichst gute Durchdringung bei geringem Risiko für die bestehende Bausubstanz zu erreichen.

## Injektionsarbeiten erfolgreich abgeschlossen

Der Erfolg der Injektionskampagne wurde während der Ausführung mit Sondierbohrungen durch das Mauerwerk hindurch in das injizierte Lockermaterial überprüft. Bohrungen mit herkömmlichen Kernbohrgeräten sind für diese Arbeiten nicht zielführend, mit einem Sondierbohrgerät mit Drehschlagantrieb und ausreichend hoher Drehzahl konnten im verfestigten Lockermaterial jedoch nur geringfügig gestörte Proben gewonnen werden.

Der beobachtete Zugewinn an Festigkeit ist zwar gering, die bisherigen Erfahrungen aus dem Rohrschirmvortrieb zeigen aber, dass die erwünschte Verbesserung der Standfestigkeit des Untergrunds erreicht werden konnte.

Die systematische Injektionskampagne ist als Erfolg zu werten. Die vorgezogene Ausführung losgelöst vom eigentlichen Vortrieb hat sich bewährt. Die Ausführung von Injektionsarbeiten mit Bahnlogistik und in Nachtsperren ist möglich, stellt jedoch hohe Anforderungen an Projektierung und Ausführung. ■

### Weitere Informationen:

fretus ag  
Zürcherstrasse 42, 5330 Bad Zurzach  
Tel. 056 511 29 99  
www.fretus.ch, info@fretus.ch

\* Der Bericht wurde von der fretus ag in Zusammenarbeit mit der F. Preisig AG verfasst.