Instandstellung der Centovalli-Bahntunnel

Autor(en): **Golta, Aldo / Teichert, Pietro**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **94 (1976)**

Heft 17

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-73085

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

HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, 8021 ZÜRICH, POSTFACH 630

Instandstellung der Centovalli-Bahntunnel

Von **Aldo Golta** †, Zürich, und **Pietro Teichert**, Avegno

DK 624.19

Einleitung

Die Schmalspur-Eisenbahnlinie Locarno–Domodossola ist, über den Simplon, die kürzeste Bahnverbindung zwischen dem Tessin und der Westschweiz und Bern. Wie bedeutsam dieser Schienenweg ist, hat sich im Frühjahr 1975 erneut gezeigt, als aussergewöhnliche Schneefälle die Gotthardlinie und die Zufahrten zum Bernardino-Strassentunnel tagelang blockierten. Als einzige Bahnverbindung zwischen Nord und Süd blieb die Achse Simplon–Lötschberg. Die Eisenbahn Locarno–Domodossola leistete damals wichtige Zubringerdienste: allein vom 5. bis 10. April 1975 beförderte sie mit 77 Extrazügen nahezu 15000 «umgeleitete» Passagiere.

Durchschnittlich beläuft sich der jährliche Personenverkehr auf 0,5 Mio Reisende, wovon rund 40% auf den Transit und 60% auf den Lokalverkehr entfallen. Der Güterverkehr ist unbedeutend.

Vom Locarner Bürgermeister *Francesco Balli* angeregt und unter der Leitung des Zürcher Ingenieurs *Jakob Suter* verwirklicht, begann der Bau der Strecke im Jahre 1911. Die Betriebsaufnahme erfolgte nach kriegsbedingten Verzögerungen am 25. November 1923.

Die Bahnstrecke misst insgesamt 52,183 km. Davon entfallen 32,300 km auf den italienischen Teil Camedo–Domodossola, der als «Ferrovia Vigezzina» von der SSIF (Società Subalpina d'Imprese Ferroviarie) betrieben wird. Der 19,883 km lange Schweizer Abschnitt gehört der FART SA (Ferrovie Autolinee Regionali Ticinesi) und ist unter der Bezeichnung «Ferrovia delle Centovalli» («Bahn der 100 Täler») bekannt (s. Bild 1).

Die von Anfang an elektrisch betriebene Linie beginnt auf 204 m ü. M. beim SBB-Bahnhof Locarno-Muralto; der Scheitelpunkt befindet sich auf 830 m in Santa Maria Maggiore im italienischen Vigezzo-Tal. Die Strecke endet unterirdisch auf 266 m Höhe im Bahnhof Domodossola der italienischen Staatsbahn.

Das Schweizer Teilstück (höchste Steigung 60‰; kleinster Kurvenradius 60 m) ist äusserst kühn angelegt und weist wegen der vielen Seitentäler in den steilen Hängen des Haupttales unzählige Kunstbauten auf. Neben zahlreichen Brücken und Viadukten zählt der Abschnitt Locarno–Domodossola 21 Tunnel mit einer Gesamtlänge von 2188,2 m (entsprechend 11% dieser Strecke).

Nachdem zwischen 1958 und 1965 das Rollmaterial, die Fahrleitung und das Gleis erneuert worden waren (samt Einbau der automatischen Blocksicherung), begannen 1969 die sechsjährigen Arbeiten zur Sanierung der schadhaften Tunnelstrecken. Davon wird im folgenden berichtet.

Geologie und Geotechnik

In den Centovalli verläuft die Bahnlinie auf der linken, nördlichen Talseite, die in der Tessiner Wurzelzone der südlichen Abdachung der Alpen liegt.

Das Gestein besteht vorwiegend aus Zweiglimmergneisen (Ortho- und Paragneise). Die Gneise sind oft von Pegmatiten durchsetzt, mit zahlreichen Neubildungen an den Kluftflächen. Die Gesteinsschichten fallen allgemein sehr steil bis senkrecht und sind tektonisch stark beansprucht worden, teilweise bis zur Bildung von Myloniten. Die Schichten streichen im grossen und ganzen von Westen nach Osten, also parallel zur Grosstalbildung.

Die Entstehungsart lässt sofort auf sehr viele und vielfältige geotechnische Gegebenheiten schliessen. Allgemein können festgestellt werden:

- zahlreiche Rutschungen und Bergstürze
- Ruschelzonen und Verwerfungen
- Kriechbewegungen ganzer Felspartien (Talzuschub)
- Örtliche Zerrüttungen, vor allem in mylonitisierten Felspartien.

Die Beschädigungen der Tunnel sind diesen geologischen und geotechnischen Verhältnissen zuzuschreiben.

Zustand der Tunnel vor der Sanierung

Die Schäden an den Tunnelanlagen können grundsätzlich in vier Kategorien eingeteilt werden, wovon drei mit den geotechnischen Gegebenheiten zusammenhängen.

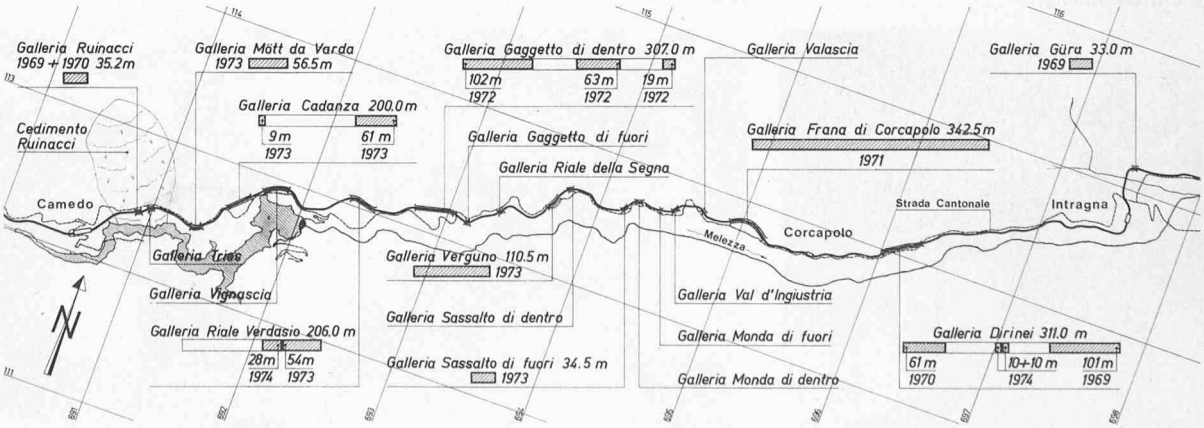


Bild 1. Der Abschnitt Intragna–Camedo des Schweizer Teilstückes der Eisenbahnlinie Locarno–Domodossola

Tunnel in einem Rutschgebiet

Es handelt sich um den 35 m langen Tunnel *Ruinacci* bei Camedo. Dieser Lehnentunnel liegt hart unterhalb der Kantonsstrasse und durchörtert eine steile Rippe oder Bergflanke, die auf einer grösseren Breite (400 bis 600 m) und auf einer Höhe von etwa 600 m zu Tale gleitet. Die Rutschung, die auch die Stahlbrücke Ruinacci in Mitleidenschaft gezogen hat, wird seit Jahren genau gemessen. Die Bewegungen schwanken jährlich zwischen 2 und 8 cm; sie haben den Tunnel zusehends stärker verformt. Schwere Längsrisse in der Kalotte und an den Kämpfern haben seinen Bestand in Frage gestellt, wobei auch die Kantonsstrasse unmittelbar gefährdet war (s. Bild 2).

Tunnel in einer Zone mit Talzuschub

Auch hier dreht es sich um Lehnentunnel. Durch die langsame, aber stetige Zu-Tal-Bewegung der Gesteinsmasse traten je nach Lage der Tunnelachse folgende Schäden auf: Risse senkrecht zur Bewegungsrichtung (meist in der Kalotte), Druckgelenke im Scheitel als Folge von Deformationen der Tunnelverkleidung sowie Abscherungen in Kämpfer- und Scheitelpartien. Solche Schäden traten auf verschiedenen Strecken der Tunnel *Dirinei* (311 m, Bild 3) und *Frana di Corcapolo* (343 m) auf.

Unverkleidete Tunnelstrecken

In den beiden Tunneln Dirinei und *Güra* fehlte auf einigen Abschnitten eine Verkleidung. Vor allem infolge von Verwitterungserscheinungen im Zusammenhang mit Schichtung, Ruschelzonen, Pegmatiten und Querklüftung mussten immer wieder heruntergefallene Felsteile vom Gleis entfernt werden. Die versteckte Gefahr grösserer Niederbrüche war vor allem in einer Strecke des Tunnels Dirinei besonders gross.

Vernässte Tunnelstrecken, örtliche Verrottungen der Verkleidung

Die meisten Tunnel waren auf längeren oder kürzeren Strecken mehr oder weniger stark vernässt. An Schienen und Schwellen traten infolge des Tropfwassers Schäden auf. Bei Eisbildung entstanden Einengungen im Tunnelprofil sowie Störungen bei den Tragwerken der Fahrleitung. Verwitterungen und schlechte Mauerungen verursachten oft örtliche Verrottungen des Mauerwerks.

Die meisten Schäden an den Tunneln mussten als irreversibel und ernst betrachtet werden. Deshalb kam auf lange Sicht nur eine gründliche, zweckdienliche Sanierung in Frage.

Sanierungsprojekt 1969

Bereits 1967 waren für die Instandstellung der Centovalli-Bahntunnel erste Vorarbeiten geleistet worden, indem die schadhaften Tunnelstrecken erfasst, die Schäden aufgenommen und eine Prioritätenliste für die Sanierungsarbeiten festgelegt wurden.

Gleichzeitig erarbeitete man die Grundlagen für eine möglichst genaue Kostenschätzung, und die Kontrolle der Hangbewegung Ruinacci bei Camedo wurde 1967 und 1968 verschärft. Kostenvoranschläge und Kreditrahmen sowie betriebliche Erfordernisse ergaben ein sechsjähriges Sanierungsprogramm.

Ausführung

Auf der Bahnstrecke Locarno–Camedo verkehren normalerweise täglich fünfzehn Züge in jeder Richtung. Deshalb wurde in den Tunneln durchweg nachts gearbeitet während der neunstündigen Verkehrspause zwischen 20.30 h und 5.30 h.

Ausgangspunkt für alle Arbeiten und Standort des Bauzuges war tagsüber der Bahnhof Ponte Brolla, wo sich neben dem Gleis eine Zementbaracke und ein grosses gedecktes Depot für die Zuschlagstoffe befanden. Von da bis zu den zehn verschiedenen Baustellen waren es zwischen 4,2 und 12,6 Gleiskilometer.

Einrichtungen

Die Arbeitsgeräte und -maschinen befanden sich teils stationär in der Nähe der Tunnelportale, teils auf Bahnwagen. Dauernd an Ort und Stelle standen ein Generator und ein Kompressor samt Druckkessel. Dadurch konnten diese Maschinen vor dem Spritzstaub geschützt und beim Bauzug ein Wagen eingespart werden.

Der Zug umfasste in der Regel eine elektrische Lokomotive und drei Wagen, nämlich den sogenannten Gunitwagen und zwei Gerüstwagen. Die Fahrleitung wurde jeweils nach dem Eintreffen des Bauzuges im Tunnel abgeschaltet und kurz vor der Abfahrt wieder unter Strom gesetzt.

Auf dem besonders langen, gedeckten Gunitwagen waren die Gunit-Spritzbetonmaschine, die Trockengemisch-Aufbereitungsanlage und die je Schicht erforderliche Menge Sand und Zement so angeordnet, dass der Spritzbetrieb die knappe Arbeitszeit optimal ausnützte. Auf diese Weise sind 2800 m³ Trockengemisch für Gunit und Spritzbeton aufbereitet worden.

Bild 2. Tunnel Ruinacci vor der Instandstellung. Man beachte die am Portal ersichtliche Profilverformung

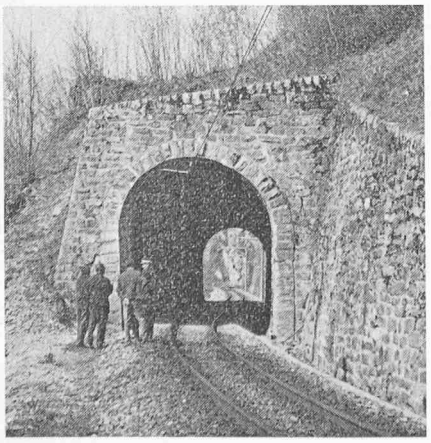


Bild 3. Unverkleidete steinschlaggefährdete Strecke des Tunnels Dirinei mit Gleisvernässungen

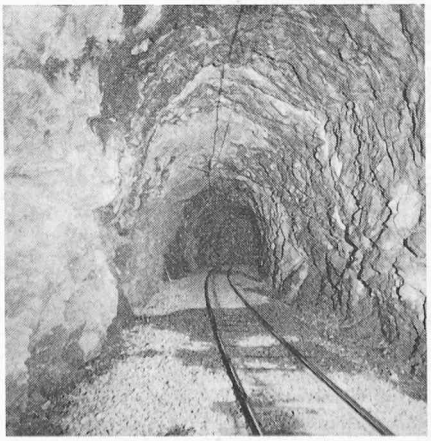
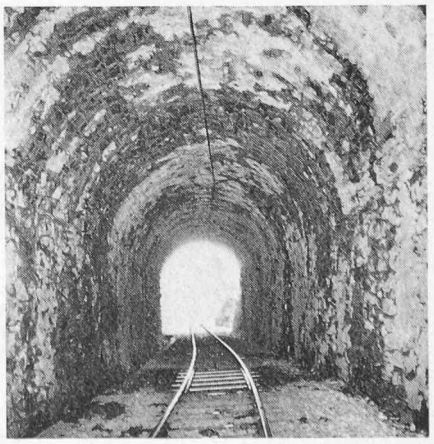


Bild 4. Ausgemauerte Strecke des Tunnels Riale Verdasio mit Gleisvernässungen



Die beiden kleineren Bahnwagen trugen besonders konstruierte Stahlrohrgerüste mit seitlich ausziehbaren Arbeitsebenen. Auf einem dieser Wagen befand sich ausserdem ein Drucktank von 3000 l Inhalt für das Bauwasser, weil keiner der Tunnel im Bereich der öffentlichen Wasserversorgung lag. Der Behälter wurde in Ponte Brolla gefüllt und am Arbeitsort unter Luftdruck gesetzt. Die verfügbare Wassermenge reichte immer, das Verfahren hat sich bestens bewährt.

Die elektrische Energie für die Maschinen und die Beleuchtung der Arbeitsplätze lieferte ein im Freien stehender 25-kVA-Generator mit Dieselmotor.

Personalbestand und Dauer

Die Belegschaft zählte gewöhnlich fünf Mann. Zusätzlich war stets ein Bahnangestellter für die Bedienung des Zugfahrzeuges und für Sicherungs- und Überwachungsaufgaben eingesetzt.

Die Arbeiten begannen jeweils Ende April oder Anfang Mai und erstreckten sich, je nach Witterung und Objektgrösse, mehr oder weniger weit in den Herbst hinein. Von 1969 bis 1974 belief sich die Arbeitsdauer auf insgesamt 150 Wochen bzw. auf rund 40000 Arbeitsstunden (ohne Bahnpersonal).

Dem Sanierungskonzept entsprechend, hat man für die Tunnel der Centovalli-Bahn die vier folgenden Bauarbeiten durchgeführt:

- Konsolidierung von Fels bei gleichzeitiger Abdichtung wasserführender Flächen
- Abdichtung gemauerter Strecken und gleichzeitige Verstärkung schadhafter Mauerstellen
- Profilkorrekturen in ausgemauerten Abschnitten und gleichzeitige Abdichtung und/oder Verstärkung des Mauerwerks
- Aussteifung verformter Tunnelabschnitte bei gleichzeitiger Abdichtung und Verstärkung des Mauerwerks.

Konsolidierung von Fels

Die unverkleideten Strecken der Tunnel Dirinei (Bild 3) und Güra, Frana di Corcapolo und Riale Verdasio erforderten in erster Linie die Konsolidierung des brüchigen Gesteins; gleichzeitig wurden die bearbeiteten Flächen dauerhaft abgedichtet.

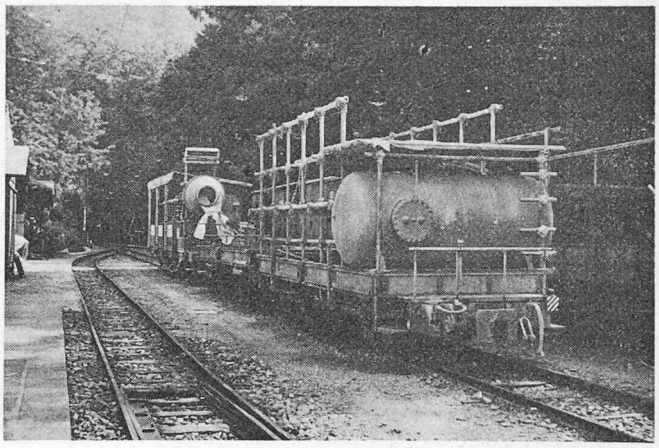


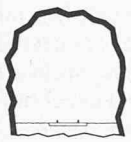
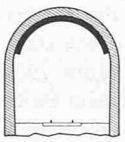
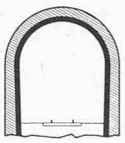
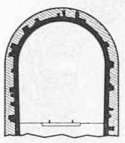
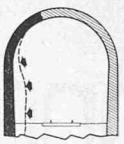
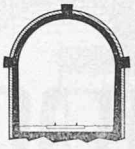
Bild 5. Bauzug im Bahnhof Ponte Brolla. Vorn Gerüstwagen mit Bauwasser-Drucktank, hinten Gunitwagen mit Trockengemisch-Aufbereitungsanlage

Zur Bannung der Steinschlaggefahr in den ursprünglich unverkleideten Tunnelabschnitten wurde eine angemessen bewehrte Spritzbetonverkleidung aufgetragen. Vorgängig glich man die gröbsten Profilunebenheiten (Spalten und Klüfte) mit Füll-Spritzbeton aus.

Der praktische Arbeitsablauf gliederte sich in die Phasen Felsreinigung, Vordichtung, Ausgleich der Profilunebenheiten und Auftrag der Spritzbeton-Verkleidung.

Bei der Felsreinigung mussten vor allem lockere Felsbrocken und -platten vorsichtig entfernt werden. Anschliessend säuberte man den Fels mit scharfem Druckluft- und Wasserstrahl gründlich von seinem schmierigen Rost-Staub-Belag. Beträchtliche Felspartien wiesen je nach Überdeckung, Beschaffenheit und Witterungsverhältnissen im Zeitpunkt der Arbeitsausführung Bergwasseraustritte auf. Spritzbeton und Gunit können nur fachgerecht aufgetragen werden, wenn aus

Bild 6. Zusammenstellung der ausgeführten Sanierungsarbeiten in den Tunneln der Strecke Locarno–Camedo

Tunnel der Strecke Locarno-Camedo			davon saniert						
			Fels	Mauerwerk					
			Konsolidierung	Abdichtung	Abdichtung	Konsolidierung	Profilkorrektur	Aussteifung	
									
Name	Lage zwischen km	Länge							sanierte Strecke gesamthaft
Sass Got	2.410_2.429	19.50m							
Güra	4.245_4.278	33.00m	33.00m						33.00m
Dirinei	6.260_6.571	311.00m	86.00m	10.00m	25.00m	41.00m	20.00m		182.00m
Frana di Corcapolo	7.471_7.813	342.50m	30.00m	185.00m	59.00m		68.50m		342.50m
Valascia	8.070_8.085	15.00m							
Val d'Ingiustria	8.225_8.277	52.50m							
Monda di fuori	8.350_8.367	17.00m							
Monda di dentro	8.487_8.556	69.50m							
Sassalto di fuori	8.633_8.667	34.50m		34.50m					34.50m
Sassalto di dentro	8.860_8.904	44.50m							
Val Chiara	9.070_9.104	34.50m							
Verguno	9.215_9.325	110.50m		100.50m	10.00m				110.50m
Riale della Segna	9.695_9.741	46.00m							
Gaggetto di fuori	9.960_9.995	35.50m							
Gaggetto di dentro	10.066_10.373	307.00m		94.00m	90.00m				184.00m
Riale Verdasio	10.679_10.885	206.00m	13.00m	61.00m	8.00m				82.00m
Vignascia	11.338_11.523	185.00m							
Cadanza	11.678_11.878	200.00m		61.00m	9.00m				70.00m
Mött da Varda	12.127_12.183	56.50m		56.50m					56.50m
Tries	12.485_12.519	33.00m							
Ruinacci	12.583_12.618	35.20m						35.20m	35.20m
TOTAL		2188.20m	162.00m	602.50m	201.00m	41.00m	88.50m	35.20m	1130.20m

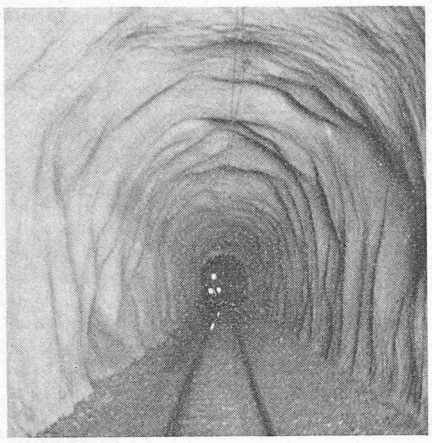


Bild 7. Mit Spritzbeton konsolidierte Felsstrecke des Tunnels Dirinei

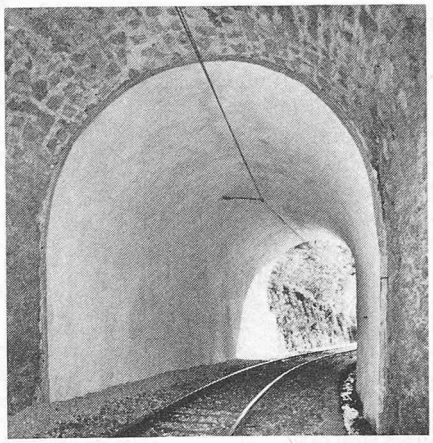


Bild 8. Durch Vollverkleidung mit Gunit abgedichtete Portalstrecke des Tunnels Gaggetto di dentro

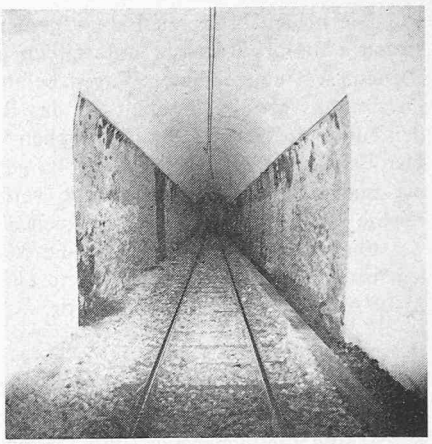


Bild 9. Abdichtung von Mauerwerk mit einer Gunitverkleidung im Tunnel Gaggetto di dentro. Vorn ganzes Profil, hinten nur Kalottenbereich verkleidet; mit Weisskalk und Weisszement gespritzt

der Unterlage kein fliessendes oder tropfendes Wasser austritt; andernfalls schwemmt das drückende Wasser den frischen Spritzbeton fort und beeinträchtigt dessen Erhärtung. Deshalb werden Sickerstellen in der Auftragsfläche zuvor gefasst und abgeleitet. Hierbei trachtet man danach, die oft diffusen Sickerungen durch Auftrag einer (dank chemischer Zusätze) rascherhärtenden Gunitschicht zu konzentrieren, um sie danach rationeller ableiten zu können, und zwar mit sogenannten «Drains», das sind halbierte, mit schnellbindendem Mörtel angemauerte Eternitrohre, mit denen das gefasste Wasser an den Rand der künftigen Verkleidung (oder an den Widerlagerfuss) geleitet wird.

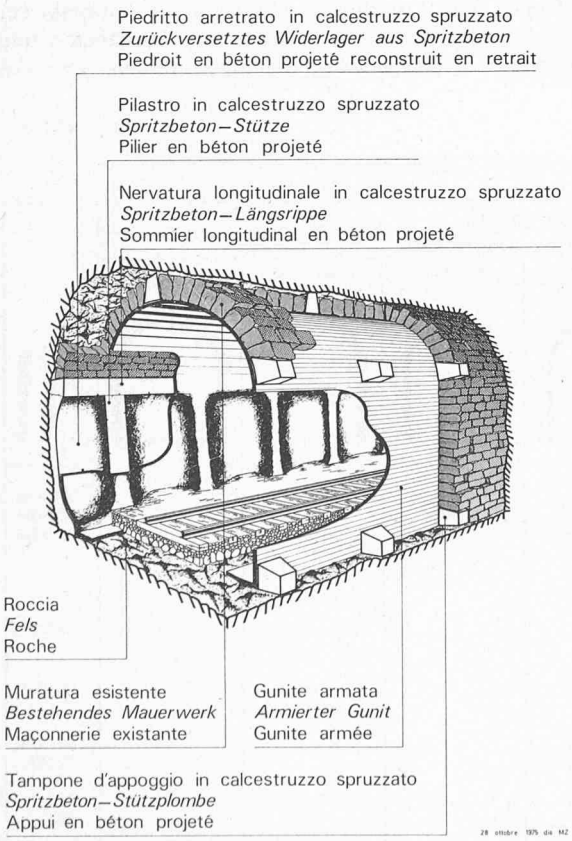


Bild 10. Vorgehen bei den Profilkorrekturen (links) und bei den Mauerwerkkonsolidierungen (rechts)

Für den Spritzbeton zur Verkleidung von Felsflächen ist durchwegs (Maggia-)Kiessand der Körnung 0–16 mm verwendet worden. Die Dosierung betrug 350 kg Portland-Zement auf 1000 l trockenen Zuschlagstoff. Das Trockengemisch wurde am Arbeitsort mit einem 250-l-Freifallmischer aufbereitet und unverzüglich verarbeitet. Bei einem Teil der Verkleidungen von Fels- und Mauerwerkflächen enthielt die letzte Schicht nicht normalen Portland-Zement, sondern – bei gleicher Gesamtdosierung – je zur Hälfte Weisskalk und Weisszement, was die Verkleidung aufhellte und hygroskopischer machte (Bild 9).

Die Stärke der Spritzbetonverkleidung variierte je nach Felsbeschaffenheit und Wasserandrang zwischen 6 und 15 cm. Abgesehen von einem 56 m langen Abschnitt des Dirinei-Tunnels, der mit einer doppelten Lage Stahldrahtnetz 100/100/5/5 mm armiert ist, sind sämtliche Felsstrecken nur mit einer Baustahlmatte 100/100/4/4 mm bewehrt worden. Die Armierung ist nicht mit dem Untergrund verankert. Beschaffenheit und Schichtung des Felsen liessen eigentliche Felsanker als wenig sinnvoll erscheinen. Statt dessen wurde der Spritzbeton verstärkt aufgetragen.

Abdichtung von Mauerwerk

Zur Abdichtung der mit Natursteinmauerwerk ausgekleideten Tunnelstrecken hat man sich zunutze gemacht, dass die Ausmauerung fast nirgends satt am Fels anliegt, sondern einen stark schwankenden Abstand davon einhält. Der Hohlraum zwischen Ausbruchprofil und Mauerwerk, der schon beim Bau der Tunnel mit Gesteinstrümmern aufgefüllt wurde, eignet sich dank seiner grossen Durchlässigkeit vorzüglich als Drainage-Schicht für das Bergwasser. Also liessen sich Wasseraustritte und Vernässungen des Gleises sowie Eisbildungen ausschalten, indem man das Mauerwerk so dichtete, dass das Bergwasser nicht mehr durch schadhafte Stellen der Ausmauerung austrat, sondern durch die Schuttschicht zwischen Fels und Mauerwerk abfliessen musste.

Zur Abdichtung des Mauerwerkes diente in allen Fällen eine Gunitschicht. Sie war in der Regel 8 cm stark und stets mit einem Stahldrahtnetz 100/100/4/4 mm verstärkt.

Vorher reinigte man das zu verkleidende Mauerwerk gründlich, um die bestmögliche Haftung des Gunits und dessen Verzahnung mit dem Steinverband zu gewährleisten.

Die Mauerreinigung erforderte drei Arbeitsgänge. Mit leichten Abbauhämmern und anderen Werkzeugen entfernte man zuerst Vormauerungen und Mörtelanwürfe, verwitterte Steine und den ausgelaugten Mörtel der Fugen, und zwar je

nach Zustand des Mauerwerks bis zu einer Tiefe von 5 cm. Anschliessend säuberte man die Mauerwerkflächen durch Sandstrahlen mit quarzfreiem Sand (Hersteller: von Roll AG, Choindez) sorgfältig von mineralischen Ausscheidungen, Mörtelresten, organischen Substanzen, Moos und anderen Verunreinigungen.

Die von der mechanischen Bearbeitung und vom Sandstrahlen herrührenden pulverförmigen Rückstände wurden zuletzt durch Waschen mit Druckluft und Wasser entfernt. Zur anschliessenden Vordichtung des Mauerwerks wendete man grundsätzlich das gleiche Verfahren an wie für die Felsstellen. Weil das Lichtraumprofil ausreichte und die Stärke des Gunits eine genügende Überdeckung gewährleistete, konnte man auf die Einbettung von Drains in ausgespitzte Mauerrinnen grösstenteils verzichten.

Zur Vordichtung der Fels- und Mauerwerkflächen sind gesamthaft rund 6600 m Drains erstellt worden. Bei den mit Mauerwerk ausgekleideten Tunnelstrecken liess sich der grosse Aufwand für die Vordichtung mit Drains wesentlich verringern, weil es entweder gelang, die Gunitschicht bei trockenem Wetter aufzutragen (der stellenweise geringen Felsüberdeckung wegen sind die Wasseraustritte in den meisten Centovalli-Bahntunneln stark wetterabhängig), oder dadurch, dass man die gereinigten und ausgekratzten Mauerwerkfugen mit schnellbindendem Mörtel ausfüllte. Die Gunitverkleidung wurde sofort nach der Dichtung des Mauerwerks aufgetragen. Das Trockengemisch bestand aus 400 kg Portland-Zement auf 1000 l Sand der Körnung 0–10 mm.

Das Armierungsnetz ist in der Regel nicht kraftschlüssig mit dem Mauerwerk verbunden; darauf hat man wegen der guten Verzahnung zwischen Mauerwerk und Gunit und dank der Gewölbewirkung der Verkleidung verzichten können. Kraftschlüssige Verankerungen sind nur bei den auf den Kalottenbereich begrenzten Verkleidungen ausgeführt worden, und auch dort nur, wenn der Gunit wegen örtlich konzentrierter Drains nicht direkt am Mauerwerk haftete. Zur Befestigung der Bewehrungsmatten dienten Bindedrähte, die man in die frische erste Gunitlage hineinsteckte und mit der zweiten Gunitschicht einspritzte.

Wird nur das Gewölbe des Tunnels abgedichtet, so tritt ein Teil des verdrängten Bergwassers örtlich und zeitweise schon am unteren Rand der Gunitverkleidung wieder aus und rieselt über die Widerlager ins Schotterbett. Bei vollständiger Verkleidung des ganzen Profils, wenn der Gunit also auf dem Fels der Sohle ausläuft, sind künstliche Ausflussöffnungen für das Bergwasser im unteren Widerlagerbereich ratsam. Andernfalls besteht die Gefahr, dass sich hinter der Gunitverkleidung ein Druck aufbaut, der zu Schäden führen kann.

Konsolidierung von Mauerwerk

Auf einem kurzen Abschnitt des Tunnels Dirinei (und örtlich auch in anderen Tunneln) wurde vor allem eine Verfestigung des schadhaften Mauerwerks bezweckt. Dabei ist man gleich vorgegangen wie bei der Abdichtung, mit dem Unterschied allerdings, dass man zuvor die Schadstellen im Steinverband ausbessern musste.

Das besonders stark verwitterte und zerstörte Mauerwerk erforderte im erwähnten Tunnelabschnitt das Entfernen ganzer Steine. Die Lücken mussten vor dem Auftrag der Gunitverkleidung mit Spritzbeton gefüllt werden. An ausgewählten Stellen im Tunnelprofil sind überdies sogenannte Stützplomben eingefügt worden. Das sind mit Spritzbeton gefüllte Öffnungen im Mauerwerk, welche die Gunitverkleidung auf den Fels abstützen (Bild 10).

Profilkorrekturen

In den Tunneln Dirinei und Frana di Corcapolo hatte der Bergdruck im Laufe von fünfzig Jahren zu Verformungen der Tunnelausmauerung geführt, die als mehr oder weniger starke Einbuchtungen der Widerlager in Erscheinung traten. Die entsprechende Verengung des Lichtraumprofiles erforderte die Zurückversetzung der unzulässig vorstehenden Widerlagerflucht. Diese Korrekturen erreichten im Tunnel Frana di Corcapolo stellenweise 20 bis 25 cm.

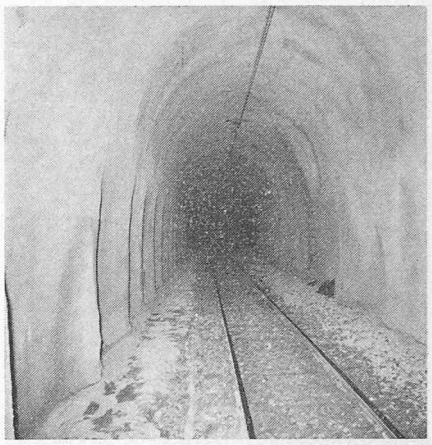


Bild 11. Zurückversetzte Widerlagerpartie im Tunnel Frana di Corcapolo

Um den fahrplanmässigen Bahnverkehr und dessen Sicherheit zu gewährleisten, musste man bei der Zurückversetzung der störenden Widerlagereinbuchtungen aussergewöhnlich behutsam vorgehen.

Die Lösung bestand darin, in ausreichend tiefen, im Mauerwerk geöffneten Schlitzen zuerst ein Gerippe aus armierten Spritzbeton-Stützen (Bild 13) und -Längsrippen zur Stützung des Gewölbes zu schaffen und anschliessend die so ein-

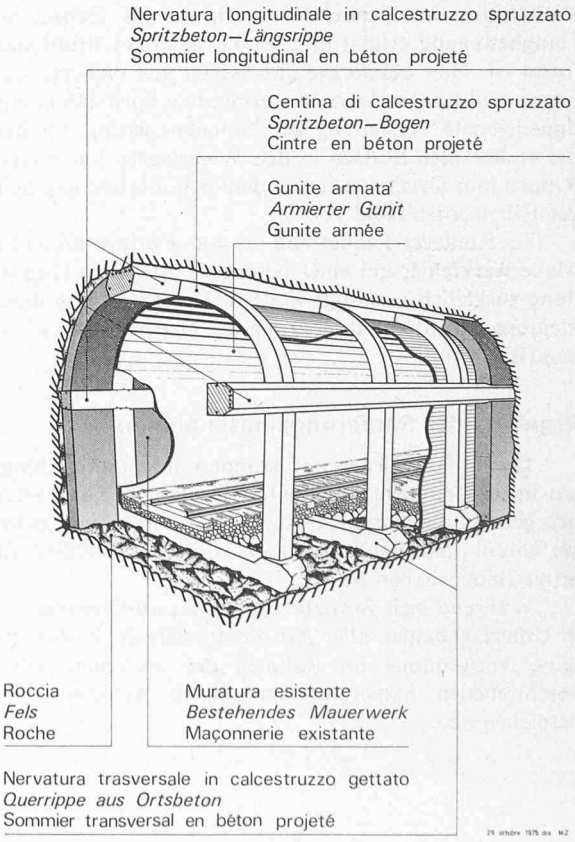


Bild 12. Vorgehen bei der Aussteifung des Tunnels Ruinacci

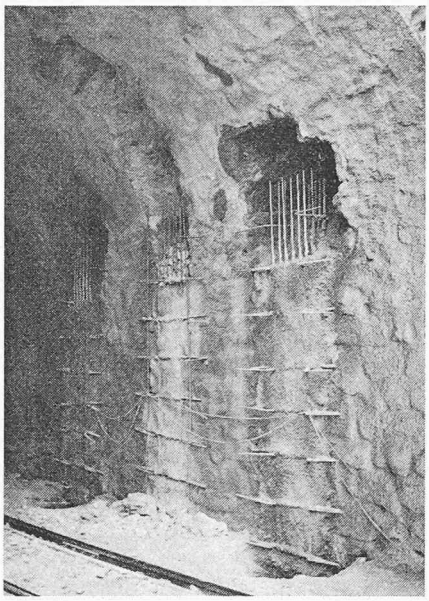


Bild 13. Bau des senkrechten Teils eines Gewölbebogens aus armiertem Spritzbeton im Tunnel Ruinacci

gefassten Wandfelder abzubauen und – zurückversetzt – mit Spritzbeton zu rekonstruieren. Am Ende erschien die korrigierte Widerlagerstelle als eine Folge aneinandergereihter Schalensegmente (Bild 11).

Aussteifungen

Die beschriebenen Profilkorrekturen bestanden in der Zurückversetzung des einen Widerlagers; deshalb genügte es, die senkrechten Pfeiler der Stützkonstruktion einfach auf der Tunnelsohle zu fundieren, ohne eine horizontale Verspriessung mit dem gegenüberliegenden Widerlager. Anders waren die Verhältnisse im Tunnel Ruinacci, der als Ganzes von der Hangbewegung erfasst und dessen gesamtes Profil stark verformt ist. Hier bezweckte das Skelett aus Pfeilern, Gewölbebögen und Längsträgern aus armiertem Spritzbeton eine dreidimensionale Versteifung der Tunnelmauerung. Deshalb sind die senkrechten Stützen in den Widerlagern mit waagrechten Rippen (aus Ortsbeton) unter dem Schotterbett gegeneinander versteift worden (Bild 12).

Im Ruinacci-Tunnel sind die vom Gerippe umschlossenen Mauerwerkfelder mit einer besonders armierten Gunitverkleidung zusätzlich verfestigt worden. Die Armierung dieser Verkleidung ist mit der Bewehrung des Gerippes statisch verbunden (Bild 13).

Ergebnis der Sanierungsmassnahmen

Die umfangreichen und komplexen Instandstellungsarbeiten in den Tunneln der Centovalli-Bahn haben wieder deutlich gezeigt, wie vorteilhaft das anpassungsfähige Spritzbetonverfahren (und damit auch der Gunit) besonders für derartige Bauvorhaben ist.

Während sich Spritzbeton zur Konsolidierung von Fels in Untertagebauten aller Art schon vielfach bewährt hat, war seine Verwendung im Rahmen der restlichen, vorstehend beschriebenen Sanierungsmassnahmen wenigstens in Teilbereichen neu.

Das in den Tunneln der Centovalli-Bahn angewandte Verfahren zur Dichtung des Mauerwerks hat sich sehr gut bewährt. Obwohl die meisten Drains im Laufe der Zeit ihre Wirksamkeit einbüssen, weil sie zufolge von Ausscheidungen und Ablagerungen des durchfliessenden Wassers allmählich zusintern, sind die sanierten Tunnelstrecken nach nunmehr drei bis sechs Jahren, von wenigen Sickerstellen abgesehen, noch vollkommen dicht. Die Feuchtstellen erscheinen da und dort als längliche weisse Flecken. Sie befinden sich zumeist längs der feinen Risse, die im Gunit und Spritzbeton wegen des praktisch unvermeidlichen Schwindens oder zufolge Bewegungen des Gebirges entstehen. An solchen Stellen sickert Wasser durch die Verkleidung und befördert wasserlösliche Betonbestandteile (mehrheitlich anorganische Salze) an die Oberfläche. Hier verdunstet das Wasser; zurück bleiben die Salze in Form weisser Ausscheidungen. Dieser Vorgang beeinträchtigt die Qualität und Festigkeit des Spritzbetons oder Gunits kaum.

In hervorragender Weise hat sich Spritzbeton für gewölbestützende Skelette und zur Rekonstruktion von Tunnelwiderlagern bewährt.

In den unterfangenen Gewölbebereichen ist es nirgends zu erkennbaren Setzungen oder Bewegungen gekommen (die in der anschliessend aufgetragenen Verkleidung deutlich als Risse und Feuchtstellen aufgetreten wären). Dies ist auch dem vorsichtigen und systematischen Vorgehen beim Bau des Stützgerippes zu verdanken, vor allem aber der Tatsache, dass der Spritzbeton die kompakte und kraftschlüssige Ausfüllung von Hohlräumen gestattet, was eine ideale Unterfangung ermöglicht.

Zusammenfassend darf festgehalten werden, dass das Ziel des Sanierungsprogramms, nämlich eine gründliche, dauerhafte und wirtschaftliche Lösung der Tunnelprobleme, erreicht worden ist. Dies auch dank der vorbildlichen Zusammenarbeit aller Beteiligten, die es ermöglichte, selbst heikle Situationen stets rechtzeitig zu meistern.

Kosten

Die Durchführung des Sanierungsprogramms hat für die einzelnen Objekte recht unterschiedliche Kosten je Laufmeter Tunnel oder je m² sanierte Fläche ergeben. Sie wurden nämlich nicht nur durch die Art der technischen Massnahmen und deren Ausführung beeinflusst, sondern auch durch die laufende Teuerung. Einzelne Vergleichswerte sind deshalb unter Umständen irreführend; es müssten fallweise alle Gegebenheiten genau berücksichtigt und dargelegt werden, was bei der Vielfalt der ausgeführten Arbeiten den Rahmen dieses Berichtes sprengen würde.

Damit die Grössenordnung sichtbar wird, seien die folgenden Zahlen genannt:

– Gesamtkosten 1969–1974, samt Projekt, bahnseitige Kosten und Bauleitung	1 618 000 Fr.
– Sanierte Tunnelstrecken	1130,2 m
– Sanierte Fläche	9613,2 m²
– Kosten: 1431,60 Fr./m Tunnel	
168,31 Fr./m² sanierte Fläche	

Die Arbeiten wurden unter der Oberaufsicht des Eidg. Amtes für Verkehr ausgeführt. Die Finanzierung erfolgte je zur Hälfte durch den Bund und den Kanton Tessin.

Adressen der Verfasser: *Aldo Golta*, Sandacker 6, 8052 Zürich, und *Pietro Teichert*, 6671 Avegno.