

# Erneuerung des Rosenbergtunnels der SBB

Autor(en): **Heimgartner, Herbert / Kleiner, Peter / Nauer, Heinz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **116 (1998)**

Heft 9

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79459>

## **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.

Herbert Heimgartner, Peter Kleiner, Zürich, und Heinz Nauer, Glattbrugg

# Erneuerung des Rosenberg隧NELS der SBB

**Sowohl aus bahnbetrieblichen Gründen als auch wegen der aggressiven Einflüsse des Bergwassers und des Streusalzeinsatzes musste der Rosenberg隧NELS der SBB saniert werden. Umfangreiche Untersuchungen des Mineralisationsgrads des Bergwassers begleiteten die Arbeiten.**

Der zweisepurige Rosenberg隧NELS der Schweizerischen Bundesbahnen liegt an der Strecke St. Margrethen-St. Gallen und verbindet die beiden Bahnhöfe St. Fiden und St. Gallen. Der 1466 m lange Tunnel unterquert städtisches Gebiet und weist eine Überdeckung zwischen einem und 44 Metern auf (Bild 1). Er wird heute täglich von 180 Reise- und Güterzügen der Bodensee-Toggenburg-Bahn und der Schweizerischen Bundesbahnen befahren. Er wurde in den Jahren 1905-1912 gebaut und ersetzt, bedingt durch die damalige bauliche Entwicklung der Stadt St. Gallen, die alte oberirdische Linienführung der Bahn. Bereits beim Bau des TunnelS traten im Mittelbereich grosse Sohlhebungen auf, und es mussten noch vor der Inbetriebnahme auf einer Länge von 590 m Sohlgewölbe eingebaut werden. Mit der Elektrifizierung der Bahnstrecke im Jahre 1924

wurden zum Schutz der neuen Fahrleitungen nasse Mauerwerkspartien im Gewölbe abgedichtet. Seither wurden nur noch unwesentliche Unterhalts- und Reparaturarbeiten ausgeführt.

## Sanierung

Während der über 80 Jahre seit der Inbetriebnahme haben der intensive Zugverkehr und die Einflüsse des Bergwassers sowie der Umwelt (Streusalz) ihre sichtbaren Spuren am Tunnelbauwerk hinterlassen.

Der für die damaligen Verhältnisse zwar recht grosszügig ausgelegte Tunnelquerschnitt genügte zudem den Anforderungen des heutigen Bahnverkehrs nicht mehr. Neben der zu geringen Fahrleitungshöhe wurden die neuen Lichtraumprofilvorschriften nicht oder nur sehr knapp erfüllt.

## Bahnbetriebliche Vorgaben

Eine wesentliche Vorgabe war, dass der Bahnbetrieb auch während der Bauarbeiten im Tunnel jederzeit ohne jegliche Einschränkung aufrechtzuerhalten war.

Um trotz des durch den einspurigen Betrieb hervorgerufenen Engpasses den

ordentlichen Betriebsablauf ohne Beeinträchtigung der Fahrplanstabilität gewährleisten zu können, musste die Streckengeschwindigkeit  $v_R=80$  km/h auch während der Bauarbeiten aufrechterhalten werden.

## Sanierungsprojekt

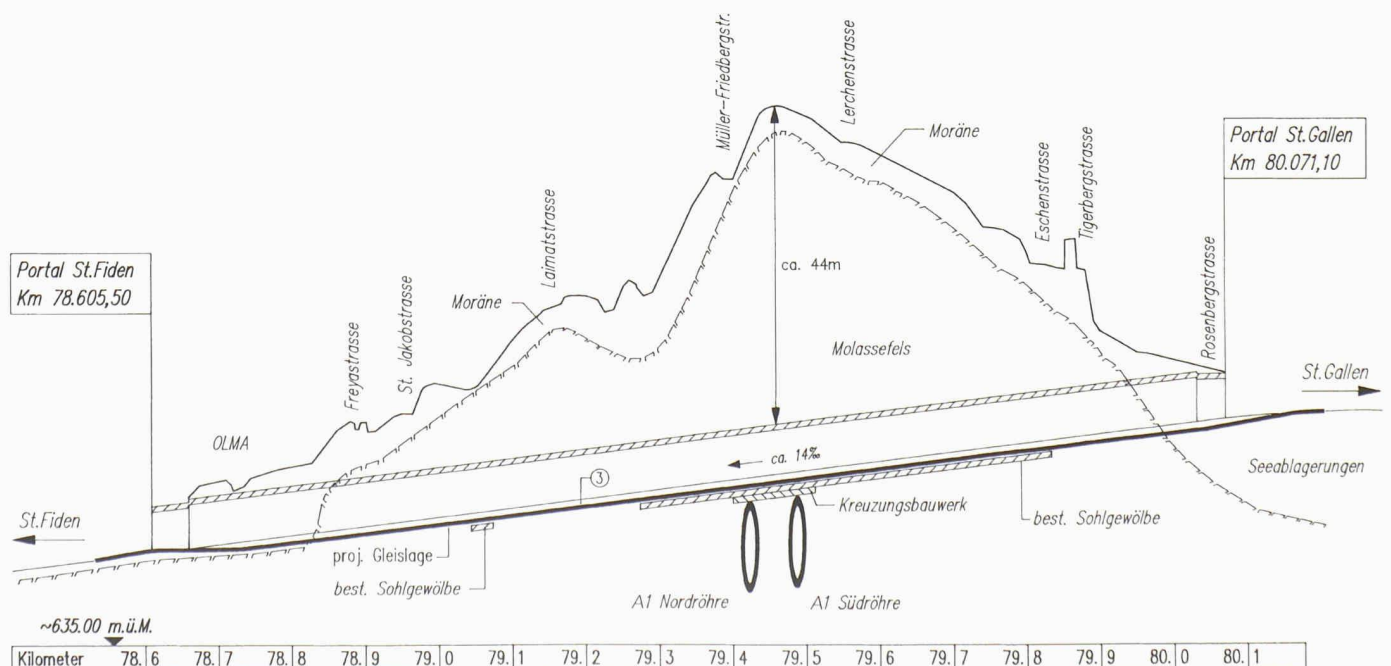
Die baulichen Schäden und Mängel bildeten nebst den ungenügenden Profilverhältnissen und der weiterhin zunehmenden Zugfrequenz den Hauptgrund für den Entscheid zur Gesamtanierung des Rosenberg隧NELS. Als Ziel wurde eine Nutzungsdauer des Bauwerks um weitere 50 Jahre ins Auge gefasst. Das Sanierungsprojekt wurde wie folgt umgesetzt (Bild 2):

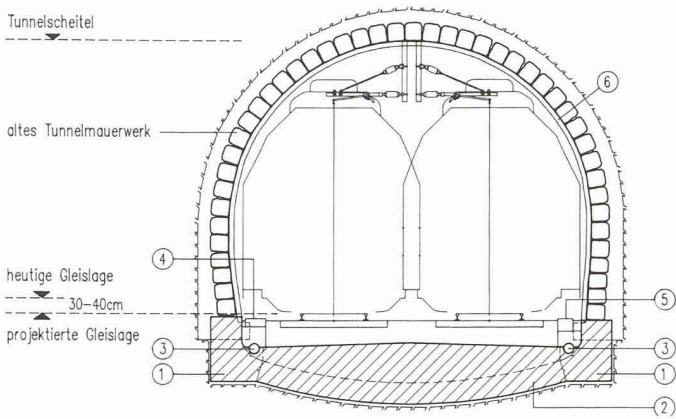
- Gleisabsenkung und Optimierung der Gleisgeometrie: Für die Verbesserung der Lichtraumprofilverhältnisse und der Fahrdrathöhe mussten beide Gleise zwischen 30 und 40 cm abgesenkt werden. Gleichzeitig waren zugunsten eines verbesserten Fahrkomforts Gleisverschiebungen bis zu 20 cm erforderlich.

- Sohlgewölbe und Unterfangungen: Bedingt durch die Gleisabsenkung mussten die Sohle und damit das alte Sohlgewölbe bzw. das anstehende Fest- und Lockergestein abgetragen werden. Als Trennung zwischen Untergrund und Schotterbett wurde durchgehend ein neues Sohlgewölbe eingebaut. Das Sohlgewölbe soll erneute Sohlhebungen aufgrund der quellfähigen Mergelschichten verhindern.

- Entwässerung Tunnelsohle: Entlang beider Tunnelwiderlager wurden neue Sicker-

1  
Längenprofil durch den Bahntunnel





- 2  
**Normalprofil:**  
 1 Widerlagerunterfangung      4 Hochspannungskabelkanal  
 2 Sohlgewölbe                      5 Kabelkanal  
 3 Seitendohle                        6 Gewölbeabdichtung (nasse Zone)

leitungen verlegt. Sie fassen das über spezielle Entlastungsbohrungen in den Widerlagern einflussende sowie das hinter der Gewölbeabdichtung durch das Tunnelmauerwerk infiltrierende Bergwasser und leiten es der Vorflut zu. Mit dem weiterhin möglichen Zufluss des Bergwassers in den Tunnel wird der Wasserhaushalt im Gebirge nicht verändert, und die Gefahr eines Wasseraufstaus hinter dem Tunnelbauwerk kann dadurch vermieden werden.

**Gewölbeabdichtung:** Das in den Portalzonen und stellenweise auch im Mittelteil vernässte Gewölbe wurde abgedichtet. Um Beton und Armierung vor den Einflüssen des stark mineral- und salzhaltigen Bergwassers zu schützen, besteht die Abdichtung aus einer Kunststoffolie und einem selbsttragenden Spritzbeton-Innenring.

**Bauausführung**

Die Materialtransporte von und zu den Baustellen im Tunnel bzw. den Voreinschnitten erfolgen auf dem Schienengeweg mit speziellen Bauzügen.

Für die Ausführung der Arbeiten in der Tunnelsohle wurde das Baugleis ausgebaut und anschliessend für die nachfolgenden Gewölbearbeiten wieder verlegt. Die einzelnen Arbeitsabläufe sind in Bild 3 dargestellt.

Nach Abschluss der Bauarbeiten wurden bahnseits das Bau- durch das neue Betriebsgleis ersetzt, die neue Fahrleitungsanlage montiert und die weiteren Betriebseinrichtungen installiert.

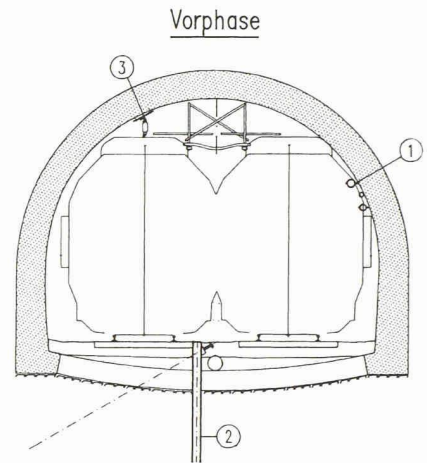
**Sicherheitsdispositiv**

Der Sicherheit auf der Baustelle wurde ein hoher Stellenwert eingeräumt. Erste und wichtigste Massnahme war die durch-

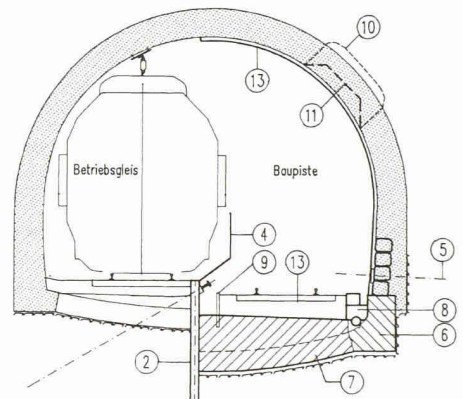
3  
**Arbeitsabläufe mit Vorphase und Hauptphasen I und II:**

- 1 Unternehmerinstallationen
- 2 Rühlwandträger
- 3 provisorische Tragwerke
- 4 Schutzzaun
- 5 Widerlagersicherung
- 6 Widerlagerunterfangung
- 7 Sohlgewölbe
- 8 Entwässerung und Kabelkanal
- 9 Schotterhalterung für Hauptphase 2
- 10 Hinterfüllungsinjektionen
- 11 Tragwerksnischen
- 12 Gewölbeabdichtung (vernässte Zone)
- 13 Einbau Betriebsgleis
- 14 neue Fahrleitungsanlage
- 15 SBB-Kabel verlegen

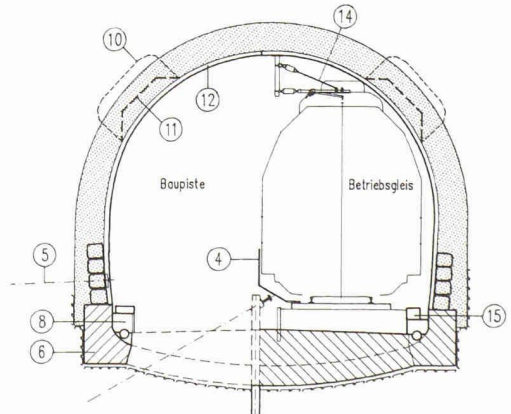
gehende Abschränkung der Baustelle gegenüber dem Betriebsgleis. Im weiteren wurde zum Schutz des Baupersonals und der Züge ein mehrschichtiges Sicherheitssystem aufgebaut. Dazu gehörten u.a. optisch-akustische Warnanlagen und eine Notstopanlage, mit der im Notfall herannahende Züge hätten aufgehalten werden können.



**Hauptphase 1**

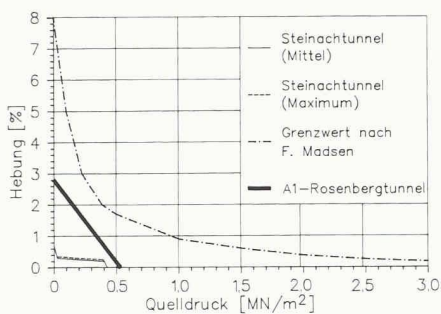


**Hauptphase 2**



**Bauzeit und -kosten**

Die Sanierungsarbeiten begannen im Mai 1994 und dauerten bis Ende Oktober 1997. Die Gesamtkosten für die Sanierung des Rosenbergtunnels samt Stützmauern in den beiden Portalzonen und die Erneuerung der bahntechnischen Ausrüstung belaufen sich auf rund 62 Mio. Franken (Preisbasis 1990).



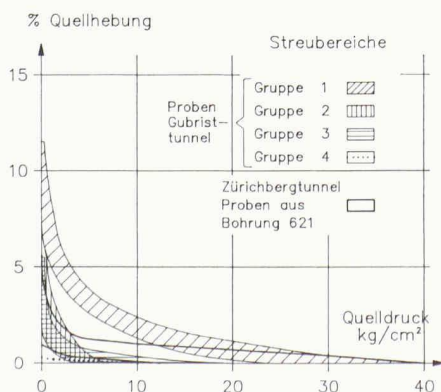
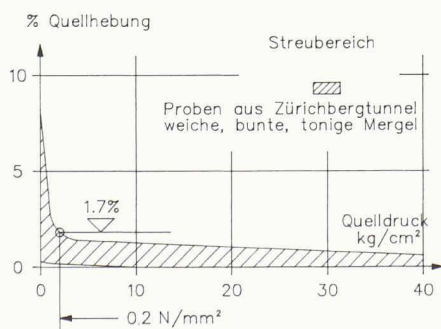
4  
 Quellpotential. Auswertung von Versuchen im Raum St. Gallen

**Geotechnische Beurteilung des Sohlgewölbes**

Abgesehen von den beiden Portalbereichen im Lockergestein durchfährt der Rosenbergertunnel Felsformationen der Oberen Süsswassermolasse (Bild 1). Die mit 15-20° gegen NNW einfallenden Schichten bestehen aus einer Wechsellagerung von Mergeln, Silt- und Sandsteinen. Die Molasse besteht im wesentlichen aus vier Gesteinsformationen:

■ Tonreiche Mergel: Diese umfassen alle Mergel, die durch schlechte Zementie-

5  
 Streubereiche der Quellhebungen in Abhängigkeit des Quelldrucks. Die Resultate stammen aus verschiedenen Tunnelbauwerken



rung, Lehm sowie sehr geringen bis fehlenden Gehalt an Silt auffallen.

■ Bituminöse Mergel: Diese sind durch ihre wesentlich dunklere Farbe erkennbar. Die Kornzusammensetzung variiert sehr stark von sand- bis zu tonreichen Arten. Allen gemeinsam ist die Einlagerung von organischen Bestandteilen. Die generell schlechte Zementierung ist verantwortlich für die Schwachstellen dieser Schichten.

■ Übrige Mergel: Sie sind mässig bis gut zementiert und in der Regel etwas siltig. Auch harte Schichtfolgen mit überdurchschnittlicher Kalkbindung sind eingelagert.

■ Silt- und Sandsteine: Die Bandbreite reicht von mergeligen Siltsteinen bis zu Grobsandsteinen mit Nagelfluheinlagen. Diese Gesteine sind mit RQD-Werten der Bohrkernkerne von 90 bis 100% überwiegend gut zementiert.

Der Tunnel durchfährt alle diese Schichten, die aufgrund ihrer Ablagerungsgeschichte ziemlich rasch wechseln können. Das bedeutet, dass in der Tunnelsohle nur wenige, kurze Abschnitte mit einigermaßen regelmässigen Gesteinseigenschaften auftreten. In den Bereichen mit den vom Bau herstammenden, alten Sohlgewölben sind die tonreichen und bituminösen Mergel wesentlich häufiger als in den restlichen Bereichen, wo die übrigen Mergel sowie die Silt- und Sandsteine vorherrschen.

Die Felskennwerte wurden in einer Vergleichstabelle zusammengetragen. Sie umfasst die erhältlichen Daten aus den Räumen St. Gallen und Zürich. Die einachsige Druckfestigkeit variiert von etwa 50 N/mm<sup>2</sup> bei den Mergeln bis über 100 N/mm<sup>2</sup> bei den Silt- und Sandsteinen. Für die Feststellung der verschiedenen Mergelqualitäten wurden mineralogische Analysen von Felsproben aus der Tunnelsohle erstellt. Der Anteil der quellfähigen Tonminerale (Smektit) in den einzelnen Schichten reicht bis zu 55%. Der Gesamtanteil in den Mergelformationen beträgt 25-30%. Die Stärke eines Mergelpaketes mit Quellpotential in der Tunnelsohle wurde mit einem Meter angenommen.

Die Bodenkennwerte der Lockergesteine zeigen recht tiefe Werte: Das Feuchtraumgewicht variiert von 19 bis 22 kN/m<sup>3</sup>, der Winkel  $\phi'$  der inneren Reibung streut von 28 bis 32°. Kohäsion ist nicht vorhanden. Etwas mehr variieren die ME-Werte. Für die spätglazialen Seeablagerungen liegt die untere Grenze bei nur 20 N/mm<sup>2</sup>, was die massiven Fundamentstärken der Tagbautunnels erklärt. Der ME-Wert der Moräne beträgt durchgehend über 50 N/mm<sup>2</sup>.

**Mergelverhalten**

Eine spezielle, unerwünschte Eigenschaft der Mergel der Oberen Süsswassermolasse besteht darin, dass sie unter Luftzutritt rasch zu verwittern beginnen. Insbesondere in der Sohle, wo während der Arbeiten vielfach Berg- und Bauwasser liegt, war darauf zu achten, dass die Felsoberfläche nur kurze Zeit offen lag. Es wurde deshalb vorgeschrieben, dass Unterfangungs- und Sohlelemente innerhalb von 24 Stunden nach dem Sohlenausbruch betoniert sein mussten.

Quelluntersuchungen wurden nicht durchgeführt, da diese keine wesentlichen neuen Erkenntnisse gebracht hätten. Das Quellpotential der Formationen wurde aus den oben genannten Quervergleichen abgeschätzt und auf Untersuchungen aus dem Rosenbergertunnel der A1 abgestützt (Bild 4). Da die Mergel bereits etwa 80 Jahre Zeit zum Quellen hatten, wurde allgemein ein um rund 10% reduziertes Quellpotential gegenüber demjenigen in einem neuen Tunnel angenommen.

Auch aus dem Verhalten der alten Sohlgewölbe, von denen der Querschnitt, die ungefähren Materialkennwerte und das Hebungsmass über den Zeitraum der letzten rund 10 Jahre bekannt waren, liess sich das Quellpotential durch Rückrechnung abschätzen.

**Vergleich Betonplatte – Sohlgewölbe**

Aufgrund der oben dargestellten Quervergleiche der geotechnischen Kennwerte wurde für die Traglastbemessung der Sohlkonstruktion ein Quelldruck von  $p_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$  angenommen. Gleichzeitig wurde das zugehörige Quellmass auf 1,7% festgelegt, was bei der angenommenen Stärke der quellfähigen Mergelpakete von einem Meter eine zu erwartende Deformation (Hebung) von 17 mm ergab. Dieser recht günstige «Arbeitspunkt» auf der Quellkurve wurde den geotechnischen Grundlagen für den Zürichbergtunnel der S-Bahn entnommen (Bild 5), in die auch die gemessenen Quellparameter von Untersuchungen aus dem Gubristunnel einfließen. Der Arbeitspunkt berücksichtigt alle für den Rosenbergertunnel relevanten Messwerte aus den genannten Unterlagen.

Würde man die Sohlkonstruktion (unrealistisch) starr annehmen, so müsste man gemäss Bild 4 eine Quellkraft von mindestens  $p_s = 0,54 \text{ N/mm}^2$  einsetzen. Die höhere Beanspruchung würde grössere Konstruktionsstärken erfordern. Einige wenige Überlegungen zeigten sofort, dass eine Sohlenplatte mit dem erforderlichen hohen Bewehrungsgrad bezüglich Baukosten und -ablauf deutlich ungünstiger als ein Sohlgewölbe ausfiel.

Die Profilwahl fiel deshalb auf ein relativ flaches, elastisch-plastisches Sohlgewölbe von 50 cm Stärke, mit einem Radius von 12 m, das in der Mitte Deformationen von etwa 17 mm aufnehmen kann. Dieses Gewölbe mit seitlich unverschieblichen Widerlagern zur Abtragung von Druckmembrankräften in den anstehenden Fels (Bild 2), gewährt erhebliche Tragreserven im plastischen Materialbereich. Ungewissheiten in den Lastannahmen können damit zu einem guten Teil kompensiert werden. Das Gewölbe konnte unbewehrt ausgeführt werden, und es entstehen höchstens einige begrenzte, nicht durchgehende Biegerisse.

Bei der Ausführung war darauf zu achten, dass im Auflagerbereich des Sohlgewölbes lose Felsteile konsequent entfernt und dieser Bereich satt mit Beton vergossen wurde. Das Erstellen der Krümmung der Sohle ist gut gelungen, auch wenn bei schwachen Felsformationen die Ausbruchlinie jeweils der Schichtgrenze folgte.

### Beurteilung des Bergwassers

Bergwässer können aus tieferen Erdschichten stammen, in denen sich das Wasser nur mit grosser Verzögerung (Jahrzehnte) am natürlichen Kreislauf beteiligt. Dieses Wasser vermag unter meist anaeroben Verhältnissen, grosser Wärme und hohem Druck in Verbindung mit Kohlensäure Mineralsalze aufzunehmen, wie dies in oberflächennahen Schichten nicht möglich wäre. Mit zunehmendem Salzgehalt steigt dabei seine Permeabilität, wodurch das Wasser auch in kleinste Räume vorzudringen und dort weitere Salze zu lösen vermag. (Stark konzentrierte Lösungen erreichen beinahe die für Luft geltenden Permeabilitätswerte.)

So stösst man in verschiedenen Bohrtiefen auf eine geordnete Reihe von Wässern mit unterschiedlicher Mineralisation: Im Oberflächenbereich auf junges, schwach mineralisiertes Niederschlagswasser, dem ein Calcium-Hydrogencarbonat-Tiefengrundwasser mit den Hauptbestandteilen Calcium, Magnesium und Hydrogencarbonat und den Nebenbestandteilen Sulfat und Chlorid folgt. In weiteren Tiefen sind anzutreffen: Natrium-Hydrogencarbonat-Tiefengrundwasser mit den Nebenbestandteilen Sulfat, Chlorid und Calcium und schliesslich Natrium-Sulfat/Chlorid-Tiefengrundwasser mit Natrium, Sulfat und Chlorid als Hauptbestandteilen.

### Erste Wasseruntersuchungen

Aus früheren Untersuchungen lagen die Analysewerte einer Wasserprobe aus

Analyse-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
pH-Wert	9,73	9,64	7,69	9,06	7,84	7,94	7,69	8,07
el. LF [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	10730	7980	2710	2420	1554	4200	1461	374
m-Wert	64,90	108,05	6,60	5,42	8,12	1,40	4,60	1,68
Calcium [mg/l]	1,6	1,5	153	6,1	88	224	87	47
Magnesium [mg/l]	0,98	1,3	29	1,4	3,9	3,2	29	7,2
Natrium [mg/l]	378	2028	444	519	283	714	190	13
Kalium [mg/l]	1883	536	55	53	7,0	84	23	9,3
Chlorid [mg/l]	14	69	490	34	33	1017	313	13
Sulfat [mg/l]	197	100	410	832	470	585	88	56
Fluorid [mg/l]								

6

### Resultate der Wasserprobenanalysen aus verschiedenen Tunnelbereichen

einem Schacht der Tunneldole (Nähe Westportal) vor, die ungewöhnlich hohe Gehalte an gelösten Wasserinhaltsstoffen auswies. Hier einige ausgewählte Werte: Aufgrund des hohen pH-Werts und des erhöhten Kaliumgehalts könnte man in einer ersten Beurteilung die Wasserprobe

pH-Wert	10,4
elektrische Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	9020
Karbonathärte [ $^{\circ}\text{fH}$ ]	0,7
Gesamthärte [ $^{\circ}\text{fH}$ ]	0,7
Chloride [mg/l]	685
Natriumhydrogencarbonat [mg/l]	1207
Natriumcarbonat [mg/l]	2571
Calciumcarbonat [mg/l]	7
Natriumchlorid [mg/l]	1129

qualitative Prüfung auf:

Natrium	sehr viel
Kalium	viel

als Betonsickerwasser, d.h. durch Beton beeinflusstes Bergwasser, bezeichnen. Dagegen sprachen aber verschiedene Faktoren.

Zur weiteren Abklärung wurden in einem ersten Schritt verschiedene Wasserproben aus den Schächten der Entwässerungsleitung und von einzelnen Tropfstellen am Tunnelgewölbe entnommen und im Labor chemisch analysiert. Die Analysen (Bild 6) ergaben sehr oft hohe Gehalte an Natriumchlorid, Natriumsulfat und Natriumhydrogencarbonat, so dass einerseits mit Korrosion der Stahlarmierung und andererseits mit Schäden durch Salzsprengung in der Spritzbetonabdichtung gerechnet werden musste.

Weitere Abklärungen führten zum Schluss, dass im Rosenbergtunnel nicht allein oberflächennahes Niederschlagswasser, sondern auch aufsteigendes Tiefengrundwasser vom Typ Natrium-Hydrogencarbonat eintritt. Die Erfahrungen beim Bau der A1 zwischen Winkeln und dem A1-Rosenbergtunnel deuteten ebenfalls in diese Richtung; dort stiess man auf artesisch gespanntes Tiefengrundwasser.

### Umfassende Untersuchung

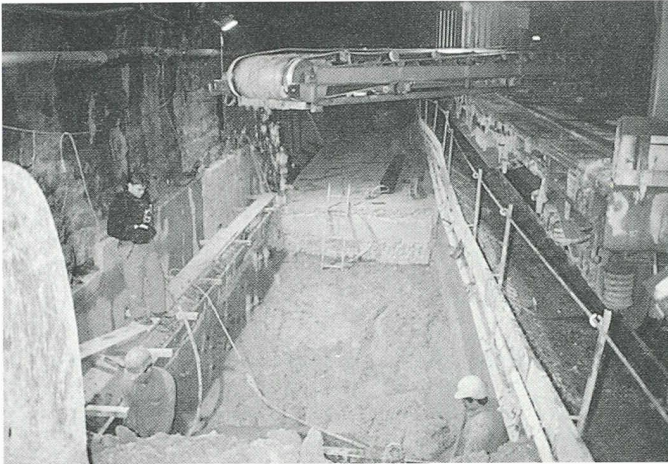
Das Hauptziel der nun folgenden weiteren Untersuchungen bestand darin, den Tunnel dem Bergwassercharakter entsprechend in Zonen einzuteilen und die zugehörigen technischen Massnahmen festzulegen. Zu diesem Zweck wurde ein detailliertes Messprogramm festgelegt:

Im Abstand von mehreren Monaten wurden aus allen Schächten der Tunneldole Wasserproben entnommen und deren elektrische Leitfähigkeit (entspricht in etwa dem Salzgehalt in mg/l) bestimmt. Im Schnitt betrug diese zwischen 1015  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (April 1992) und 1218  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (August 1993). Der Salzgehalt der einzelnen Wasserproben variierte zwar, das Gesamtbild blieb aber im Charakter gleich. Bei allen

7

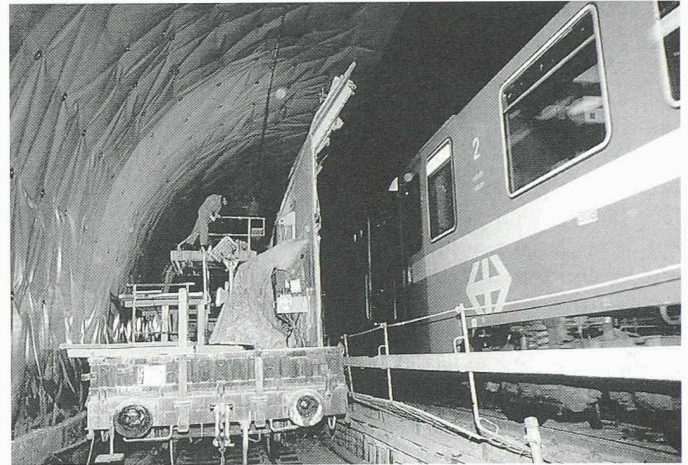
### Salzausblühungen auf dem Mauerwerk, ausgewaschene Fugen und Abplatzungen





8

Sohlgewölbe-Etappe beim Betonieren in der Nacht. Rechts auf dem Betriebsgleis der Betonzug



9

Gewölbeabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen. Links das Baugleis mit einem Bauwagen

Messreihen zeigte sich eine hohe Salzkonzentration im Bereich des Portals der Seite St. Gallen, gefolgt von einer kontinuierlichen Abnahme in der Fliessrichtung des Wassers bis zum Portal St. Fiden. Anhand der Messresultate liessen sich zwei unterschiedliche Wassertypen klassifizieren:

A-Typ: Stark NaCl-haltiges Niederschlagswasser

B-Typ: Natrium-Hydrogenkarbonat-Tiefengrundwasser

Zur Untersuchung des durch die Fugen des Mauerwerks in den Tunnel eindringenden Wassers (Bild 7) wurden mit speziellen «Wasserfängern» (System Nagra) Proben entnommen, die dort angewendet werden, wo das Wasser nicht direkt aufgefangen werden kann oder laufend verdunstet.

#### Auswertung und Beurteilung

Mit der Auswertung aller Analysedaten liessen sich die untersuchten Wässer zweifelsfrei einem der Wassertypen A oder B und diese wiederum einem bestimmten Tunnelabschnitt zuordnen.

A-Typ: Stark salzhaltiges Bergwasser mit zum Teil grossen Schwankungen der Gesamtmineralisation. Auch die elektrischen Leitfähigkeiten der Messreihen variierten stark im Bereich zwischen 1200 und 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Der Gehalt an NaCl ist bei diesem Wasser viel höher als beim B-Typ. Alle Proben des A-Typs stammen aus den Moränenabschnitten bzw. Portalbereichen des Tunnels mit geringer Überdeckung.

Die jahreszeitlichen Schwankungen der Gesamtmineralisation stehen ganz offensichtlich im Zusammenhang mit dem Streusalzeinsatz während des Winters.

B-Typ: Bergwasser mit relativ konstantem Salzgehalt, mittelstark minerali-

siert und elektrischen Leitfähigkeiten zwischen 600 und 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Es handelt sich um Natrium-Hydrogenkarbonat-Tiefengrundwasser, das im Mittelbereich des Tunnels, d.h. im Abschnitt mit anstehender Molasse, anfällt. Ein Einfluss durch die Jahreszeiten oder den Streusalzeinsatz lässt sich nicht erkennen.

#### Abdichtung des Tunnelmauerwerks

Die beiden Bergwassertypen A und B stellen erhöhte Anforderungen an bewehrten Beton und/oder an dünne Betonstrukturen. So galt es, der Abdichtung des Tunnelgewölbes besondere Beachtung zu schenken. Das im Normalfall bewährte Aufbringen einer Spritzbetonschale in der üblichen Stärke von 7 cm kam nicht in Betracht. Die Salzanreicherung in der Schale hätte in wenigen Jahren Gehalte erreicht, die beim Wassertyp A die Netzarmerung angegriffen und beim Wassertyp B zu Absprengungen infolge Kristallisation der Mineralsalze geführt hätte. Folgende Lösung kam nach eingehender Evaluation zur Ausführung: Nach der Sanierung der Mauerwerkfugen und der Reinigung der Mauerwerkoberfläche kommt als Sickerzone eine Drainmatte auf das Mauerwerk zu liegen und darauf eine 2 mm starke Kunststoffdichtungsbahn. Diese wird mit speziell abgedichteten Kurzankern am Mauerwerk befestigt, an denen die Maschengitter und Armierungsnetze befestigt werden. Das Maschengitter ermöglicht den Auftrag einer ersten dünnen Spritzbetonschicht auf die Kunststoffdichtungsbahn. Für die Netzarmerung war einerseits der Lastfall «Bauzustand» (die Schale reicht vom Widerlagerfuss bis in den Tunnelscheitel und ist dort nicht abgestützt) und

#### An der Sanierung Beteiligte

Bauherr  
SBB-Kreisdirektion 3, Ingenieurbau, Zürich  
Projekt- und Bauleitung  
Ingenieurgemeinschaft Galli-Heierli AG, Glattbrugg  
Geotechnik  
Dr. von Moos AG, Zürich  
Schall und Erschütterungen:  
Ingenieurbüro Rutishauser, Zürich  
Hydrologie  
Ingenieurbüro M. C. Wegmüller GmbH, Riehen  
Unternehmung  
Arbeitsgemeinschaft Rosenbergtunnel mit: Frutiger AG, Thun, H.R. Schmalz AG, Bern, Preiswerk AG, Zürich

andererseits der «Endzustand» (Betoninnenring unter Berücksichtigung von Eisbildung) massgebend.

Dieser aufwendige und teure Aufbau der Tunnelabdichtung kann nur dann in Frage kommen, wenn aggressives Bergwasser ein Risiko für die Beständigkeit einer normalen, direkt auf das Tunnelmauerwerk aufgespritzten Spritzbetonschale bedeutet.

Adresse der Verfasser:

Herbert Heimgartner, Ing. Reg. A, SBB Bauabteilung 3, Ingenieurbau, Postfach, 8021 Zürich,  
Peter Kleiner, dipl. Ing. ETH, Ingenieurbüro Heierli AG, Culmannstrasse 56, 8033 Zürich,  
Heinz Nauer, dipl. Ing. HTL, Ingenieurbüro Galli+Partner AG, Industriest. 57, 8152 Glattbrugg