Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 107 (1989)
Heft: 35

Artikel: Tunnelsanierung: der Riesbachtunnel der SBB
Autor: Peter, Andreas / Nauer, Heinz
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-77156

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Literatur

[1] *Curt Riess:* St. Moritz, die Geschichte des mondänsten Dorfs der Welt. Werner-Classen-Verlag, Zürich (1968)
[2] *Ch. Schlüchter:* Instabilities in the area of St. Moritz, Switzerland - Geology, chronology, geotechnology. Proc. of the fifth international symposium on landslides, pg.1375-1380, Lausanne (1988)
[3] *R. Maillart:* Die Erhaltung des schiefen Turmes von St. Moritz. SBZ, Band 98, Heft 3, pg. 29-31, Zürich (1931)
[4] *R. Haefeli:* Der schiefe Turm von St. Moritz im Vergleich zum schiefen Turm von Pisa. SBZ, 92. Jahrgang, Heft 16, pg. 381-388, Zürich (1974)
[5] *J. Huder:* Confortement au clocher de St-Moritz. Proc. of the tenth international conference on soil mechanics and foundation engineering, Vol. 4, pg. 846-848, Stockholm (1981)
[6] - Redaktionelle Notiz im 73. Jahresbericht der VSZ+KGF, pg. 76-77, Zürich (1983)
[7] *Curt M. Mayer:* Sanierungsarbeiten am schiefen Turm von St. Moritz. Reportage im Schweizer Baublatt, Heft 68, Rüschlikon (1983)

Sorgfältig abzuwägen war, wie weit in den Spannungszustand des Turmmauerwerkes eingegriffen werden durfte. Das Turmmauerwerk ist immerhin 850 Jahre alt. Als Bindemittel diente damals Sumpfkalk. Das zum überwiegenden Teil grobblockige Mauerwerk erlaubte keine Probeentnahme mit Festigkeitsuntersuchung. Eine Beurteilung des Mauerwerkes war also nur qualitativ möglich. Der kompakte Mauerwerksverband, der durchgehärtete Mörtel und die schwierige Bearbeitung mit Spitzeisen und Kompressor liessen dieses Mauerwerk als hochwertig einstufen. Ihm wurden rechnerische Spannungen während der Bauzeit bis 2 N/mm² bedenkenlos zugemutet, vgl. dazu auch Bild 8.

Die Turmverkippungen wurden laufend mittels eines am Turmschaft oben befestigten Lotes kontrolliert. Parallel dazu mass man periodisch die Einsenkungen der Turmfundation und die Seilkräfte in den Rückverankerungen. Das Mess-System hat zwar empfindlich auf jede bauliche Massnahme reagiert, aber immer in dem zum voraus berechneten Ausmass, so dass in keinem Zeitpunkt eine unkontrollierte Situation aufgetreten ist.

Zur Erreichung klarer Lastabtragungsverhältnisse wurde der Turm nach Fertigstellung der Bauarbeiten angehoben und auf die 3 Lagerkörper abgestellt. Dieser eintägige Hebevorgang erlaubte die Messung des Turmgewichtes, das zu 1200 t vorberechnet, dann zu 1264 t effektiv gemessen wurde. Die Hebung bei den vorderen 2 Lagern erfolgte simultan.

Die Bauarbeiten sind detailliert und ausführungsreif im Akkord ausgeschrieben worden. Sie wurden im Rahmen des Kostenvoranschlages abgerechnet. Die gesamte Bauzeit inkl. Umgebungsarbeiten dauerte von Mitte April bis Mitte November 1983, also über 7 Monate.

Der Eingriff in die Turmsubstanz und den gewachsenen Boden sind massiv und ohne Zweifel sowohl vom Standpunkt der Archäologie wie der Denkmalpflege aus nicht unbedenklich. Für dieses eine Mal wurde den statisch-konstruktiven Belangen Priorität eingeräumt, weil keine zurückhaltendere Lösung zur Sanierung zur Verfügung stand. Es ist dies wohl eher eine Ausnahme, sicher nicht die Regel. Immerhin konnten parallel zu den Bauarbeiten am Turm archäologische Ausgrabungen im Bereich des alten Kirchenschiffes durchgeführt werden. Die umgebenden Teile und der Turmschaft selbst wurden einer Restauration unterzogen. All diese Arbeiten erfolgten unter der kompetenten Aufsicht der dazu zuständigen Amtsstellen des Kantons Graubünden.

Adresse der Verfasser: *Rudolf Wullimann*, dipl. Bauing. ETH/SIA, Institut für Grundbau und Bodenmechanik, ETH Zürich, und *Fredi Schneller*, dipl. Bauing. ETH/SIA, Edy Toscano AG, Zürich/Pontresina.

Tunnelsanierung

Der Riesbachtunnel der SBB

Der Ende des letzten Jahrhunderts gebaute einspurige Bahntunnel liegt an der sehr stark frequentierten rechtsufrigen Zürichseelinie und unterquert zwischen den Bahnhöfen Stadelhofen und Tiefenbrunnen bei nur sehr geringer Überdeckung städtisches Gebiet mit Wohn- und Geschäftshäusern, einem Spital und wichtigen Verkehrsknotenpunkten. Der bauliche Zustand sowie verschiedene Mängel veranlassten die Schweizerischen Bundesbahnen, den Bahntunnel in den Jahren 1985-88 einer vollständigen Sanierung zu unterziehen. Aus bahnbetrieblichen Gründen waren die Sanierungsarbeiten nur in der Nacht während einer verlängerten Zugspause möglich.

VON ANDRES PETER, THUN, UND HEINZ NAUER, GLATTBRUGG

Ursache der Sanierung

Die Schäden im knapp hundert Jahre alten Einspurtunnel sind vor allem auf die für Bauwerke älterer Bauart ungünstigen geologischen und hydrologischen Verhältnisse sowie auf die seit der Einführung des starren Fahrplanes im Jahre 1968 angewachsene Verkehrsbelastung und auf die ausserordentlich hohe Beanspruchung des Untergrundes durch die auf dieser Strecke eingesetzten allachsig angetriebenen Triebwageneinheiten zurückzuführen. Als hauptsächlichste Schäden und Mängel sind erwähnenswert:

- Ungenügend entwässerte Tunnelsohle infolge zu hoch liegender Entwässerungsleitung. Die daraus resultierende Verschlammung des Untergrundes und die damit verbundenen Schlammaufstösse in das Schotterbett führten zu einer unruhigen Gleislage und zu einer Reduktion der Fahrgeschwindigkeit.
- Beträchtliche Wasserinfiltrationen durch das aus Lägernkalkquadern bestehende Tunnelmauerwerk verursachten Fugenausschwemmungen und bis zu dezimeterstarke Versinterungen an der Mauerwerksoberfläche. Die z.T. extrem witterungsabhängigen Vernässungen beeinträchtigten die Fahrleitungs- und Gleisanlagen in grossem Masse und führten im Winter zu starken Eisbildungen.

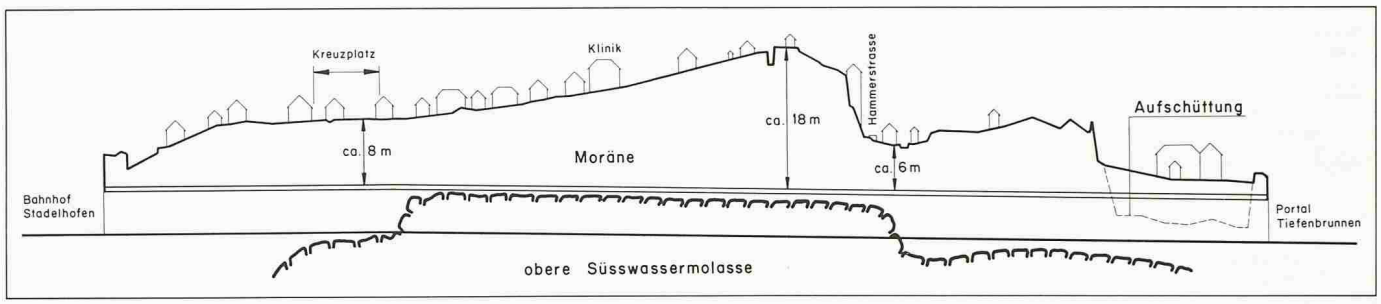


Bild 1. Geologisches Längenprofil und Tunnelüberdeckung

- Ungenügende Profilverhältnisse, die die gestellten Anforderungen bezüglich Lichtraumprofil sowie Fahrleitungs- und Sicherheitsräumen nicht mehr erfüllten.

Die durch die Schäden vermehrt verursachten Unterhaltsarbeiten, die infolge des dichten Zugsverkehrs nur während der kurzen Nachzugspause ausgeführt werden konnten, sowie die erwähnten ungenügenden Platzverhältnisse lösten eine Gesamtsanierung aus.

Geologie und Tunnelüberdeckung

Aufgrund der Bauprotokolle von 1889/90 und den ergänzenden Sondierungen sind die geologischen Verhältnisse im Nahbereich des Tunnels weitgehend bekannt.

Der Kern des Tunnels durchfährt die obere Süsswassermolasse, wobei die Firste durchwegs im Lockergestein verläuft. Beide Portalzonen hingegen liegen vollständig im Lockergestein (Bild 1).

Die obere Süsswassermolasse besteht aus einer Wechsellagerung von Mergeln, Sand- und Siltsteinen, in die sandgefüllte Rinnen eingeschaltet sind. Die Beschaffenheit des Molassefels ist in Tunnelnähe merklich geklüftet und vom Tunnelausbruch her auch angewittert und zerrüttet. Die Lockergesteinszone setzt sich aus glazial vorbelasteter Moräne und eiszeitlichen Seeablagerungen zusammen. Sie sind in ungestörtem Zustand hart gelagert und für relativ kurze Zeit standfest. Wasserführende Zonen neigen jedoch rasch zum Ausfliessen, und ursprünglich festes Material weicht bei Wasserzutritt sofort zu Brei auf. Die Tunnelröhre wirkt sowohl im Fest- wie auch im Lockergestein als Drainage für das Hang- und Sickerwasser.

Sanierungsprojekt

Aufgrund der Schäden und Mängel sowie der bahntechnischen Vorgaben wurde folgendes Sanierungsprojekt ausgearbeitet und anschliessend in die Wirklichkeit umgesetzt.

Gleisabsenkung und -verschiebung

Die Forderung nach verbesserten Fahrdraht- und Lichtraumprofilverhältnissen verursachte eine durchgehende Tieferlegung des Gleises um 30–45 cm. Mit der gleichzeitigen Korrektur der Gleisgeometrie (Gleisverschiebungen bis 15 cm) konnte die Ausbaugeschwindigkeit auf VR = 80 km/h erhöht werden.

Tunnelsohle

Der Tunnelsohle als grösstem Sorgenkind galt es spezielle Beachtung zu schenken. Zum Schutz des Untergrundes vor den dynamischen Einflüssen des Zugverkehrs und zur Verhinderung von Schlammaufstössen in das Schotterbett wurden verschiedene Ausführungsvarianten wie «schotterloses Gleis», Sohlensicherung mit speziell abgestimmtem Schichtenaufbau sowie der Einbau einer Betonplatte geprüft. Als auf die Dauer und von den komplizierten Bauabläufen her beste Lösung kristallisierte sich die Betonplatte heraus, wobei diese folgenden Anforderungen zu genügen hat:

- Ausreichende Tragfähigkeit auch bei verwittertem und aufgelockertem Untergrund.
- Überbrückung von «Hohlstellen» bis zu einem Durchmesser von 2,0 m, ohne dass die zulässigen Spannungen überschritten werden.
- Dauerhafte Abdichtung gegen Feinanteile aus dem Untergrund (nicht unbedingt wasserdicht).
- ausgleichend in bezug auf Setzungsdifferenzen.

Der Aufbau der Bodenplatte und des Oberbaus ist in Bild 2 dargestellt.

Durchgehend neue Sickerleitungen sorgen für eine einwandfreie Entwässerung. Die Sickerleitung links der Bahn sammelt das anfallende Wasser aus dem bergseitigen Widerlager sowie aus den Gunitableitungen aus dem Gewölbe und führt dieses über Querleitungen der Hauptdole rechts der Bahn zu. Dem gesamten Entwässerungssystem kommt infolge des nur sehr geringen Längsgefälles des Tunnels (Längsgefälle 0,1–2,0 ‰) sehr grosse Bedeutung zu. Um bei den ohnehin schon knappen Platzverhältnissen allzu tiefe Entwässerungsgräben und damit verbunden auch grössere Widerlagerunterfangungen zu vermeiden, wurde das Leitungsgefälle mit lediglich 2‰ Gefälle projektiert. Da der Tunnel zudem noch ein Dachgefälle aufweist und alles Wasser dem Vorfluter auf Seite Tiefenbrunnen zugeführt werden muss, war die Zwischenschaltung eines Pumpwerkes unumgänglich.

Widerlagerunterfangungen und Neumauerungen

Die erforderliche Gleisabsenkung und der Einbau der Betonplatte mit den Entwässerungsleitungen verursachten einen Abtrag der Tunnelsohle um durchschnittlich 80 cm und massive Widerlagerfundamente auf die gesamte Tunnelstrecke. Aus Profilgründen waren zusätzlich zwischen Widerlager und Kalotte lokal rund 130 m² Mauerwerk auszubrechen und zurückversetzt neu aufzubetonieren.

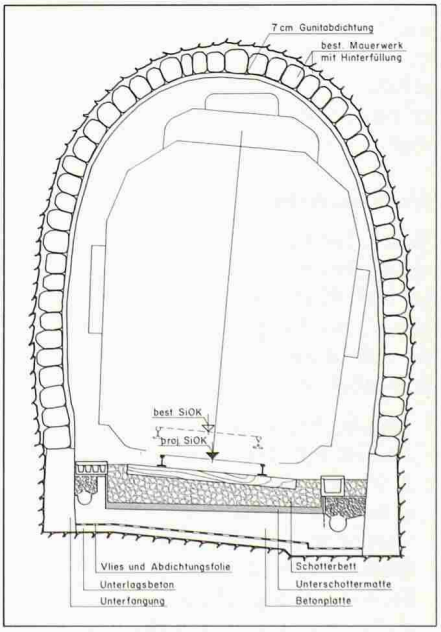


Bild 2. Tunnelprofil mit Sohlenaufbau

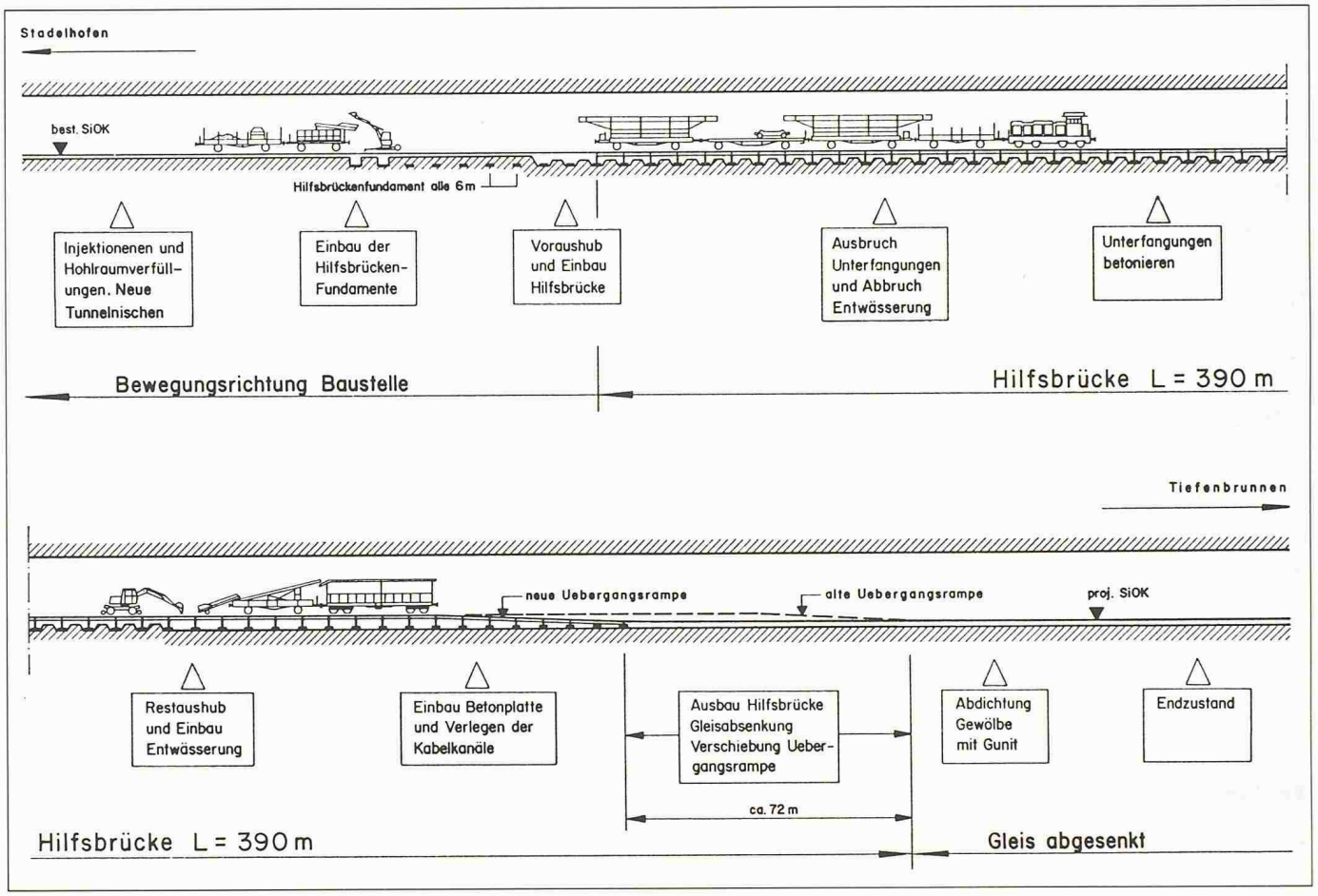


Bild 3. Bauvorgang Sohlenbaustelle

Mauerwerksabdichtung

Mauerwerkzonen mit starken Wasserinfiltrationen sind mit einer 7 cm starken Gunitschale abgedichtet worden, wobei stark fliessendes Wasser vorgängig mittels auf das Mauerwerk «aufgeklebter» Halbschalen gefasst und der Tunnelentwässerung zugeleitet wurde. Insgesamt sah das Projekt nur die Abdichtung der extremen Stellen mit ca. 6500 m^2 Gunit als Minimallösung vor. Dies hätte aber, wie es sich an Ort und Stelle dann zeigte, zu unbefriedigenden Verhältnissen geführt, sodass schliesslich mit 11 300 m^2 nahezu die doppelte Gewölbefläche abgedichtet wurde.

Weitere Arbeiten am Mauerwerk

Neben den bisher beschriebenen Sanierungsarbeiten waren den Bedürfnissen der SBB-Fachdienste entsprechend weitere z.T. umfangreiche Ausbruchsarbeiten am Mauerwerk nötig. Es handelte sich dabei vor allem um:

- das Ausbrechen von 27 neuen Tunnelnischen (Grundfläche ca. 2,50/2,.00 m). Diese dienen als Fluchtnischen für das Bahnpersonal sowie als vorübergehender Lagerplatz für Schienenwerkzeuge etc.
- Sicht- und Signalnischen in Verbindung mit dem neuen Signalisations- und Sicherheitskonzept der S-Bahn.
- Tragwerks- und Nachspannischen für die neue Fahrleitungsanlage.

Bauausführung

Bahnbetriebliche und bauliche Randbedingungen

Die Ausführung solcher Sanierungsarbeiten unterscheidet sich sehr erheblich von konventionellen Baustellen. Bahnbetriebliche Einschränkungen, extrem knappe Platzverhältnisse, teilweise vorgegebene Bauvorgänge sowie weitere Randbedingungen bestimmen den Arbeitsrhythmus und Bauablauf sehr stark und verlangten von der ausführenden Unternehmung ein grosses Mass an Flexibilität und einen sehr guten organisatorischen Ablauf aller Arbeiten.

Als wichtigste in den Submissionsunterlagen vorgegebene Randbedingungen seien erwähnt:

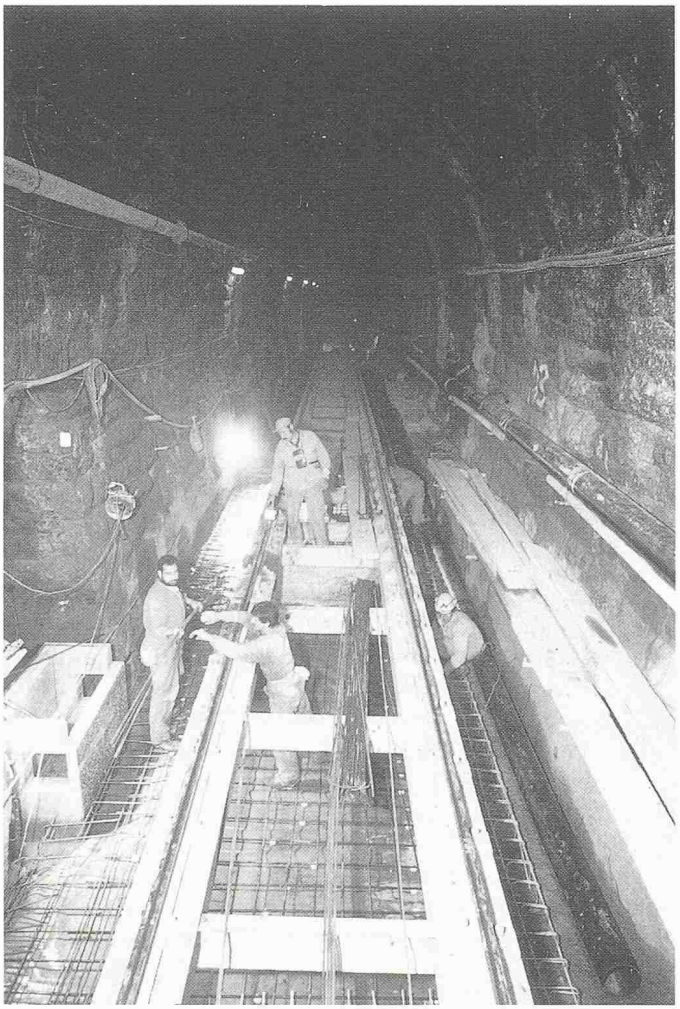
- Bauausführung nur während eines Nachtintervalls von 22.15 bis 06.00 Uhr.
- Vor Intervallende sind sämtliche Baustellen zu räumen und entsprechend zu sichern, so dass der Bahnbetrieb tagsüber in keiner Weise gefährdet wird.
- Alle Bauarbeiten sind ab Bahnwagen auszuführen. Ebenso ist sämtliches Baumaterial auf Bahnwagen an den Verwendungsort zu transportieren.
- Während der Nacht darf mit den Bauzügen aus Lärmgründen nicht aus dem Tunnel gefahren werden.

Die Installationen

Die Infrastruktur für die Sanierung des Riesbachtunnels liess sich in drei Teile aufgliedern, nämlich:

- in das Barackenlager beim Bahnhof Tiefenbrunnen mit Büros, Konferenzraum, Umkleideraum für die Arbeiter, einer Werkstatt, einer Wagenwaschanlage, einer Kippstelle für den Umlad des Ausbruchmaterials, mit Magazinen, Depotplatz und einem 64 m^3-Kiessilo mit Verladeförderbändern,
- in das Strom-, Wasser- und Druckluftversorgungsnetz im Tunnel,
- und in den schienengebundenen Wagenpark mit den nötigen Baumaschinen und Geräten sowie den Materialversorgungswagen.

Der Wagenpark bestand insgesamt aus 45 Bauzugwagen und zwei schienengängigen Baggern, was eine totale Zugslänge von 500 m ergab. Davon fuhren



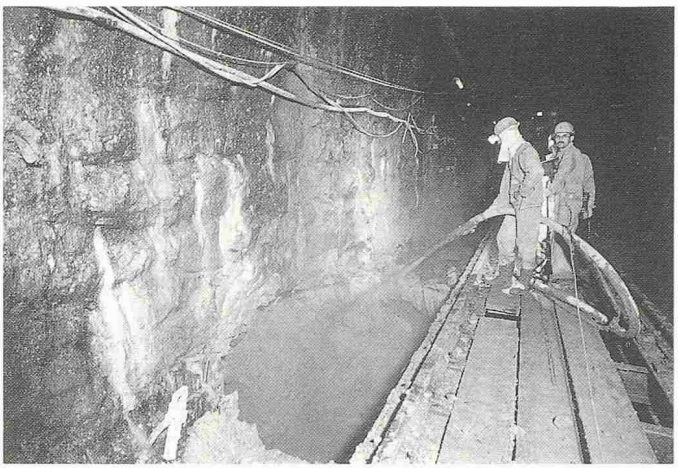


Bild 5. Zuspritzen einer Widerlagerunterfangung mit Spritzbeton

Bild 4. Sohlenbaustelle mit Hilfsbrücke

im Mittel etwa 30 Wagen in den Tunnel. Um die Mobilität der einzelnen Baustellen zu gewährleisten, wurden diese Bauzugwagen in drei Kompositionen mit je einer SBB-Diesellok aufgeteilt. Die Geräteliste war beachtlich, wie die folgende Liste der Hauptgeräte zeigt:

Drei 15-Tonnen-Schienenbagger, ein bahnwagenmontierter Kamobagger, ein Kleinbagger, drei Betonanlagen, drei Gunitanlagen, vier Kippereinheiten zum Auflad und Abtransport von Ausbruchmaterial mit einer Kapazität von total 180 m^3, zwei hydraulische Bohrlafetten, ein Schrämgerät, eine Hebebühne, ein bahnwagenmontierter Hiabkran, ein Hilfsbrückenversetzzug, zwei Ventilatoren zur Versorgung der Baustellen mit Frischluft sowie 30 Pumpen.

Der Bauvorgang

Die Sanierung des Riesbachtunnels erfolgte mittels einer Reihe von Einzelbaustellen, die sich von Tiefenbrunnen her stetig durch den Tunnel Richtung Stadelhofen vorwärts bewegten. Bis zu acht Baustellen mit den unterschiedlichsten Arbeiten waren gleichzeitig im Gang.

In einem ersten Durchgang erfolgte im April 1985 der Einbau von je 1,3 km Sechszoll-Luftleitung, Zweizoll-Wasserleitung, von Hoch- und Niederspannungskabeln.

Die ersten eigentlichen Sanierungsarbeiten erfolgten mit einer bahnwagenmontierten, verschiebbaren Bohrlafette. Ca. 8000 Bohrlöcher waren nötig, um mit Zement-, Zementschaum- und Polyurethaninjektionen die nachfolgenden Ausbrucharbeiten zu sichern und die schlimmsten Hohlräume hinter dem Mauerwerk aufzufüllen. Danach erfolgte der Bau von total 227 Betoneinzelfundamenten im Abstand von 6 m zur Abstützung der Hilfsbrückenträger. Die Einzelfundamente wurden rundum mit Armierungsanschlussbügel versehen und beim Einbau der durchgehenden Betonbodenplatte voll in diese integriert.

In weitern Durchgängen erfolgte der Bau der 27 Tunnelnischen sowie der Ausbruch von Mauerwerk und anschliessender Neumauerung zwecks Erweiterung des Lichtraumprofils an extremen Engstellen.

Kernstück des Armierungskonzeptes bildete der Einbau einer Hilfsbrücke von 390 m Länge, die es erlaubte, das Tunnelprofil unterhalb des Gleises zu erweitern, die Mauerwerkfundamente zu unterfangen, die Entwässerungsleitungen einzubauen und eine durchgehende Bodenplatte zu betonieren.

Die Hilfsbrücke (Bild 3), die bereits bei der Sanierung des Zimmerberg- und des Albistunnels ihre Bewährungsprobe bestand, setzt sich aus folgenden Teilen zusammen:

- 130 Längsträger HEM 320 mit Länge 6 m
- 260 Spurhalter UNP 240
- 400 Auflagerstapelelemente mit variabler Höhe von 1–20 cm. Diese können zu total 66 Auflagerstapeln mit Höhen von 31–76 cm zusammengeschraubt werden und decken damit die Erfordernisse für den Übergang der alten Schienenanlage und der um 30–45 cm tiefer liegenden neuen Gleislage ab.

Die Hilfsbrücke wiegt total 342 Tonnen. Ihr Einbau erfolgte in Etappen von 12–18 m mit Aushubkubaturen von 60 m^3 pro Nacht. Der Ausbau erfolgte in Etappen von 72 m pro Nacht. Für eine solche, alle drei Wochen stattfindende Ausbaunacht standen auf einem Tunnelabschnitt von 120 m bis zu 40 Mann im Einsatz:

12 Mann der ARGE für den Ausbau der Hilfsbrückenträger und Auflager-

stapel sowie den Umbau von sieben Auflagerstapeln zur Ausbildung der Übergangsrampe auf einer Strecke von ca. 42 m zur Überbrückung der Höhendifferenz von alter zu neuer Schienenlage; 25–30 Mann der SBB und von Gleisbaufirmen standen für den Schwellen- und Schottereinbau und das Richten der Schienen im Einsatz. Rund 100 schwere Eichenschwellen und 120 m^3 neuer Schotter mussten in kurzer Zeit eingebaut werden, wobei sehr viel Handarbeit nötig war. Kurz nach sechs Uhr morgens musste jeweils das Gleis für den ersten Zug des Goldküsten-Expresses Rapperswil–Zürich freigegeben werden.

Im Bereich des neu eingebrachten Schotters und der neuen, nun tieferliegenden Gleislage wurde das Schotterbett zum Schutz vor Verschmutzungen mit einem Vlies abgedeckt. Danach wurde an einigen Engstellen das Mauerwerk mit einem speziell für diese Bedürfnisse entwickelten Schrämgerät mit hoher Leistung um 1–7 cm «abgehobelt». Als letzte eigentliche Sanierungsmassnahme der ARGE erfolgte der Aufbau einer 7 cm starken, armierten Gunitabdichtung.

Parallel dazu sorgten der Bahnmeister der SBB für den Einbau von neuen, durchgehend verschweissten Schienen und die Fahrleitungsmonteure für die Montage der neuen Fahrleitungstragwerke mit neuem Fahrdraht.

Felsabbau mit Expansionsmörtel

Für die Sanierungsarbeiten im Riesbachtunnel musste mit dem Ausbruch von rund 2000 m^3 Molassefels gerechnet werden. Diese Arbeiten lassen sich in diesem Fall sowohl zeitlich wie auch kostenmässig am rationellsten mit einem Hydraulikbagger mit angebautem Abbauhammer ausbrechen.

Die geringe Tunnelüberdeckung und die darüberliegenden Wohn- und Geschäftshäuser sowie die unumgänglichen nächtlichen Bauarbeiten gaben den Anlass, bereits schon während der Projektierungsphase an der als kritisch erachteten Stelle Lärm- und Körperschalluntersuchungen durchzuführen.

Mit Baugeräten, wie sie auch für die Bauausführung vorgesehen waren, wurden im Tunnel der Baulärm «simuliert» und an der Terrainoberfläche die Lärm- und Körperschallübertragungen gemessen. Die Messresultate wurden als zulässig und tolerierbar beurteilt.

Während der Bauausführung stellten sich dann aber laufend Reklamationen aus der Anwohnerschaft ein. Zusätzlich angeordnete Messungen ergaben keine grundsätzlich anderen Messresultate. Trotzdem kam man zum Schluss, dass die durch den Felsabbau verursachten Immissionen auf längere Zeit nicht zumutbar waren. Der Bauvorgang beziehungsweise die Felsabbaumethode musste deshalb kurzfristig geändert werden.

Verschiedene Alternativen wurden diskutiert und zum Teil praktisch erprobt: konventionelles Sprengen, «lautloses» Sprengen mit Expansionsmörtel, Felsabbau mit Dardagerät, Teilschnittmaschine, Felsabbau mit Wasserhochdruckstrahl.

Die neue Abbaumethode musste folgende Kriterien erfüllen: kurzfristig und auf engem Raum einsetzbar, erschütterungsarm, einen vernünftigen Arbeitsfortschritt garantierend.

Die Methode des Felsabbaus mit Expansionsmörtel erfüllte diese Kriterien am besten. Im Riesbachtunnel wurden insgesamt 32 t Expansionsmörtel verarbeitet. Nach kurzer Einarbeitungszeit durch Spezialisten konnte das baustelleneigene Personal die in der Schweiz erstmals in diesem Ausmass angewendete Methode erfolgreich anwenden. Der Expansionsmörtellieferant entwikkelte ein Gerät, mit dessen Hilfe Expansionsmörtel mechanisch und damit rationell eingebracht werden konnte.

Bei aller Euphorie für die erfolgreiche grosstechnische Anwendung des Felsabbaus mit Expansionsmörtel muss jedoch erwähnt werden, dass bezüglich Arbeitsfortschritt im Vergleich zur herkömmlichen Methode mit dem Abbauhammer eine Leistungsminderung um rund einen Drittel in Kauf genommen werden musste und die Kosten pro m^3 abgebauter Fels wesentlich höher lagen.

Die Methode ist dort eine interessante Alternative, wo bezüglich Lärm oder Erschütterungen hohe Anforderungen gestellt werden, wie in städtischem Gebiet bei geringen Überdeckungen.

Der Personaleinsatz

Die Arbeiten im Tunnel erfolgten jeweils während 5 Nächten pro Woche von Montag- bis Freitagnacht. Die Umstellung und Neuformierung der Bauzugwagen für die Bedürfnisse der nächsten Nacht, die Wartung der Maschinen und Geräte, die Entleerung der Kippereinheiten sowie der Nachschub der Baustoffe erfolgte tagsüber von Montag bis Freitag. Diese Zweiteilung in eine Nacht- und eine Tagschicht bedingte die Besetzung der Baustelle ab Montagmorgen bis Samstagmorgen rund um die Uhr und den Einsatz einer hohen Anzahl an Kaderleuten.

Folgendes Personal der ARGE stand im Einsatz:

Während der Nachtschicht: 1 Bauführer, 3 Poliere, 4 Vorarbeiter, 40 Mann.

Während der Tagschicht: 1 Bauführer, 1 Bauschreiber, 1 Vorarbeiter, 1–2 Mechaniker, 1–2 Handlanger.

Bahnseitig wurde folgendes Personal benötigt:

Während der Nachtschicht: 2 Lokführer, 1 Traktorführer, 2 Begleiter und 1 Baustellenchef.

Während der Tagschicht: 1 Traktorführer und 1 Begleiter für Manöver.

Die Koordination der verschiedenen gleichzeitig stattfindenden Arbeitsgattungen, der vielen am Bau beteiligten Parteien vom Bahndienst bis zu den Fachdiensten der SBB und zu Spezialfirmen, der tägliche Druck der Aufrechterhaltung eines sicheren und termingerechten Zugsbetriebs, die Verrichtung der Arbeiten nachts; all diese Randbedingungen stellten hohe Anforderungen an die Flexibilität, das Durchstehvermögen und die Kooperationsbereitschaft aller direkt Beteiligten.

Dank guter Zusammenarbeit aller am Bau Beteiligten konnten die Arbeiten rechtzeitig vor dem Fahrplanwechsel im Mai 1988 fertiggestellt werden.

Adresse der Verfasser: *A. Peter*, dipl. Bauing. ETH, Frutiger AG, Bauunternehmung, 3600 Thun, und *H. Nauer*, Bauing. HTL, Ingenieurbüro W.Galli, 8152 Glattbrugg.