Ein neues Tunnel-Sanierungsverfahren: Spritzbeton schafft neue Möglichkeiten

Autor(en): **[s.n.]**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **99 (1981)**

Heft 37

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74551

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

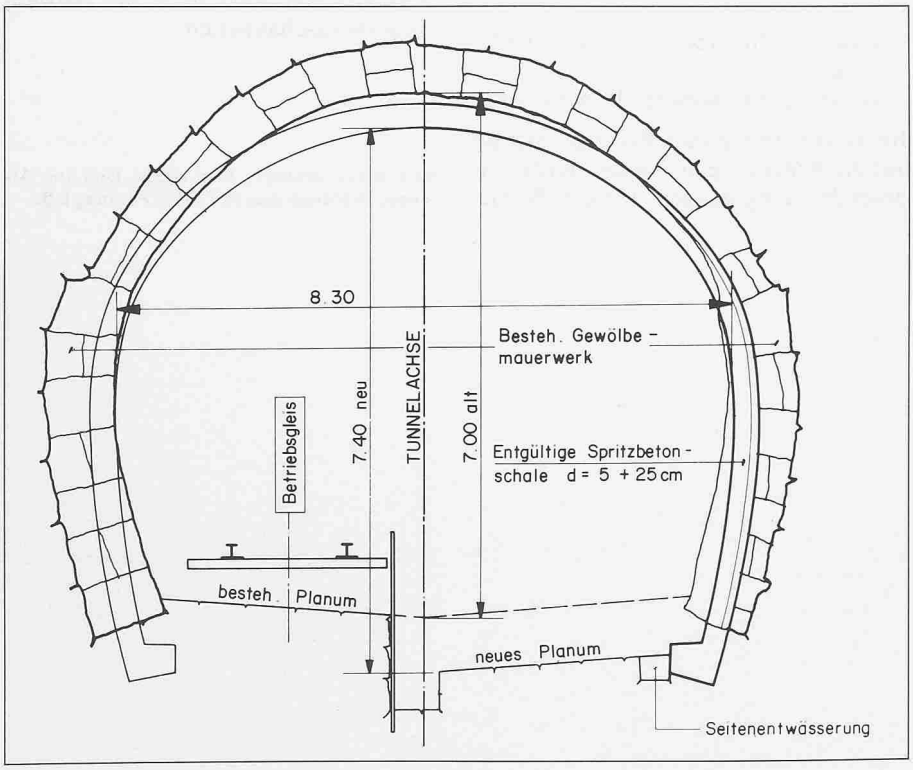
Ein neues Tunnel-Sanierungsverfahren

Spritzbeton schafft neue Möglichkeiten

Die Sanierung des stark deformierten Tunnelgewölbes des vor über 100 Jahren erbauten Charlottenfelstunnels bei Schaffhausen, dessen Sohle gleichzeitig im Hinblick auf eine zukünftige Elektrifizierung der Strecke Basel–Konstanz tiefer zu legen war, erfolgte nach einem neuen Verfahren. Es wurden nicht wie üblich zuerst einzelne Lamellen der Ulmen etappenweise in Schlitzen rechts, nach Fertigstellung dieser ersten Phase die Ulmen links ersetzt und in einer dritten Etappe das Gewölbe im Scheitel ebenfalls schlitzweise neu eingezogen, sondern das neue Gewölbe wurde etappenweise und in Lamellen von 2,20–4,00 m vom Scheitel in Tunnelmitte bis zum zukünftigen Fundament in einem Zuge eingezogen. Diese Variante wurde durch zusätzliche Tieferlegung der zukünftigen Sohle um das Mass möglich, um das das neue nur 30 cm starke bewehrte Betongewölbe zu liegen kam. Damit konnte nicht nur Bauzeit eingespart werden, sondern die Arbeiten zeichneten sich durch höhere Sicherheit aus. Allerdings hängt das Verfahren von einer allzeit einsatzbereiten und leistungsfähigen Spritzbetonmaschine ab, mit dern Hilfe nicht nur die ersten Lagen sofort, sondern auch die weiteren Schichten jederzeit aufgebracht werden können. Eingesetzt war ein Prototyp der Intradym GM 090, die sich durch verschiedene Neuentwicklungen auszeichnet. Die Maschine hat sich im Laufe dieser schwierigen und verantwortungsvollen Arbeit bewährt. Die Abdichtung erfolgte nach dem von den Deutschen Bundesbahnen bei Sanierungen von Tunneln angewendeten Methode der Ableitung des Wassers mit Hilfe von im Spritzbeton eingefrästen und mit Halbschalen überdeckten Ableitungen, deren Wirkung durch tiefe bis in den gewachsenen Fels reichende Bohrlöcher noch erhöht wird. Das anfallende Bergwasser wird in die Tunneldrainage abgeleitet.

(PRB). Der bauliche Zustand des vor über 100 Jahren erbauten Charlottenfelstunnels der *rechtsrheinischen Eisenbahnverbindung Basel - Schaffhausen - Konstanz,* erforderte eine Sanierung. Der auf dem Boden der Gemeinde *Neuhausen (SH)* gelegene Tunnel durchquert einen sich gegen den Rhein hinunterziehenden Bergrücken. Er wurde seinerzeit zur Hälfte im Kalkstein bergmännisch, der Rest in offener Baugrube mit nachfolgender Überdeckung erbaut. Die Überlagerung variiert im Fels zwischen 3–10 m, im mit lehmigen Material überdeckten Teil zwischen 1,5 und 4,0 m. Die Auskleidung des 2spurigen Tunnels bestand aus Kalksandsteinmauerwerk unterschiedlicher Qualität, es waren auch minderwertige Steine verwendet worden. Die Mörtelfugen waren grösstenteils ausgewaschen. Das Gewölbe selbst war teilweise deformiert und wies auch Risse auf. Die Sanierung der Tunnelauskleidung drängte sich auf.

Bild 1. Tunnelquerschnitt mit dem alten gemauerten Gewölbe und der neuen Spritzbetonauskleidung, die gemäss Vorschlag der Arge so tief gesetzt wurde, dass anstelle einer dreiphasigen Sanierung ein in zwei Etappen ausführbares neues Tunnelgewölbe möglich wurde. Das alte Mauerwerk im Scheitel konnte belassen werden, das neue Planum für das Geleise musste deshalb nicht nur um das Mass einer evtl. notwendigen Elektrifizierung tiefer gesetzt werden, sondern auch noch um die Stärke des neuen Spritzbetonsgewölbes im Scheitel



Der Sanierungsvorschlag

Das von der *Deutschen Bundesbahn* ausgearbeitete Sanierungsprojekt sah das übliche, in vielen Fällen mit Erfolg durchgeführte Bauverfahren vor, das bei zweigleisigen Tunnels durchgeführt werden kann. Zuerst sollten in Schlitzweiten von 5 m die Ulme auf einer Seite ausgebrochen und durch eine entsprechende Betonwand bei gleichzeitiger Tieferlegung der Sohle um 50 cm ersetzt werden. Ist die Ulme auf der einen Seite neu erbaut, wird das Gleis auf das tiefer gelegene Fundament abgesenkt und die Ulme auf der Gegenseite nach gleichem Verfahren ersetzt. Als dritte Bauetappe wäre dann das alte Gewölbe ebenfalls schlitzweise ausgebrochen und ersetzt worden. In dieser dritten Etappe wäre das Gleis in die Tunnelachse verschoben worden. Ein längs verschiebbares abgedecktes Gerüst hätte den Zugsverkehr gegen herabfallende Steine usw. geschützt. Nach vollständiger Erneuerung des alten gemauerten durch ein neues bewehrtes Betongewölbe wären die beiden Gleise wieder eingezogen worden. Die Montage der Fahrleitung für eine spätere Elektrifikation ist dank der Absenkung um 50 cm möglich.

Die Arge (Kronibus GmbH & Co. KG, Kassel und Thyssen Schachtbau GmbH, Mülheim/Ruhr) erarbeitete einen Gegenvorschlag, der sich zur Hauptsache auf die Verwendung von Spritzbeton stützte und bei dem die viel Zeit in Anspruch nehmende und als gefährlich eingestufte Arbeit des Ersatzes des Scheitelgewölbes in der dritten Etappe wegfiel.

Der Vorschlag des Unternehmers

Die Baumethode des Unternehmers beruht auf der Überlegung, dass, wenn schon das Gleis tiefer gelegt werden muss, eine Vergrösserung des Masses der Tieferlegung weniger Schwierigkeiten bewirkt als der Abbruch des Scheitelgewölbes. Wenn die alte gemauerte Auskleidung in der Scheitelpartie belassen werden soll, dann muss die zukünftige Gleishöhe nicht nur um das für die Elektrifikation notwendige Mass, sondern noch zusätzlich um die Stärke der neuen Auskleidung im Scheitel tiefer gelegt werden. Es kann dann ein neues armiertes Betongewölbe eingezogen werden, wobei der grösste Teil des bestehenden Mauerwerks links und rechts

der Tunnelachse im Scheitel belassen werden kann. Ein weiterer Vorteil dieses Bauverfahrens besteht auch darin, dass in einer ersten Etappe nicht nur die Ulmen zu ersetzen sind, sondern dass das neue Gewölbe als Halbgewölbe bis zum Scheitel etappenweise in den Schlitzen eingezogen werden kann. Der *Bauablauf reduziert sich deshalb auf zwei Phasen.*

In der ersten Phase wird das neue bewehrte Betonhalbgewölbe eingezogen, die Tunnelsohle abgesenkt und ein neues Fundament sowie eine neue Mitteldrainage eingebaut. In der zweiten Etappe, nach Umlegen des Gleises auf das neue tiefer gelegte Trassee, wird die andere Hälfte genau gleich behandelt und das neue Halbgewölbe im Scheitel an das vorher eingebaute Gewölbe angeschlossen. Die Absenkungstiefe musste um 30 cm, d. h. um das Mass der Scheitelstärke des neuen Gewölbes vergrössert werden. Bauarbeiten in der Sohle sind jedoch stets einfacher als ein Abbruch eines alten Scheitelgewölbes. Die Herstellung des neuen Betongewölbes in vielen, verhältnismässig kleinen Etappen konnte sehr wirtschaftlich mit Spritzbeton erfolgen. Eine Gewölbeschalung erübrigt sich. Mit dem Einziehen des neuen Gewölbes konnte dank der Verwendung von Spritzbeton jeweils ohne Zeitverlust unmittelbar nach dem Ausbruch der Schlitze begonnen werden.

Die Deutsche Bundesbahn nahm den Unternehmervorschlag an. Nach Beginn der Bauarbeiten zeigte es sich sehr rasch, dass die Befürchtungen der Bauunternehmung in bezug auf die Gefährlichkeit eines Gewölbeabbaues im Scheitel berchtigt waren. Aufgrund von Vorsondierungen mit Bohrungen hatte man angenommen, hinter dem 60 cm starken Mauerwerk der alten Auskleidung existiere eine 30–40 cm starke verfestigte Hinterfüllung, evtl. weitere, mit Tunnelausbruchmaterial gefüllte Hohlräume. Nach Beginn der Bauarbeiten zeigte sich, dass das Tunnelgewölbe im Mittel nur 35–45 cm stark war und dass die Hinterfüllung mit wenigen Ausnahmen nicht aus verfestigten, sondern rolligem Material bestand, was für alle Beteiligten eine Überraschung bedeutete und zusätzliche Arbeiten bedingte.

Der Ablauf der Bauarbeiten

Als erste Massnahme wurde mit einer drucklosen Injektion mit Zementmörtel 1:2 das hinter dem Tunnelmauerwerk anstehende rollige, nicht verfestigte Material sowie die dahinterliegende Hinterfüllung aus ehemaligem Tunnelausbruchmaterial verfestigt. Im bestehenden Gewölbe wurden in der Höhenlage, von der an abwärts die Tunnelauskleidung teilweise oder ganz abzubrechen war (etwa 2,50 m links und rechts der Tunnelaxe: siehe Bild 1), in regelmässigen Abständen Löcher bis tief in die Hinterfüllung gebohrt, durch die ohne Druck Zementmörtel einfliessen konnte, wodurch die gesamte Hinterfüllung verfestigt wurde. Zur Kontrolle wurde unter dem Injektionsloch noch ein zweites Loch gebohrt, in dem das Ansteigen des Zementmörtels bis zur notwendigen Höhe festgestellt werden konnte.

Ursprünglich war vom Bieter vorgesehen, die einzelnen Lamellen im alten Tunnelmauerwerk mit auf Maschinen montierten grossen hydraulischen Hämmern auszubrechen. Diese Arbeitsausführung erwies sich als ungünstig, da die so erzeugten Erschütterungen für die benachbarten noch stehenbleibenden Auskleidungsteile gefährlich wurden. Auf Anordnung der DB wurden hierauf in regelmässigen Abständen mit einer auf einem Fahrzeug beweglich montierten Frässcheibe in das zu entfernende Tunnelgewölbe schmale, 25 cm tiefe Schlitze eingefräst (Bild 2). Anschliessend wurden Sprengschnüre eingelegt, die Schlitze mit Zeitungspapier verdämmt und das zwischen den Schlitzen liegende 25 cm starke Tunnelgewölbe auf einem Schlag abgesprengt. In den untern Partien der Ulme musste dieser Vorgang zwei- bzw. dreimal wiederholt werden, bis zum Ausbruch der notwendigen 3×25 cm = 75 cm des Mauerwerks und der verfestigten Hinterfüllung.

Im bergmännisch ausgeführten Teil des Tunnels betrug die Lamellenbreite jeweils 4 m, im Überdeckungsteil nur 2,20–2,50 m. In allen Fällen blieb je 2,50 m rechts und links der Tunnelaxe das alte Tunnelgewölbe im Scheitel unberührt. Gleichzeitig mit dem Ausbrechen der Schlitze wurde auch das neue Gewölbefundament, das neue tiefergelegte Planum und der Graben für die neue Mitteldrainage ausgehoben (siehe auch Bild 1).

Die Sohle der neuen Mitteldrainage liegt rund 2,20 m tiefer als die Schienenoberkante in der gegenseitigen Tunnelhälfte. Um diesen tiefen Aushub ohne Gefährdung des Zugverkehrs durchführen zu können, wurden in Abständen von 50 cm durch den Schotter hindurch bis in den Fels Löcher gebohrt, in die anschliessend kräftige Stahlrohre eingesetzt wurden, die rund 50 cm in den Fels eingebunden waren. Die Rohre waren im gegenüberliegenden alten Tunnelgewölbe mit vorgespannten Stahlstäben verankert. Im Zuge des lagenweise Aushebens von Schotter und anschliessend von Fels wurden Betonbretter hinter die Stahlrohre eingezogen.

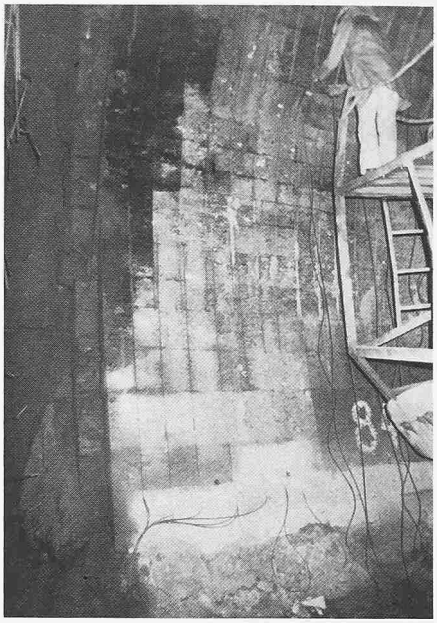
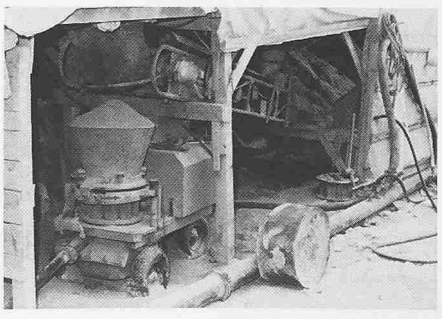


Bild 2. Für das Absprengen des alten gemauerten Gewölbes in den Partien, wo das Mauerwerk durch das Spritzbetongewölbe ersetzt werden musste, wurden mit Hilfe einer mobilen Fräsmaschine 25 cm tiefe Schlitze eingefräst, in die anschliessend Sprengschnüre eingelegt wurden. Die Schlitze wurden verdämmt und das zwischen den Schlitzen liegende Mauerwerk auf einen Schlag abgesprengt. Diese Methode erwies sich als erheblich sicherer als das Abschrämmen mit mechanischen Hilfsmitteln. Je nach der Tiefe des Mauerwerkes musste das Verfahren bis dreimal hintereinander wiederholt werden. Auf dem Bilde sichtbar das Einlegen der Sprengschnüre in die ausgefrästen Schlitze

Bei solch heiklen Arbeiten ist ein *sofort einsetzbares Stütz- und Konsolidierungsmittel unbedingt notwendig.* Der Spritzbeton erlaubte einen zügigen Baufortschritt, denn nur mit dieser stets bereitstehenden und rasch aufgebrachten Auskleidungskonstruktion war es möglich, jede freigelegte Fläche der Tunnelwand sofort abzudecken. Die *Spritzbetoniereinrichtung* wurde rund 50 m vom Nordportal aufgebaut. Sie

Bild 3. Das neue mit Stahldrahtgeflecht bewehrte Gewölbe besteht aus Spritzbeton, der in verschiedenen Lagen bis zu 30 cm Stärke aufgebracht wurde. Der Vorteil des Spritzbetons bei diesem Verfahren ist offensichtlich, denn sofort nach Freilegung einer Tunnelgewölbepartie kann mit Spritzbeton gesichert werden. Zu diesem Zwecke wurde rund 50 m vom Nordportal eine Spritzbetonmaschine aufgebaut inkl. der dazugehörigen Beschickungsinstallationen wie Förderband, Silo usw.



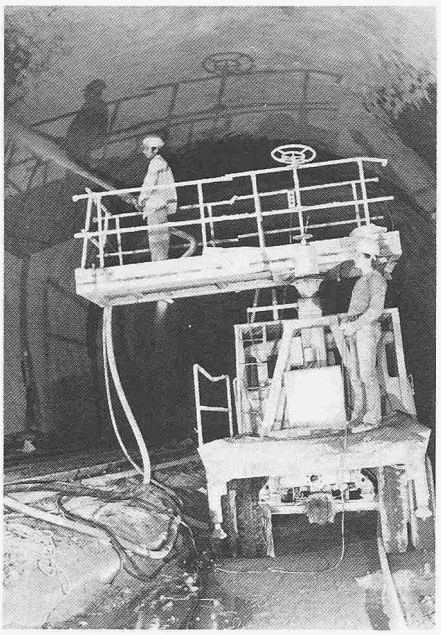


Bild 4. Gespritzt wurde von einem mobilen Gerüst aus mit einer Mischung, bestehend aus 425 kg Hochofenschlackenzement auf 1000 l Sand 0–8 mm. Die Verwendung von Hochofenschlackenzement (75% gemahlene Hochofenschlacke + 25% Portlandzement) war vorgeschrieben. Da verschiedentlich gegen Wasserandrang gekämpft werden musste, wurden je nach Erfordernis Schnellbinder zugegeben. Der «Guniteur» an der Spritzdüse steuerte den Nachschub an Spritzmörtel, Wasser und evtl. Schnellbinder von der Düse aus

bestand aus einem Silo für das Spritzgut, einem elektrisch betriebenen Förderband mit darauf aufgebautem Dosiergerät für die Zugabe des Abbindebeschleunigers und der Spritzbetonmaschine, einem Muster aus der Vorserie der neuen Meyco GM 090 (Bild 3).

Die Distanz von der Maschine bis zum weitest entfernten Teil des 285 m langen Tunnels betrug etwas über 300 m, irgendwelche Schwierigkeiten zeigten sich beim Transport nicht. Gespritzt wurde eine Mischung von 425 kg Hochofenschlackenzement auf 1000 l Sand 0–8 mm. Die Verwendung von Hochofenschlackenzement (75% gemahlene Hochofenschlacke/25% Portlandzement) war vorgeschrieben (Bild 4). Diese Zemente reagieren relativ langsam bei Zugabe von Schnellbindern. Es war deshalb notwendig, Wasseraustrittstellen vor Auftragen des Spritzbetons mit Hilfe der bekannten Oberhasli-Methode mit Zement und Schnellbinder abzuleiten, so dass auf möglichst trockene oder höchstens schwach wasserüberrieselte Unterlage gespritzt werden konnte. Zur Sicherung und Verkleidung des Voreinschnittes war am Gegenportal zeitweise eine kleinere Spritzbetonmaschine des Typs Meyco Piccola eingesetzt.

Bauherr:	Deutsche Bundesbahn, Bundesdirektion (BD) Karlsruhe, Betriebsamt Konstanz
Unternehmung:	Arge Charlottenfelstunnel (Kronibus GmbH + Co. KG, Kassel und Thyssen Schachtbau GmbH, Mülheim/Ruhr)
Spritzbetonmaschine:	GM 090 der Intradym AG, 8404 Winterthur

Die Abdichtung

Im Gegensatz zu schweizerischen Gepflogenheiten wurde der zu sanierende Tunnel nicht nach dem Prinzip der Verdrängung, sondern nach dem *Prinzip der Ableitung* abgedichtet. Sämtliches anfallende Wasser wird in Halbschalen, die über schmalen Schlitzen angeordnet und die mit Spritzbeton überdeckt sind, in die Längsdrainage abgeleitet. Mit der gleichen Maschine, die für das Ausfräsen der Schlitze im Mauerwerk für das Einlegen der Sprengstoffschnüre eingesetzt worden war, wurden auch diese Schlitze im Spritzbeton ausgefräst, wobei je Etappe von 4,00 bzw. 2,50 m Breite ein vertikaler Längsschlitz und beidseitig schräg von oben nach unten führende Zuleitungsschlitze angeordnet wurden (siehe Bild 5). Die Drainagewirkung der Schlitze wurde durch zusätzliche Bohrlöcher, die bis in den Fels bzw. in den gewachsenen Boden reichten, erhöht. Die über den Schlitzen angeordneten Kunststoff-Halbschalen (∅ 8 cm) wurden am Spritzbeton mechanisch befestigt und mit Schnellbindern und Zement gegen die Unterlage gedichtet. Ein Meter über zukünftiger Schwellenhöhe wurde jeweils ein mit wegnehmbaren Deckel ausgerüsteter Kontroll- und Spülstutzen eingebaut. Die seitliche Längsdrainage mündet alle 25 m in einen im zukünftigen Fundament angeordneten Schacht, von wo das anfallende Bergwasser mit einer Stichleitung der Mitteldrainage, einem Steinzeugrohr von 30 cm ∅ zugeleitet wird.

Die Spritzbetongewölbe

Das Zusammenwirken des neuen Spritzbetongewölbes mit dem alten Mauerwerk im Scheitel ist durch eingesetzte Dübelanker gewährleistet. Das Mauerwerk wurde im Scheitel zusätzlich aufgerauht. Der bis zu einer Gesamtstärke von 30 cm lagenweise aufgebrachte Spritzbeton wurde mit Stahldrahtmatten ∅ 8 mm bewehrt (Bild 6). Die Bewehrung hat keine direkte Verbindung mit den Dübelankern im Scheitel des alten, stehengebliebenen gemauerten Gewölbes.

Nachdem auf der einen Seite die im bergmännisch ausgeführten Tunnelteil die 4 m breiten, bzw. im überdeckten Teil die 2,20–2,50 m breiten neuen

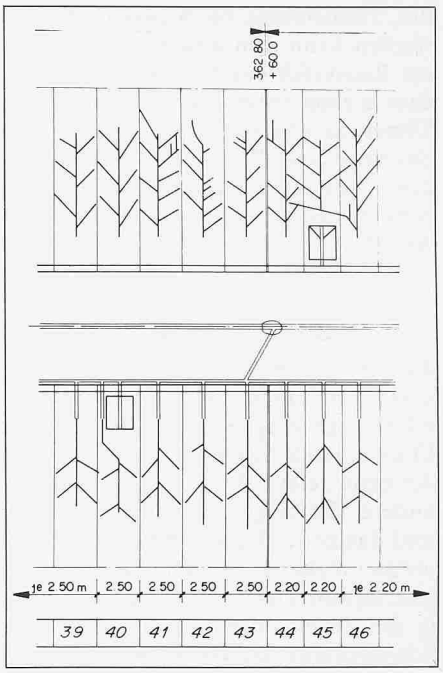


Bild 5. Im Gegensatz zu schweizerischen Gepflogenheiten wurde das anfallende Wasser im Charlottenfelstunnel durch die Abdichtung nicht verdrängt, sondern abgeleitet, indem im neu aufgebauten Tunnelgewölbe in die angepassten Gewölbesektoren von 2,50–4,00 m Breite je nach Hintergrund senkrechte Schlitze eingefräst, in denen das anfallende Wasser nach unten in die Sohledrainage geführt wird. Die Drainagewirkung wurde durch schräg von oben nach unten geführte Schlitze, die in die Hauptschlitze einmündeten, verbessert. Diese Schlitze wurden mit Halbschalen überdeckt, die ihrerseits wiederum mit Spritzbeton überdeckt wurden. Ein Meter über der zukünftigen Tunnelsohle wurde ein mit einem auswechselbaren Deckel ausgerüsteter Spül- und Kontrollstutzen eingebaut, so dass auch eine Spülung der Drainage möglich ist. Die in den seitlichen Drainagen gesammelten Bergwässer führen alle 25 m mit einer Stichleitung in die Mitteldrainage. Das Bild zeigt die in die Horizontale umgeklappten Aufnahmen der Drainageleitungen, die protokollmässig zuhanden der Bauherrschaft erstellt worden sind. Es ist deshalb möglich, auch in späteren Jahren und Jahrzehnten nicht mehr funktioniernde Drainageleitungen zu sanieren

Halbgewölbe bis zum Scheitel eingezogen waren, wurden anschliessend die stehengebliebenen Zwischenstücke gleicher Breite ausgebrochen, gedichtet und spritzbetoniert. Anschliessend baute man auf dem neuen Planum das neue tiefer gelegte Gleis auf Schotter auf. Das gleiche Verfahren wiederholte sich im noch stehengebliebenen gegenseitigen Teil des Tunnels. Als letzte hochdichte Schicht wurde ein 5 cm starker Gunit mit einer Dosierung von 450 kg Bindemittel auf 1000 l Sand 0/4 mm aufgetragen, wodurch auch ein aesthetischer Effekt erzielt wurde.

Diese neue, sichere Baumethode war nur dank des Spritzbetons möglich. Zum guten Gelingen tragen sowohl die grosse Erfahrung der in der Arge vereinigten Unternehmen mit ihrem gut ausgebildeten Personal wie auch die geeigneten Installationen und Geräte bei. Bei der Spritzbetonmaschine war in erster Linie nicht ihre grosse Leistungsfä-

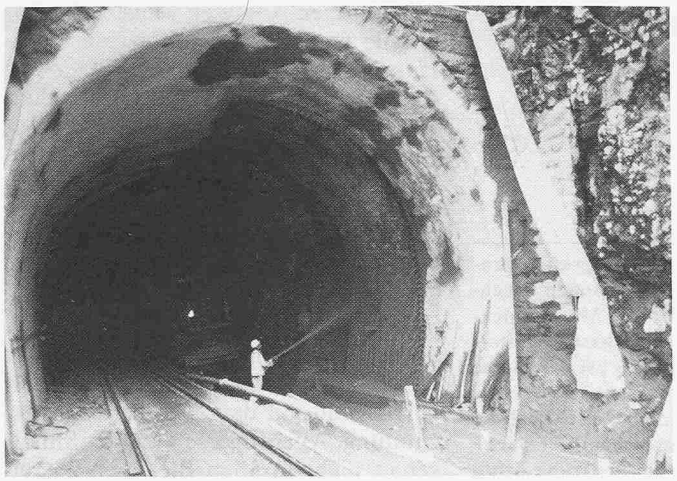


Bild 6. Auftragen des Spritzbetons. Man erkennt die verschiedenen Spritzbetonlagen, die eingebauten Armierungen, ferner die senkrecht nach unten verlaufenden Halbschalen-Drainageleitungen

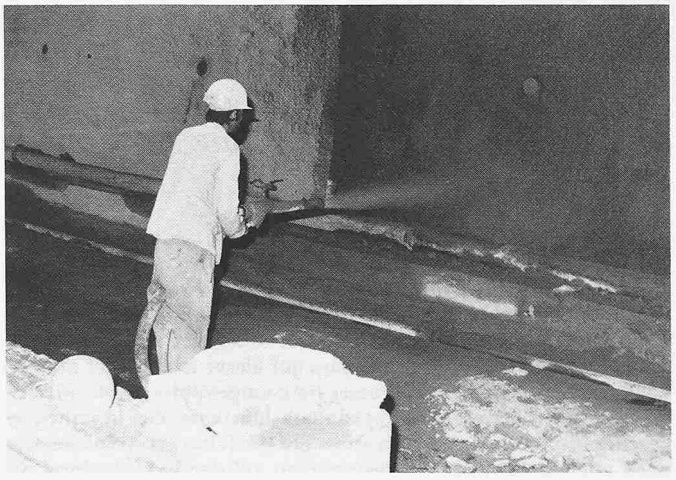


Bild 7. Um das Aussehen zu verbessern, wurde als letzter Auftrag ein 5 cm starker Feingunit, bestehend aus einer Mischung von 1000 l 0–4 mm auf 450 kg Bindemittel, aufgetragen. Diese letzte Schicht dient gleichzeitig auch der Verbesserung der Dichtungswirkung

higkeit, sondern eher ihre stetige Einsatzbereitschaft von Bedeutung. Die Leistungsfähigkeit der Meyco GM 090 wurde nie voll ausgenützt, denn im Maximum wurden in einer 9-Stunden-Schicht nur 35–38 m³ Spritzgut verarbeitet.

Die neue Maschine

Die Spritzbetonmaschine ist ein Modell aus der Vorserie eines neuen Gerätes, das von der zur Meynadier-Gruppe gehörenden Firma Intradym in Winterthur hergestellt wird. Die Baustelle gab Gelegenheit, die Neuerungen und Verbesserungen kritisch zu überprüfen und letzte Retuschen anzubringen. Es zeigte sich, dass das überarbeitete Spannsystem Fehleinstellungen ausschliesst und in allen Betriebszuständen zu vermindertem Verschleiss führt. Die Handhabung wurde noch weiter vereinfacht und der Reinigungsaufwand auf ein Minimum reduziert, auch beim Arbeiten mit klebrigem Material. Die max. Leistung liess sich weiter erhöhen. Ein besonderes Merkmal der neuen Maschine ist die *Fernbedienung mit nur zwei Bedienungstasten* von der Spritzdüse aus. Die Arge stand dieser Neuerung anfänglich skeptisch gegenüber, erfuhr aber rasch deren Vorteile und Zuverlässigkeit, da sie einen Bedienungsmann einsparen konnte. Es wurde auch die Möglichkeit ausgenützt, die fest eingebaute Installation der Materialbeschickung über den Schaltkasten der Spritzmaschine synchron fernzusteuern, was den Arbeitsablauf vereinfachte und Lohnkosten reduzierte.