Frankfurt-Eschhofen: Innerstädtischer Sprengvortrieb für den neuen Eppsteiner Tunnel neben der bestehenden alten Tunnelröhre

Dipl.-Ing. Stefan Simon, Abteilungsleiter Tunnelbau,
Dipl.-Ing. Harald Joos, Projektleiter Tunnelbau,
beide: DB ProjektBau GmbH, Frankfurt/Main, Deutschland

Bei den regelmäßigen Begutachtungen in allen Eppsteiner Tunneln wurden diverse Schäden und Mängel sowie eine stetige Verschlechterung der Bausubstanz festgestellt. Das Westportal hatte sich zudem durch Hangschubbelastung stark verformt, und die Tunnelentwässerungsleitungen waren nicht mehr funktionsfähig. Die Deutsche Bahn AG hat sich daher zu einer grundsätzlichen Erneuerung in Form eines Neubaus mit geringem horizontalem Abstand und Rückbau des alten Tunnels entschieden. Der Beitrag beschreibt die notwendigen baubegleitenden Maßnahmen und die eingesetzte Sprengtechnik, die durch ihre geringe Erschütterungsneigung dem geringen Abstand des für die Bauphase weiterbetriebenen alten Tunnels Rechnung trug.

Frankfurt-Eschhofen inner city drivage by blasting for the new Eppsteiner tunnel next to the existing old tunnel: *In the course of the regular inspections serious damage and defects as well as continuous deterioration of the structure of the old Eppsteiner tunnel were ascertained. In addition the west portal had become heavily deformed by shear loads and the tunnel drainage pipes were no longer serviceable. Hence the operator decided to undertake a fundamental renovation in the form of new construction with small horizontal clearance and demolition of the old tunnel. The contribution describes the necessary measures accompanying construction and the blasting technology used, which took into account the small distance from the old tunnel still operated for the construction phase.*

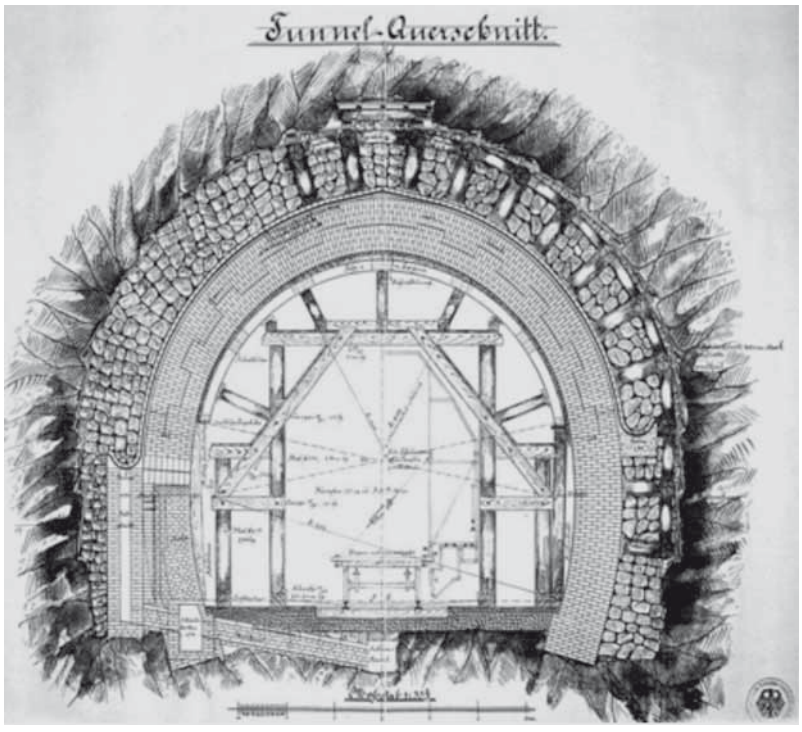
Der Eppsteiner Tunnel liegt auf der zweigleisigen und elektrifizierten Strecke Frankfurt am Main-Eschhofen in unmittelbarem Anschluss an den Bahnhof Eppstein. Das vorhandene Tunnelbauwerk ist 200 m lang und wurde in den Jahren 1875 bis 1877 erbaut. Der Tunnel führt bei einer maximalen Gebirgsüberdeckung von circa 40 m durch einen bewaldeten Bergrücken. Ausgekleidet ist der Tunnel mit Quadermauerwerk aus rotem Mainsandstein.

Der Hohlraum zwischen dem planmäßig 50 cm dicken Sandsteingewölbe und der unregelmäßigen Ausbruchkontur wurde mit einer vermörtelten Bruchsteinpackung hinterfüllt. Das Bild 1 zeigt einen Regelquerschnitt aus der Bauwerksakte des Eppsteiner Tunnels.

Im Zuge der regelmäßigen Begutachtungen wurden zum Teil gravierende Schäden und Mängel sowie eine stetige Verschlechterung der Bausubstanz über die gesamte Tunnellänge dokumentiert. Besonders hervorzuheben sind großflächige Hohlstellen und Risse im Spritzbeton auf der kompletten Tunnellänge. Deutlich wurde außerdem, dass sich das Westportal durch Hangschubbelastung stark verformt hat. Die Tunnelentwässerungsleitungen waren beschädigt und nicht mehr funktionsfähig. Diese Gründe haben die Deutsche Bahn AG (DB AG) zu einer grundsätzlichen Erneuerung auf Basis des gültigen Regelwerks veranlasst.

Aus betrieblichen Gründen wurde die Variante einer Erneuerung in alter Lage des Tunnels verworfen und stattdessen die Variante eines neuen 339 m langen zweigleisigen Tunnels in Parallellage mit einem Abstand von circa 10 bis 30 m südlich des bestehenden Bauwerks gewählt. Aus diesem Tunnelneubau resultieren als Zusammenhangsmaßnahme zunächst der Neubau beziehungsweise die Anpassung von circa

Bild 1. Regelquerschnitt aus der Bauakte des Tunnels Eppstein.



1,4 km zweigleisiger Stecke einschließlich der Streckenausrüstung (Oberleitung, Leit- und Sicherungstechnik, Telekommunikationsanlagen).

Auf der östlichen Seite, im Bereich des Bahnhofs, werden aufgrund des Tunnelneubaus Neu- und Umbauten an den Bahnsteigen, den Bahnsteigdächern und der Personenunterführung notwendig. Die Bahnsteige werden auf einer Nutzlänge von 210 m an die neue Gleislage angepasst. Der Zugang für die Fahrgäste wird außerdem durch die Ausrüstung mit Aufzügen behindertengerecht ausgebaut. Schließlich muss auch der bestehende Bahnübergang in die neue Trassenlage verschwenkt werden.

Im westlichen Anbindungsbereich sind neue Eisenbahnüberführungen (EÜ) über den Daisbach und über einen Wirtschaftsweg einschließlich der Verbreiterung der angrenzenden Bahndämme erforderlich. Die Baumaßnahmen sollen weitestgehend neben der bestehenden Trasse erfolgen und somit den uneingeschränkten Betrieb auf der Strecke sicherstellen. Nach Fertigstellung der Bauwerke, die so nah wie möglich an die bestehende Strecke herangebaut werden sollen, wird in einer verlängerten Wochenendsperrung die Anschwenkung des neuen Streckenabschnitts an die Bestandstrasse erfolgen. Der Rückbau der nunmehr ungenutzten Bauwerke einschließlich der Verfüllung des alten Tunnels erfolgt im Anschluss.

Die Maßnahmen der Deutschen Bahn AG sind hier außerdem sehr eng mit denen der Stadt Eppstein verzahnt. Im Bereich des Bahnhofs Eppstein werden durch die Verschwenkung der Gleistrasse in den neuen Tunnel ehemalige Gleisflächen zur Nutzung durch die Stadt Eppstein frei. Die Planung der Stadt sieht für das Bahnhofsumfeld die Erstellung eines Verknüpfungsbahnsteigs für die Verkehrsteilnehmer mit Busbahnhof und Wendeanlage sowie Anlagen für Park&Ride, Fahrradstellplätze, Behindertenstellplätze und Kurzparken vor.

Bild 2. Schutzeinhausung gegen Streuflug.

Sprengvortrieb

Geologische Erkundungsmaßnahmen haben ergeben, dass der Tunnel vollständig im Phyllit, einem vordevonischen Gestein, das durch Metamorphose aus überwiegend tonigen Sedimenten hervorgegangen ist, aufzufahren ist. Aufgrund der Gesteinsfestigkeit und der Abrasivität des Baugrunds muss der Tunnel im Sprengvortrieb aufgefahren werden. Die Größe des Tunnelquerschnitts bedingt dabei eine Unterteilung in Teilausbruchquerschnitte (Kalotte, Strosse, Sohle). Die Sicherung des Hohlraums erfolgt sofort nach dem Ausbruch und Schuttern mit einer bewehrten Spritzbetonschale sowie Felsankern und Ausbaubögen.

Der Tunnel muss aus Gründen der Zugänglichkeit und Platzverhältnisse für die Baustelleinrichtungen vom Ostportal aus aufgefahren werden. An den Sprengvortrieb sind durch die Nähe der Bebauung und des Bahnhofs besondere Anforderungen gestellt:

- Ausschluss jeder Gefährdung für den Bahnhof, die Bahnstrecke sowie die Umgebung, trotz Unterschreitung der Mindestabstände gemäß SprengG.
- Minimierung der Erschütterungen beim Sprengvortrieb.
- Baubegleitende Überwachung der Sprengerschütterungen durch den Einsatz eines abgestimmten Messkonzepts.
- Umfängliche Beweissicherung an den Gebäuden im Einflussbereich des Tunnelvortriebs.
- Sprengungen dürfen nur bei gesperrter Strecke stattfinden.
- Bau eines speziellen Sprengschutzes am Portal in Eppstein.
- Feststellung der Betriebssicherheit des alten Eppsteiner Tunnels nach der Sprengung und vor der Wiederaufnahme des Zugverkehrs.

Die genannten Anforderungen wurden mit folgenden Maßnahmen umgesetzt:

Gegen Steinflug aus den Sprengungen im östlichen Eingangsbereich des neuen Tunnels ist eine stabile und massive Einhausung errichtet worden. Sie besteht aus einer verschweißten Stahlträgerkonstruktion, die ähnlich einer Baugrubenwand mit Holzbalken ausgefacht ist. Diese Konstruktion wird außerdem so platziert, dass der Ausgang in Richtung der bestehenden Felswand zeigt. Selbst ein unwahrscheinlich weiter Steinflug würde damit an die Felswand prallen und könnte keine Schäden auf den angrenzenden Parkplätzen oder im Bahnhofsbereich verursachen. Zum Schutz gegen kleinere Teilchen, die durch die Fugen zwischen den Holzbalken gelangen können und gegen übermäßige Staubentwicklung wurde die Einhausung noch mit einem Vlies verkleidet (Bild 2).

Die Abschlagslänge für die ersten Tunnelmeter wurde auf 1,0 m begrenzt, unter anderem, um

die aufzuwendende Sprengenergie in Grenzen zu halten. Im Kernbereich wurden dann die Abschlagslängen auf 1,6 m erhöht. Neben der geplanten Querschnittsaufteilung in Kalotte, Strosse und Sohle wurde bei den ersten Sprengungen der Teilquerschnitt Kalotte nochmals unterteilt und zur Lösung der Verspannung im Gebirge zunächst nur der dem alten Tunnel und der Ortslage abgewandte Teil der Kalotte gesprengt.

Zur Erhöhung der Standsicherheit des nur etwa 10 m breiten verbleibenden Gebirgspfeilers zwischen dem Vortrieb im Anfahrbereich des neuen Tunnels und dem Voreinschnitt des Bestandstunnels wurde entsprechend den Angaben im tunnelbautechnischen Gutachten von der Portalwand aus ein 25 m langer Rohrschirm eingebracht.

Zu den Zeiten der Sprengungen durfte im alten Eppsteiner Tunnel kein Zugverkehr stattfinden. Die hierfür im Fahrplan verankerten Sperrpausen mit einer Dauer von maximal 15 min waren täglich von Mo–Fr 9.50 h bis 10.05 h und von 21.20 h bis 21.35 Uhr sowie zusätzlich am Wochenende zwischen 15.20 h und 15.35 h.

Für das Sprengen wurde ein hochmodernes elektronisches Zündverfahren mit nahezu stufenlos zeitversetzten Zündstufen eingesetzt. Jedem einzelnen Zünder wurde eine exakte Zündzeit zugeordnet. Mit einer Zündbox konnten bis zu 500 Zünder mit maximal 4.800 Zeitstufen gesteuert werden.

Es wurde ein Emulsionssprengstoff verwendet bestehend aus Ammoniumnitrat und Mineralöl mit beigemischten Mikrohohlkugeln mit Luft- beziehungsweise Gaseinschluss. Für eine sichere Detonation wurde der Sprengstoff mit einer Sprengkapsel gezündet. Der Emulsionssprengstoff bietet folgende Vorteile:

- Große Sicherheit durch Unempfindlichkeit gegenüber Schlägen und Reibung.
- Sprengschwaden mit einer geringen Schadstoffkonzentration.

Der Ablauf der Sprengung war wie folgt: Nach einem speziellen Sprengleitschema wurden die Sprenglöcher mit einem Durchmesser 52 mm gebohrt. Die Bohrtiefe betrug Abschlagslänge plus 20 cm. Die spezifische Lademenge je Bohrloch betrug, je nach Länge, circa 0,8 kg.

Im folgenden Schritt wurden die Zünder mit den einzelnen Zündstufen nach einem vorgegebenen Leitbild programmiert. Die Zuordnung der Zündernummer und Zeitverzögerung erfolgten durch ein spezielles Lesegerät (Scanner). Damit bei der Programmierung nicht versehentlich die Zündung ausgelöst wird, arbeitet man hier mit einer deutlich geringeren Spannung, als sie für die Zündung benötigt wird (Bild 3).

Nachdem die Prüfung auf Fehlerfreiheit der programmierten Zünder erfolgt war, wurde die Strecke gesperrt und der Straßenverkehr angehalten. Im nächsten Schritt wird dann die Zündung durch einen Zündautomaten, „Blaster" genannt, ausgelöst, der mit einer deutlich höheren Spannung arbeitet (Bild 4).

Bild 3. Verdrahten und Scannen der elektronischen Zünder.

Bild 4. Auslösung der Sprengung mithilfe der Sprengbox.

Zur möglichst lückenlosen Überwachung und Dokumentation der Sprengereignisse wurden Schwingungsmessgeräte (Geophone) in den angrenzenden Gebäuden und im alten Tunnel installiert, die direkt an einen zentralen Server angeschlossen waren (Bild 5). Die Geophone wurden dem Vortriebsstand entsprechend umgebaut.

Die Ergebnisse der Erschütterungsmessungen standen den Beteiligten per Internetverbindung direkt online nach dem Sprengereignis zur Verfügung und konnten sofort auf die Einhaltung der Grenzwerte geprüft werden.

Die Messungen wurden in allen drei Raumrichtungen durchgeführt. Im Auswerteprogramm ließ sich zu jedem Messwert das zugehörige Schwingungsbild aufrufen.

Das Bild 6 zeigt, dass sich durch die Verteilung der einzelnen Sprengungen auf eine Zeitspanne von circa 5 s die Spitzenwerte für die Schallemission verringern. Im Detail lässt sich im Diagramm jeder Amplitude eine Zeitstufe und somit eine definierte Zündung zuordnen. Damit konnte in Zusammenarbeit mit dem Sprenggutachter eine Optimierung der Sprengung zur Vermeidung von unerwünscht hohen Schwinggeschwindigkeiten erreicht werden (Bild 7).

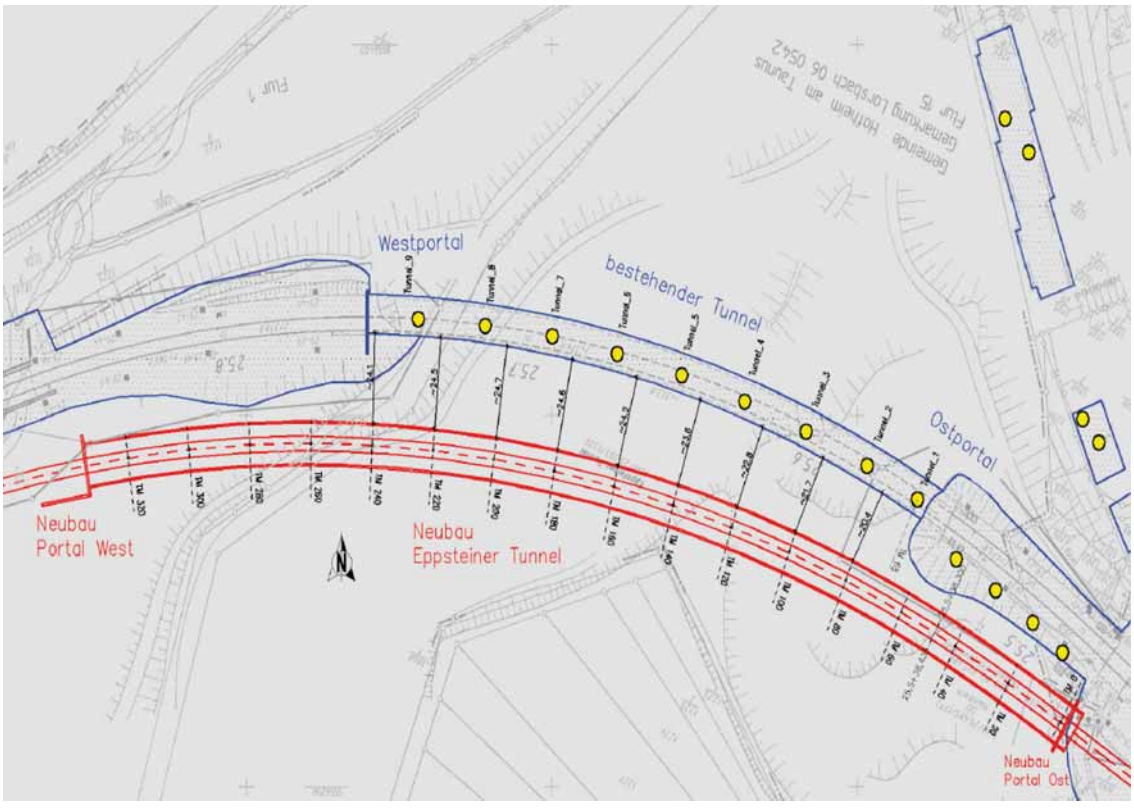


Bild 5. Standorte der Geophone (gelbe Punkte).

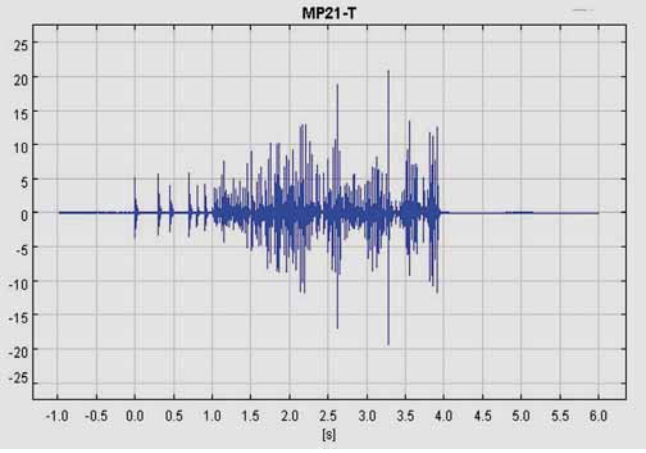


Bild 6. Diagramm Schwinggeschwindigkeit in mm/s über die Zeit.

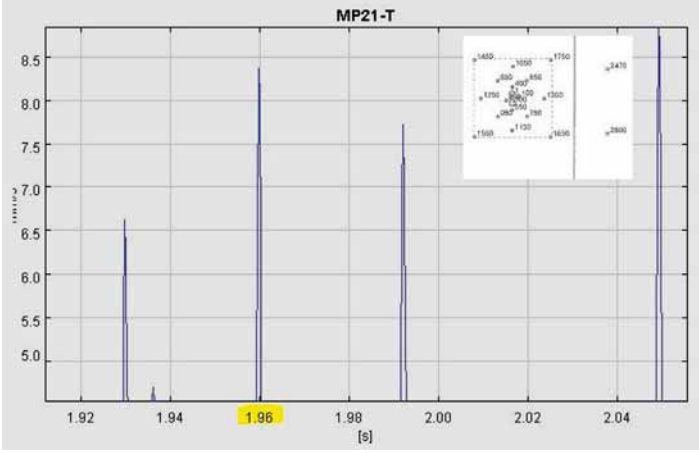


Bild 7. Zuordnung einer Amplitude im Sprengleitbild über eine definierte Zeitstufe.

Bei einer Grenzwertüberschreitung ergaben sich grundsätzlich folgende Anpassungsmöglichkeiten:

- Anpassung des Sprengleitbilds.
- Veränderung von Zündzeitpunkten.
- Veränderung von Abschlagslängen.
- Anpassung des Ausbruchquerschnitts.

Unmittelbar nach der Sprengung, noch innerhalb der Sperrpause, wurde eine visuelle Begutachtung des alten Tunnels und dessen Voreinschnitte auf eventuelle Schäden durch den bahnbetrieblich verantwortlichen Bauüberwacher durchgeführt (Bild 8).

Nach negativem Befund konnte der Bauüberwacher die Strecke wieder für den Eisenbahnverkehr frei gegeben. Damit die Begutachtung auch in der Kürze der Zeit stattfinden konnte, sind in der Gleismitte im alten Tunnel ein ausgebohlter Laufweg eingerichtet sowie eine Beleuchtung installiert worden.

Nach der Sprengung und dem Abzug der Sprengschwaden wurde, soweit erforderlich, mit dem Tunnelbagger nachprofiliert. Anschließend begann die Schutterung (Bild 9).

Um Großgeräte beim Schuttern einsetzen zu können, wurden Kalotte und Strosse in kurzem Abstand (2 bis 3 Abschläge) nachlaufend aufgefahren und damit die erforderliche Arbeitshöhe erreicht.

Am 25. Mai 2011 war es dann soweit: Nach nicht einmal fünf Monaten Vortrieb wurde der

Bild 8. Visuelle Kontrolle des Bestandstunnels.

Bild 9. Schuttern des Tunnelausbruchs.

Bild 10. Durchschlag des neuen Eppsteiner Tunnels.

Bild 11. Fräsvorgang zum Auffahren der Sohle.

Durchschlag in Kalotte und Strosse erreicht (Bild 10).

Als Sondervorschlag des AN wurde im Anschluss die Sohle mit einer Straßenfräse aufgefahren (Bild 11). Dabei wurden am Anfang Frästiefen von 15 cm bei einer Arbeitsbreite von b = 2,0 m erreicht. Mit zunehmender Tiefe nahm die Fräsleistung jedoch stark ab, sodass nur noch Frästiefen von circa 8 cm erreicht wurden.

Bis Mitte 2012 sollen der Rohbau des neuen Tunnels und die Tunnelportale fertiggestellt werden. Im Jahr 2013 werden dann die ersten Züge durch den neuen Tunnel fahren.

Fazit

Das eingesetzte elektronische Zündverfahren beim Vortrieb für den neuen Eppsteiner Tunnel konnte die hohen Erwartungen voll erfüllen. Es ist gelungen, die Körperschallemissionen deutlich zu reduzieren. Die Sicherheit für die angrenzenden Bauwerke, speziell den daneben liegenden alten Eppsteintunnel, konnte gewährleistet werden. Der laufende Eisenbahnbetrieb wurde bis auf die planmäßigen Sperrpausen für die Sprengungen nicht durch den Vortrieb beeinflusst.

Trotz der höheren Kosten für die elektronischen Zünder im Vergleich zu den konventionellen Zündern mit festen Zeitstufen sollte das Verfahren bei Sprengvortrieben in sensiblen Bereichen, speziell neben alten Bauwerken, vermehrt zum Einsatz kommen.