Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 90 (1972)

Heft: 36: Internationales Symposium für Untertagebau in Luzern, 11. bis 14. September 1972

Artikel: Tunnelsanierungen der Schweizerischen Bundesbahnen

Autor: Beck, A. / Golta, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-85300

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: 27.12.2025

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

7. Fertigstellung

Die Fertigstellungsarbeiten in der ersten Tunnelröhre sind vor kurzem angelaufen. Daneben müssen noch verschiedene, teilweise sehr umfangreiche Nebenarbeiten für die Lüftungszentralen, die Zivilschutzanlage usw. bewältigt werden. Die Bauarbeiten werden deshalb noch längere Zeit andauern.

Wir hoffen, dass die gute Zusammenarbeit zwischen Bauherr, Unternehmern und Bauleitung auch weiterhin erhalten bleibt und zu einem guten Abschluss der Arbeiten führen wird.

Résumé

Le tunnel du Sonnenberg près de Lucerne à double tube traverse la molasse plissée (grès et marne). Le percement se fera selon une conception nouvelle avec avancement à la machine foreuse, méthode qui a donné de bons résultats. Déterminant pour le succès de la méthode est le temps après perforation jusqu'au moment où apparaissent les déformations.

Afin d'assurer la roche on utilisera avec succès le torcretage combiné avec un ancrage systématique (tableau 1). Une feuille PVC de 1,5 mm d'épaisseur, fixée en pointillage à la voûte extérieure servira de couche d'étanchéité. Une pression hydraustatique éventuelle sera supportée par la voûte intérieure.

Le premier tube a été percé au printemps 1972. Les travaux se poursuivront encore pendant un temps assez long.

Summary

The Sonnenberg twin tunnels near Lucerne have a length of about 1550 m. They are crossing folded rock strata consisting of sandstones and marls. The tunnel driving is performed by an entirely new, fully mechanised digger system (fig. 2), which so far has proved to be very successfull as long as the rock is standing without support for a considerable time.

A shotcrete lining together with systematic rock bolting is successfully adopted for granting the stability of the tunnel opening (tab. 1). A PVC-sheet with a thickness of 1.5 mm, attached to the shotcrete lining, serves as sealing off. An eventual water pressure is withstood by the inner concrete lining.

In spring 1972 the driving of the first tunnel has been completed. The tunnelling works are to be continued over a period of another couple of years.

Oberaufsicht:	Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau, Bern
Bauherr:	Baudirektion der Stadt Luzern
Oberbauleitung:	Tiefbauamt der Stadt Luzern
Projekt und Bauleitung:	Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, Baden und Ingenieurbüro Hch. Bachmann, Luzern

Los 1 (Unterfahrung SBB und Baselstrasse, 1. Teil): ARGE LOS 1, bestehend aus: Gebr. Wüest, Bauunternehmung, Luzern; AG für Grundwasserbauten, Bern.

Los 2 (Abschnitt Gütsch-Anschluss Grosshof): ARGE Sonnenbergtunnel, bestehend aus: Theiler & Kalbermatter AG, Luzern; AG Baugeschäft Arnet, Root; Th. Bertschinger AG, Zürich; Murer AG, Erstfeld; AG Franz Murer, Beckenried; Riva AG, Buochs.

Los 3 (Abluftkanal Bruchmatt—Tobel): Gebr. Brun AG, Bauunternehmung, Luzern.

Los 4 (Abschnitt Gabelung Senti—Gütsch): Fellmann Bauunternehmung, Luzern.

Literaturverzeichnis

[1] Mechanischer Tunnelvortrieb für die N2 in Luzern. «Schweizer Baublatt», *81* (1970), H. 96, S. 1–6.

[2] *K. Kovari:* Ein Beitrag zum Bemessungsproblem von Untertagebauten. «Schweiz. Bauzeitung», *87* (1969) H. 37, S. 687–697.

Adresse der Verfasser: *E. Beusch*, dipl. Bauing. ETH und *W. Studer*, Ing.-Tech. HTL, beide in Firma Motor-Columbus, Ingenieurunternehmung AG, 5400 Baden.

Tunnelsanierungen der Schweizerischen Bundesbahnen

DK 624 191.9

Von **A. Beck** und **A. Golta**, Zürich

Zusammenfassung

Im Zuge des Ausbaues des schweizerischen Bahnnetzes sind im vergangenen Jahrhundert und im ersten Viertel des 20. Jahrhunderts zahlreiche, zum Teil bedeutende Tunnelbauwerke erstellt worden. Besonders in den Tunneln des Jura und des Mittellandes mussten schon früh und laufend Sanierungsarbeiten ausgeführt werden. In neuerer Zeit wurden verschiedene Rekonstruktionsarbeiten durchgeführt. Im Wipkingertunnel und im Burgdorfertunnel der SBB sind Sanierungsarbeiten im Gange. Andere Tunnelrekonstruktionen sind projektiert, und der Baubeginn steht unmittelbar bevor.

Es werden Schäden und den Betrieb störende Mängel in diesen Tunnelanlagen dargelegt. In einer Reihe von Tunneln der SBB und von Privatbahnen sind Schwellvorgänge in der Sohle mit ihren Nebenfolgen im Bereiche tonhaltiger Gesteine und im Anhydrit festgestellt worden. Diese Schäden bedingen die grössten Sanierungsarbeiten. Photos und Diagramme geben Auskunft über die Grössenordnung der Deformationen von Planum und Tunnelverkleidung sowie über die Gegenmassnahmen der Sanierungsarbeiten.

Die in den Jahren 1963 bis 1967 ausgeführten Rekonstruktionsarbeiten im Bözbergtunnel der SBB werden kurz erläutert. Es wird ferner über die laufenden Sanierungsarbeiten im Wipkingertunnel der SBB berichtet. Zum Abschluss folgen einige Erläuterungen über das Projekt für die bevorstehenden Rekonstruktionsarbeiten im Rickentunnel der SBB.

Ziel der Tunnelrekonstruktionen ist die Verkehrssicherheit und das Ausmerzen von betriebshemmenden Unzulänglichkeiten.

Einleitung

Anschliessend an die Eröffnung der ersten schweizerischen Bahnlinie Zürich–Baden im Jahre 1847 erfolgte der Bau einer Reihe von Bahnverbindungen, welche die Erstellung vieler Tunnelbauwerke erforderte.

Zum Thema interessieren vor allem die Tunnel des Mittellandes und des Jura: zum Beispiel der Burgdorfertunnel (510 m), der Bözbergtunnel (2526 m), der Obere Hauensteintunnel (2495 m), der Wipkingertunnel (959 m).

Um die Jahrhundertwende und bis nach dem Ersten Weltkrieg entstanden im gleichen Gebiete einige bedeutende Tunnelanlagen, so etwa der Rickentunnel (8603 m), der Grenchenbergtunnel (8578 m), der Weissensteintunnel (3699 m), der Hauenstein-Basistunnel (8134 m).

Die Tunnelbauten des vergangenen Jahrhunderts wurden meist durch private Bahngesellschaften erstellt. Aus finanziellen Gründen mussten oft wichtige technische Vorkehrungen unterlassen werden.

Die angewandten Bauweisen, die Profilformen und die Vermauerungstechnik entsprachen den damaligen Kenntnissen und Möglichkeiten. Da der Vortrieb oft von Schächten aus aufgenommen wurde, konnten kurze Bauzeiten eingehalten werden. Die Tunnelbauten erforderten viele Opfer unter den Arbeitern, die schon damals in grosser Zahl aus dem benachbarten Ausland Arbeit in unserem Lande suchten.

Wenn nun doch zu Tunnelsanierungen geschritten werden muss, so darf aus der Kenntnis dieser Bauwerke heraus festgehalten werden, dass die alten Bahntunnel grossartige Leistungen der Tunnelbaukunst darstellen.

Allgemeines über Schäden und Unzulänglichkeiten

Für die Tunnelauskleidung kamen vorwiegend Natursteine zur Verwendung; vereinzelt wurden aber auch Zementsteine und sogar Backsteine vermauert. Später wurde vor allem die Kalotte betoniert. Die Verfugung mit Kalkmörtel wich um die Jahrhundertwende der Verwendung von Zementmörtel. Die Verkleidung erfolgte mit Bruchstein-, Schichten- und Quadermauerwerk, vereinzelt auch als Trockenmauerwerk. In «gesunden» Felsstrecken wurde meist auf eine Verkleidung verzichtet, oder es erfolgte lediglich die Auskleidung der Kalotte.

Dank den vielen Fugen (Gelenke) erweisen sich die alten Tunnelverkleidungen als sehr verformungsfähig, was als grosser Vorzug bewertet werden muss.

Bezüglich der Profilformen kann eine grosse Vielfalt beobachtet werden. Sozusagen ausnahmslos wurden zwischen Tunnelverkleidung und Gebirge Hohlräume belassen, wobei nur teilweise eine Auspackung derselben erfolgte. Durch den fehlenden satten Anschluss der Tunnelverkleidung an das Gebirge wird die Tragfähigkeit des Gewölbes stark vermindert.

In den betrachteten Tunnelbauwerken konnte indessen nirgends mit Sicherheit echter Gebirgsdruck festgestellt werden, wohl aber vereinzelt und örtlich Auflockerungsdruck. Schwierigkeiten während der Bauzeit traten verschiedentlich auf, weil Tunnelstrecken allzulange «auf der Holzzimmerung» belassen wurden.

Die Entwässerungsanlagen (Tunneldolen und Quellfassungen) wurden im allgemeinen sorgfältig erstellt. Die Tunnelverkleidung konnte hingegen nur ungenügend abgedichtet werden.

Anlässlich der Elektrifikation erfolgte in der Regel eine Absenkung des Geleiseplanums, um eine genügende Höhe der Fahrleitung zu erreichen; oft unterblieb dann aber eine Unterfangung von hochliegenden Widerlagerfundamenten. Der Dampfbetrieb während Jahrzehnten hinterliess seine Spuren an vielen Tunnelverkleidungen.

Es ist nicht erstaunlich, wenn in diesen Bauwerken nach vielen Jahren Schäden und Unzulänglichkeiten auftreten, die zur Ausführung von Sanierungsarbeiten zwingen. Sie können kurz wie folgt zusammengefasst werden:

- Felsniederbrüche in unverkleideten Tunnelstrecken
- Deformationen der Tunnelverkleidung mit Rissebildung, Druckgelenken, Abblätterungen, Ein- und Ausbuchtungen, Pressfugen usw.
- Niederbrüche von Mauerwerkteilen
- Beschädigung der Tunnelausmauerung infolge des chemischen Angriffs des Bergwassers bzw. auch im Zusammenhang mit dem Dampfbetrieb
- Frostschäden, Verwitterung des Mauerwerks
- Vernässungen der Tunnelverkleidung. Im Winter Einragung von Eis in das Lichtraumprofil
- Ablösung der Portal-Stirnwände von der Tunnelröhre
- Gleiten der Widerlagerfundamente gegen das Tunnelinnere
- Sohlenhebungen verbunden mit Deformationen der Widerlagerpartien (meistens Profilverengungen) infolge von chemisch-physikalischen Vorgängen (Bild 1). Beschädigung oder Zerstörung der Entwässerungsanlagen, Auflösung der Sohle. Unstabilität der Geleiselage, Beeinträchtigung des Lichtraumprofiles und Schäden an der Tunnelverkleidung.

Zahlreiche Bahntunnel unseres Landes sind in den letzten zehn Jahren saniert worden. Es seien die vielen Abdichtungen mit Gunit erwähnt. Oft mussten die Entwässerungsanlagen erneuert und ergänzt werden. Durch die Anwendung von stahlbewehrtem Spritzbeton und Gunit konnten Neumauerungen von Kalotte und Widerlager technisch einwandfrei und wirtschaftlich ausgeführt werden (Bild 2). Die grössten Arbeiten waren in jenen Tunneln nötig, in denen Schwellvorgänge zur Hebung des Planums mit allen Nebenfolgen geführt haben.

Sohlenhebungen und deren Folgen

Die Hebungen der Sohle sind teilweise schon vor der Inbetriebnahme der Tunnel beobachtet und als Schwellvorgänge bestimmter Gesteinsarten erkannt worden. Aus der Baugeschichte verschiedener Tunnel können viele Angaben über Messungen und Beobachtungen der Schwellvorgänge

Bild 1. Sohlenhebung im Bereich einer Tunnelnische von etwa 2 m Breite; Anhydrit des Muschelkalkes (Bözbergtunnel, 1964)

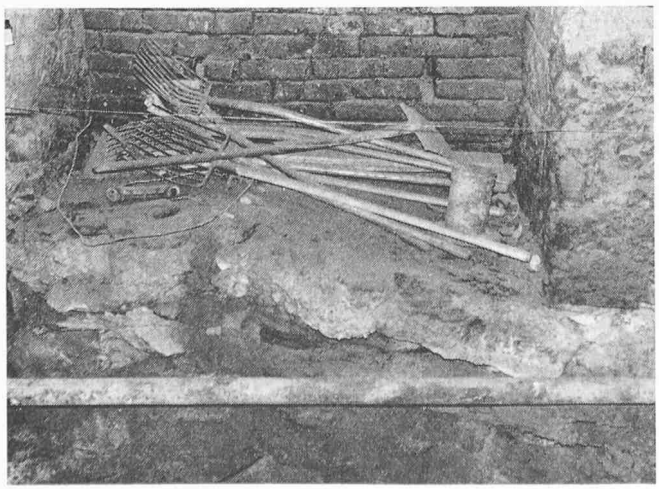
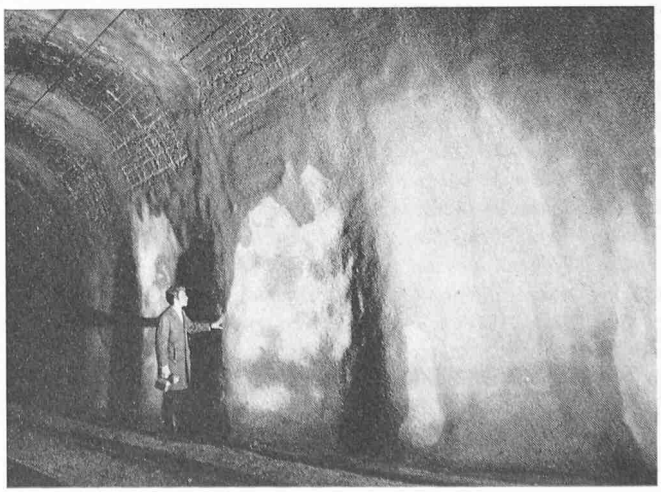


Bild 2. Widerlagerneumauerung mit armierten Spritzbetonringen und Spritzbetonschalen (Furkatunnel, 1969)



entnommen werden. Bereits im Jahre 1857 wurden im Oberen Hauensteintunnel gemauerte Sohlengewölbe eingebaut; aus den Jahren 1908 bis 1910 stammen die flachen Sohlenabdekkungen und die Sohlengewölbe im Rickentunnel, über die noch berichtet wird.

Die Sohlenhebungen können bezüglich der Gesteinsarten, in denen sie vorkommen, in zwei Gruppen unterteilt werden:

- Sohlenhebungen in tonhaltigen Gesteinen (zum Beispiel Molassemergel, Liasmergel, Opalinustone usw.). Sie entstehen in einem entlasteten Bereich einer flachen Sohle.
- Sohlenhebungen im Anhydrit des Muschelkalkes oder des Keupers. Durch Aufnahme von Wasser erfolgt eine Umwandlung von Ahydrit in Gips, was mit einer beträchtlichen Volumenvergrösserung verbunden ist. Dieser Vorgang wird ebenfalls durch Entlastung eingeleitet bzw. begünstigt.

Die Sohlenhebungen bewirken Deformationen der Widerlager und unter Umständen der gesamten Tunnelverkleidung. Wenn die Widerlager mit Anzug erstellt worden sind, ergeben sich aus den Deformationen Verengungen des Profils, die in Beziehung zum Mass der Hebung gebracht werden können (Bild 3).

Als weitere Folge ist die Beschädigung oder Zerstörung der Tunneldole zu nennen. Das sich über das Planum ausbreitende Bergwasser kann den Schwellvorgang beschleunigen. In tonhaltigen Gesteinen kommt es zur Auflösung der Sohle, wobei als Folge der mechanischen Einwirkung des Zugverkehrs das Schotterbett verschlammt (Bild 11).

Die Sohlenhebungen und deren Nebenfolgen gefährden den Zugsverkehr, indem, wie bereits erwähnt, einerseits eine unstabile Geleiselage entsteht (Gefahr von Schienenbrüchen), anderseits Einragungen ins Lichtraumprofil infolge der Widerlagerverengungen festgestellt werden müssen. Nicht zuletzt sei auch auf die Gefahren einer zwar langsamen aber sicheren Zerstörung der Tunnelverkleidung hingewiesen.

Schwellvorgänge sind in den alten Tunnelbauten der SBB und von Privatbahnen nur in der Sohle beobachtet worden. Die hinter den Widerlagern und über der Kalotte vorhandenen Hohlräume wären bei Quellvorgängen in diesen Bereichen zweifellos geschlossen worden. Die alten Tunnelverkleidungen hätten einem aufkommenden Schwelldruck nicht widerstehen können.

Für die Projektierung von Sanierungsarbeiten im Bereiche des Tunnelplanums mussten über das Problem der Sohlenhebungen zumindest qualitative Vorstellungen über die Ursachen ergründet werden. Es sollen kurz einige Erwägungen festgehalten werden, wie sie als Grundlage für die Projekte verwendet wurden.

Die Sohlenhebungen entstehen infolge Schwellung der Gesteinsmassen innerhalb eines Schwellbereiches. Dieser Bereich ist oben durch die flache Sohle abgegrenzt; unten liegt die Grenze dort, wo nach der Schaffung des Tunnelhohlraumes durch die Überlagerung von Primär- und Sekundärspannungen keine Volumenvergrösserung der Elementarteilchen stattfindet. Diese untere Grenze dürfte je nach den Verhältnissen und in erster Näherung einem Kreis, einer Ellipse oder einer Parabel entsprechen. Primär wird der Schwellvorgang durch Zustrom von Porenwasser aus dem Gebirge eingeleitet. Daher erklärt sich die Tatsache, dass Sohlenhebungen (und Widerlagerverengungen) über Jahrzehnte hinweg und meistens in unvermindertem Ausmass weitergehen (Bilder 4, 6 und 10).

Andere Faktoren beeinflussen die Schwellvorgänge:

- Die Schichtung und die Überlagerung (Grösse und Richtung der Primärspannungen)
- Der Grad der Vorkonsolidation und damit des Wassergehaltes tonhaltiger Gesteine
- Der Tonanteil und die spezifischen Eigenschaften dieser Bestandteile
- Die feine Verteilung von Anhydrit in Mergel- oder Tonschichten.

Wiederum aus qualitativen Betrachtungen muss auf die Wichtigkeit einer geeigneten Profilform der Tunnelsohle hingewiesen werden: Die Anordnung eines Sohlengewölbes soll in erster Linie die Verkleinerung des Schwellbereiches anstreben und erst in zweiter Linie der Aufnahme eines aufkommenden Schwelldruckes dienen. Kerben im Gebirge in der Form zum Beispiel von Fundamentabsätzen oder von Schlitzen für Tunneldolen usw. sollten nach Möglichkeit vermieden wer-

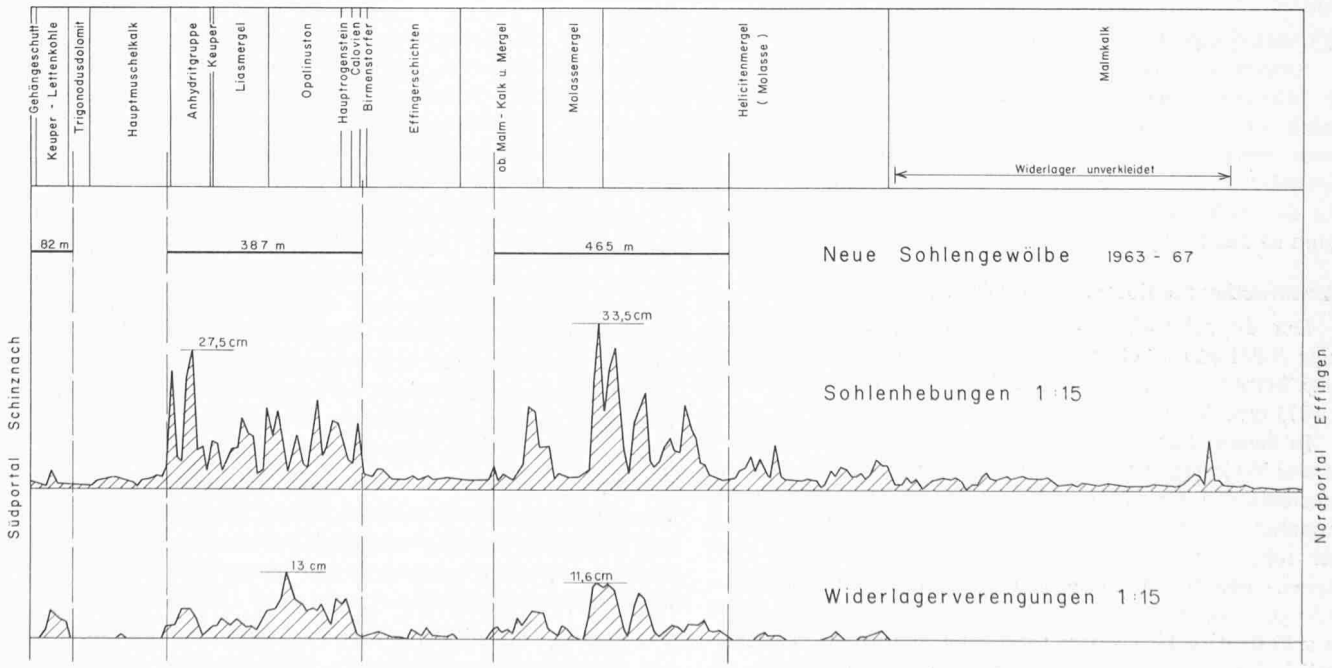


Bild 3. Sohlenhebungen und Widerlagerverengungen im 2526 m langen Bözbergtunnel. Messperiode 1923–1954. Längenmassstab 1:5000

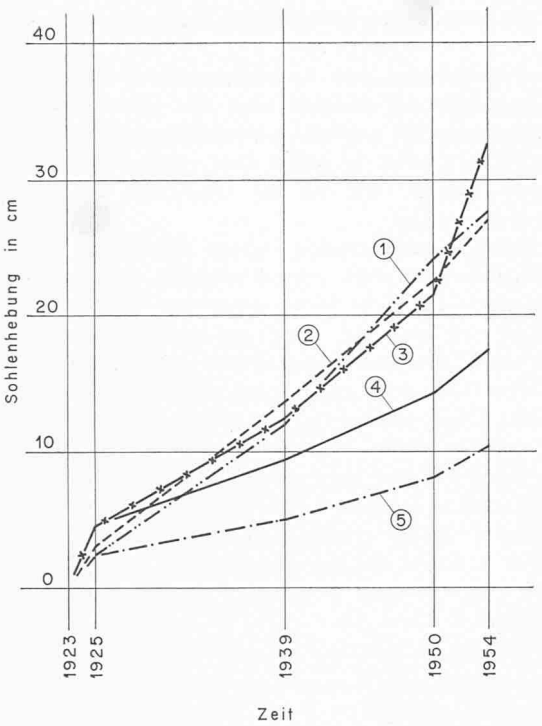


Bild 4. Sohlenhebungen im Bözbergtunnel in Funktion der Zeit und für verschiedene Gesteinsarten
1 Helicitenmergel (Molasse), 2 Anhydrit (Muschelkalk), 3 Molassemergel, 4 Opalinuston, 5 Liasmergel

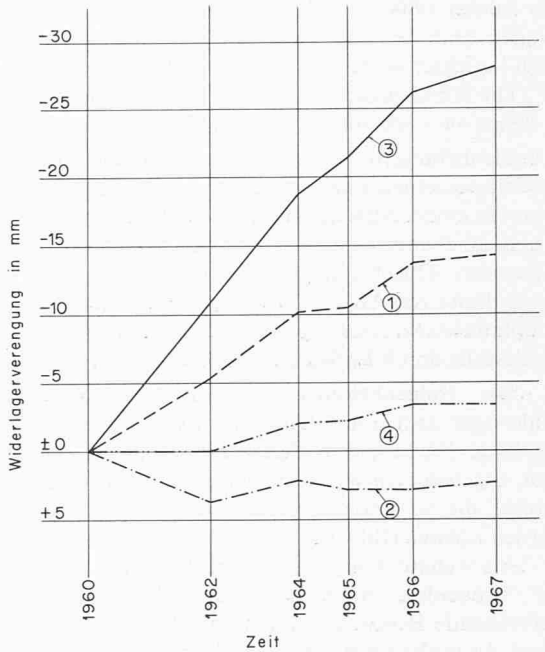


Bild 5. Widerlagerverengungen in Funktion der Zeit im Wipkingertunnel. 1 und 2 Messwerte an verschiedenen Stellen, 3 Maximalwert, 4 Durchschnittswert aller Messungen

den. Denkbar ist eine Idealform (Kreis, Ellipse oder Parabel), bei der kein Schwellvorgang möglich wird. Dabei müssten aber auch die Phasen der Bauausführung berücksichtigt werden.

In der folgenden Aufstellung werden einige schweizerische Bahntunnel aufgezählt, in denen Sohlenhebungen mit den sekundären Folgen eindeutig festgestellt werden konnten:

- Bözbergtunnel, Rickentunnel, Oberer Hauensteintunnel, Hauenstein-Basistunnel, Wipkingertunnel, Bruggwaldtunnel, Grenchenbergtunnel, Rosenbergtunnel, Weissensteintunnel.

Die Gesamtlänge dieser Tunnel beträgt rund 40 km.

Anhand von drei Beispielen sollen die Tunnelsanierungen der Schweizerischen Bundesbahnen etwas näher erläutert werden. Die Rekonstruktion des Bözbergtunnels hat in den Jahren 1963–67 stattgefunden. Die Sanierungsarbeiten im Wipkingertunnel sind gegenwärtig im Gange. Für die Sanierung des Rickentunnels läuft die Submission, und der Baubeginn ist auf Frühjahr 1973 vorgesehen.

Rekonstruktion des Bözbergtunnels der SBB

Der doppelspurige Bözbergtunnel liegt an der Strecke Brugg–Basel und durchörtert die Felsschichten des Jura. Seine Länge beträgt 2526 m. Der Tunnel wurde in den Jahren 1871 bis 1875 erbaut.

In diesem Tunnel wurden schon sehr früh Sohlenhebungen und Widerlagerverengungen festgestellt. Ab 1923 sind die Deformationen systematisch gemessen worden. Nach Inbetriebnahme des Tunnels mussten immer wieder lokale Widerlager rekonstruiert werden. In den Jahren 1903 bis 1905 mussten neben umfangreichen Widerlagerneumauerungen Sohlengewölbe eingebaut werden, die aber vor allem durch das sulfathaltige Bergwasser total zerstört wurden. Verschiedentlich wurde auch die Tunneldole erneuert, die durch die Hebungen des Planums beschädigt worden war.

Geologie und eine Gegenüberstellung von Sohlenhebungen und Widerlagerverengungen sind aus Bild 3 ersichtlich. Darin sind auch die neuen Sohlengewölbe eingetragen, die sich auf eine Gesamtlänge von rund 1 km erstrecken. Auf der Länge der neuen Sohlengewölbe sind die Widerlager links und rechts teilweise bis in Kämpferhöhe erneuert worden.

Die Unstabilität des Planums, die Schäden an der Tunnelverkleidung und am Entwässerungssystem zwangen zu einer gründlichen und umfangreichen Sanierung dieses Tunnels.

Bild 6 zeigt ein typisches Rekonstruktionsprofil mit dem neuen Sohlengewölbe, die neue Tunneldole und die (mit unterschiedlicher Höhe) ausgeführten Neumauerungen der Widerlager. Letztere dienen einer guten Übertragung der Auflagerkräfte des Sohlengewölbes direkt in das Gebirge und der Gewährleistung des erforderlichen Lichtraumprofiles.

Die Rekonstruktionsarbeiten umfassten auch die Portalerweiterung auf der Seite Schinznach für die Streckung der Kurve, grössere Abdichtungsarbeiten mit Gunit, örtliche Neumauerungen und Sicherungen der Kalotte mit Spritzbeton, eine Versuchsstrecke für das schotterlose Geleise, Sohlensicherungen mit Brechsand und vor allem die Erneuerung der ganzen Entwässerungsanlage. Für sämtliche Beton- und Mörtelarbeiten wurde angesichts der chemischen Zusammensetzung des Bergwassers Sulfacemzement verwendet.

Der Zugverkehr musste immer eingleisig, ohne Einschränkungen, aufrecht erhalten bleiben, was zu komplizierten und kostspieligen Bauphasen und Bauvorgängen führte. Die Sanierungsarbeiten erfolgten in den Jahren 1963 bis 1967, und die Gesamtkosten beliefen sich auf rund 13 Mio Fr.

Präzisionsnivellemente haben ergeben, dass sich seit Ende der Rekonstruktionen im Jahre 1967 die Sohle nicht mehr gehoben hat.

Sanierung des Wipkingertunnels der SBB, 1. Etappe

Der doppelspurige, 959 m lange Wipkingertunnel zwischen Zürich-Wipkingen und Oerlikon wurde im Jahre 1856 dem Betrieb übergeben. Vom Südportal Seite Zürich aus durchfährt der Tunnel auf einer Länge von rund 200 m die Grundmoräne aus sandig-lehmigen Materialien. Anschliessend und bis zum Nortportal liegt der Tunnel in der oberen Süsswassermolasse, welche aus Schichten weicher Sandsteine und Mergel besteht. Die grösste Überlagerung beträgt 35 m. Das Tunnelgewölbe und die Widerlager sind mit Natursteinen gemauert.

Bereits im Jahre 1885 musste in der Moränenstrecke auf 13 m Länge ein 80 cm starkes Sohlengewölbe aus Sandstein eingezogen werden. 1892 wurden 27 Tunnelnischen eingebaut. Messungen in den Jahren 1898 bis 1920 ergaben sodann, dass sich das rechte Widerlager an einer Stelle der Moränenstrecke um 15 cm gesenkt und auch nach innen bewegt hat; die Tunnelsohle hatte sich gleichzeitig um 11 cm gehoben. Auch wurde beobachtet, dass das am Südportal ausfliessende Wasser durch einen feinen Schlamm, der aus der Moränenzone stammen musste, getrübt war. Daraufhin wurde in den Jahren 1922/23 auf die ganze Länge der Moränenstrecke ein Sohlengewölbe eingebaut und die Tunneldole neu erstellt. Auf 55 m Länge wurden auch Widerlager und Kalotte rekonstruiert. Die Widerlagerbewegungen konnten zum Stillstand gebracht werden.

In den Jahren 1924 und 1925 erfolgte im Hinblick auf die Elektrifikation eine Absenkung des Geleiseplanums, vorwiegend im südlichen Teil, um 20 bis 40 cm, zur Erreichung einer Fahrdrahthöhe von 4,85 m.

Auch in der Molassestrecke sind Einwärtsbewegungen der Widerlager festgestellt worden, die auf verschiedene Gründe zurückzuführen sind:

- Quellen des Mergels, was zur Hebung des Tunnelplanums führte.
- Wasserinfiltrationen aus den Bauschächten. Diese Eintritte waren zweitweise stark sandführend. Die in der Tunnelachse liegende Dole wurde teilweise verstopft. Die Folge davon waren örtliche Aufweichungen des Molasseuntergrundes sowie eine Verstärkung des Schwellvorganges, und dies wiederum verursachte weitergehende Schädigungen der Tunneldole. Dadurch wurde ferner ein kontinuierliches Eindringen von aufgeweichtem Molassematerial in den Bahnschotter bewirkt. Dieser Vorgang wurde durch die vom Zugsverkehr herrührenden Erschütterungen verstärkt. Die immer schlechter werdende Geleisebettung erforderte ständige Regulierungsarbeiten durch den Bahndienst.
- Durch die erwähnte Absenkung des Planums für die Elektrifikation wurde der Einbund der Widerlager in den Fels, welcher beim Tunnelbau rund 30 cm betragen hatte, auf längere Strecken besonders ab Tunnelmitte gegen das Südportal aufgehoben (Bild 7). Dadurch, sowie durch die nach innen gekrümmten Widerlager, die Hebung und Aufweichung der Sohle, wurde die Einwärtsbewegung begünstigt. Durch die Tieferlegung der Geleise verengte sich zudem der Abstand zwischen den Widerlagern rein geometrisch.

Seit 1960 wurden diese Bewegungen durch jährliche Distanzmessungen erfasst (Bild 5). Die Ergebnisse dieser Messungen bestätigen Einwärtsbewegungen, besonders in einem rund 100 m langen Abschnitt des linken Widerlagers in der Molasse von im Mittel 14 mm in 7 Jahren, im Maximum bei einer Messstelle 28 mm, das heisst im Mittel 2 mm pro Jahr, im Maximum 4 mm pro Jahr.

Die Tunnelkalotte befindet sich, abgesehen von einigen Tropfstellen und ausgewaschenen Fugen, in gutem Zustand.

Die seit Juli 1971 in Gang befindlichen Sanierungsarbeiten umfassen zur Hauptsache:

- den Neubau der Tunneldole mit Hilfe von Fertigelementen in tiefergesetzter Lage
- die Unterfangung der Widerlagerfundamente auf rund 120 m Länge links und rechts im Bereiche nach dem Übergang in die Molasse
- die Erneuerung des linken Widerlagers auf rund 30 m Länge im gleichen Bereiche an der Stelle der erwähnten grössten Einwärtsbewegungen
- den Einbau von Sohlengewölben auf rund 120 m Länge. Ausführung mit Hilfe von verschiebbaren Differdingerträger anstelle der Bahnschwellen.

Die Bauarbeiten können nur nachts mit Aufrechterhaltung des eingleisigen Zugsverkehrs und mit auf 50 km/h beschränkter Fahrgeschwindigkeit durchgeführt werden. Tagsüber werden beide Geleise ebenfalls mit 50 km/h befahren.

In einer späteren 2. Etappe, je nach dem Erfolg der 1. Etappe, besonders in bezug auf die Stabilisierung des Untergrundes durch die neue, tiefergelegte Dole, werden weitere Sohlengewölbeeinbauten und Widerlagerunterfangungen erfolgen.

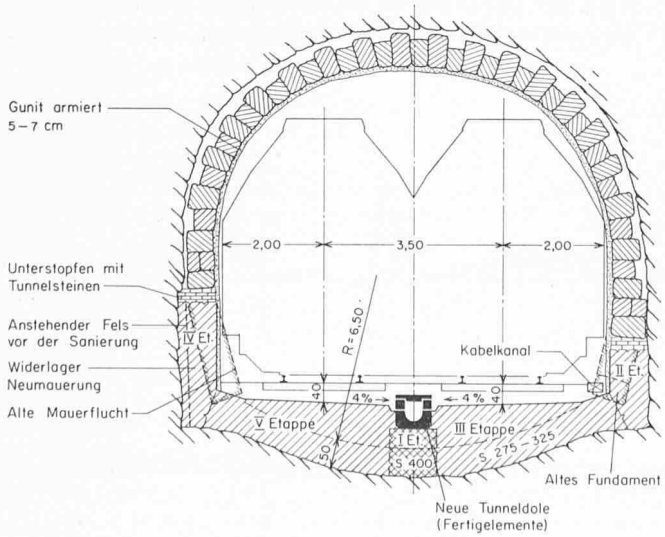


Bild 6. Typisches Profil mit Sohlengewölbe im Anhydrit (Rekonstruktion Bözbergtunnel 1963–67)

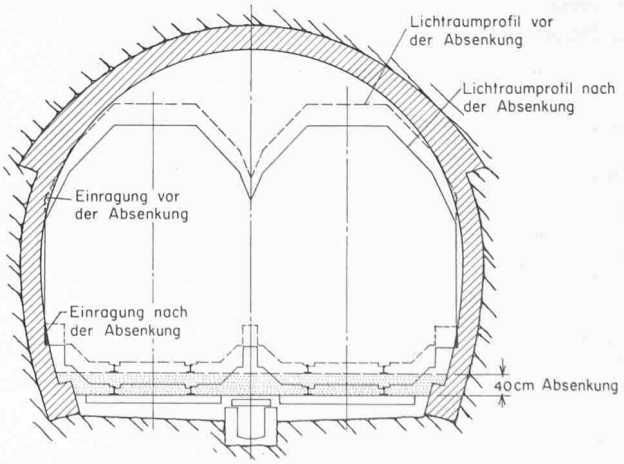


Bild 7. Einragung in das Lichtraumprofil und Entblössung der Widerlagerfundamente als Folge der Geleiseabsenkung im Wipkinger- und anderen Tunnel

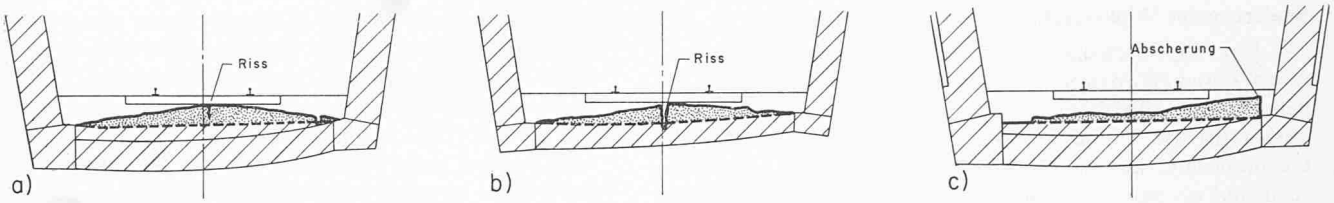


Bild 8. Querprofile mit Sohlenhebung im Rickentunnel. Gemäss dem schraffierten Profil wurde ursprünglich gebaut. Die Oberfläche der Tunnelsohle wurde vom ursprünglichen Zustand (gestrichelte fette Linie) um bis 40 cm angehoben (durchgezogene fette Linie). a) und c) Tunnelstrecken mit flachen Sohlengewölben, b) mit Sohlenplatte

Das Projekt für die Sanierung des Rickentunnels der SBB

Der Rickentunnel an der Strecke Rapperswil–Wattwil liegt auf der ganzen Länge von 8603 m in der unteren Süsswassermolasse, deren Leitgesteine aus einer Schichtfolge von Sandsteinen und Mergel verschiedener Beschaffenheit bestehen. Der Tunnel wurde in den Jahren 1903 bis 1910 gebaut. Aus der reichhaltigen Baugeschichte dürfte vor allem das Auftreten von Erdgas interessieren, welches bis vor wenigen Jahren, wenn auch nur in geringen Mengen, hie und da festgestellt werden konnte.

Bereits während der Bauarbeiten sind Sohlenhebungen und Widerlagerverengungen wahrgenommen worden. Es wurden daher flache, betonierte Sohlenabdeckungen und ebenfalls flache Sohlengewölbe eingezogen. Im Rahmen verschiedener Sanierungsetappen (1909 bis 1919) wurden schwerere Sohlengewölbe, teilweise aus Granitquadern bestehend, eingebaut. Im gleichen Zuge wurde auch die gesamte Tunnelverkleidung rekonstruiert, die auf verschiedenen Tunnelstrecken durch die Sohlenhebungen und den Auflockerungsdruck beschädigt worden war. Die Gesamtlänge des abgedeckten Tunnelplanums beträgt rund 5,6 km. Diese Sohlenabdeckungen weisen eine ausserordentliche Vielfalt von Profiltypen, Radien und Stärken auf. Ebenso vielfältig ist die Auskleidung der Strossen und der Kalotte.

Ein Teil der Sohlenabdeckung ist durch den Schwelldruck schwer beschädigt oder zerstört worden, wie auf Grund einer Sondierkampagne festgestellt werden konnte (Bild 8). Die Tunnelverkleidung hingegen befindet sich allgemein in einem guten Zustande.

Präzisionsnivellemente haben ergeben, dass die Hebungen der Sohle auf einer insgesamt etwa 2,5 km langen Strecke weiterhin ein beachtliches Ausmass aufweisen (Bild 9). Die Werte der Messungen konnten mit den über Jahre früher gemessenen Grössen verglichen werden. Im gleichen Masse zeigen sich ebenfalls Widerlagerverengungen (Bild 10), die in Beziehung zu den Sohlenhebungen gebracht werden können.

Das Sanierungsprojekt wurde erst nach umfangreichen Untersuchungen, Messungen, Beobachtungen, Sondierungen und Studien baureif. Es sieht folgende Hauptarbeiten vor:

- Neue Sohlengewölbe auf einer gesamten Länge von 1,0 bis 1,5 km (Varianten)
- Unterfangung der Widerlager im Bereiche der neuen Sohlengewölbe
- Erneuerung der Tunneldole auf der gesamten Länge von 8600 m.
- Erneuerung der Quellfassungen
- Sohlenregulierung und Sohlensicherung auf etwa 3 km Länge
- Abdichtung von etwa 12 000 m² der Tunnelverkleidung mit Gunit
- Verschiedene Nebenarbeiten, kleinere Sicherungen der Verkleidung, Reparatur von Nischen usw.

In diesem einspurigen Tunnel kann während der ganzen Bauzeit von 4 bis 5 Jahren nur in der Nachtpause, die nur verkürzte Nachtschichten erlaubt, gearbeitet werden. Der Bauvorgang entspricht demjenigen im Wipkingertunnel. Die Sanierungsarbeiten im Rickentunnel werden Bauunternehmung und Bauleitung vor schwierige Aufgaben stellen.

Schlusswort

Für die nahe Zukunft sind seitens der Schweizerischen Bundesbahnen weitere, zum Teil kostspielige Sanierungen von Tunnelanlagen vorgesehen. Diese Arbeiten erfordern sorgfältige, umfangreiche Untersuchungen und Projektierungsarbeiten. Die Aufrechterhaltung und die Sicherung des Zugverkehrs stellen an die Fachdienste der SBB, an die Bauunternehmung und an die Bauleitung grosse Anforderungen.

Hauptziele der Tunnelsanierungen sind die Gewährleistung der Sicherheit für die Abwicklung des Verkehrs sowie die Ausmerzung von betriebshemmenden Unzulänglichkeiten.

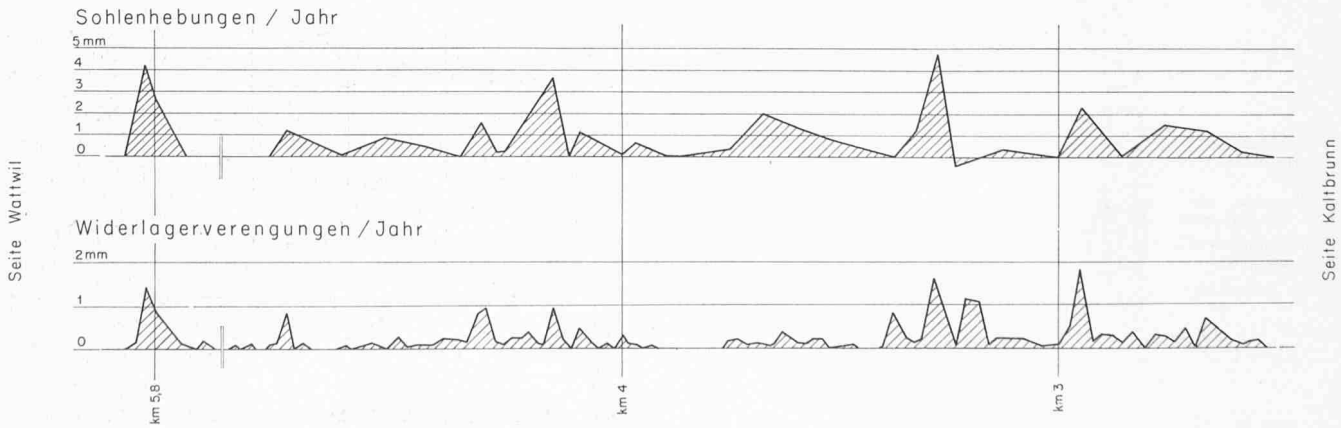


Bild 9. Ausschnitt aus einem Längenprofil des Rickentunnels, in welchem oben die Sohlenhebungen/Jahr, Mittel aus der Messperiode 1965 bis 1971 und unten die Widerlagerverengungen/Jahr aus der Messperiode 1950 bis 1970 aufgetragen sind

Summary

Building up Switzerland's railway system during the last century and the first quarter of the twentiest century, a great many tunnels, some of which are of considerable importance, have been constructed. In order to maintain the safe running of trains in these tunnels, special attention had to be given from the very beginning to the repair of damage arising from natural causes. Furthermore, in order to remove certain obstacles to trouble-free train movements, it has been necessary from time to time to carry out improvements. This was particularly the case in the tunnels of the Jura region and Central Switzerland. At present, work of this kind is going on in the Swiss Federal Railways' tunnels at Wipkingen and Burgdorf, and the modernisation of a number of other tunnels is to be tackled in the near future.

The main purpose of the article is to acquaint the reader with the damages and defects that arise. In some tunnels of the Swiss Federal Railways and of private railways, distortion of the foundation and its subsidiary effects have been found to occur in an area of combined rock and clay strata and in anhydrid soil. The work involved in making good this damage is both time-consuming and costly. Photographs and diagrams show the extent of the deformations caused to the tunnel foundation and walls as well as of the measures that have been taken to rectify them.

The article also contains a short account of the improvements carried out in the Swiss Federal Railways' Bözberg tunnel during the years 1963 to 1967 as well as of the work in hand in the Wipkingen tunnel referred to above. It finally shows how the Swiss Federal Railways' Ricken tunnel is to be improved, a project on which work will start shortly.

Résumé

Au siècle dernier et dans le premier quart du vingtième, le réseau ferroviaire, alors en plein essor, fut doté de nombreux tunnels, dont certains sont des ouvrages de grande envergure. Très tôt, il a fallu entreprendre des travaux d'assainissement d'une manière suivie, en particulier dans les souterrains du Jura et de la région du Plateau. A une époque plus récente, des réfections se sont imposées. Les CFF assainissement maintenant les tunnels de Wipkingen et de Burgdorf. D'autres opérations de ce genre sont en vue; elles débuteront sous peu.

Suit une description des formes de dégradation des tunnels et des défauts de ces ouvrages qui perturbent l'exploitation. Dans plusieurs souterrains de CFF et des chemins de fer privés, on a constaté des gonflements du radier, avec leurs phénomènes secondaires, lors de la traversée de roches argileuses ou d'anhydrite. Ces dommages nécessitent les plus vastes travaux d'assainissement. Des photographies et des diagrammes indiquent les dimensions des déformations de la plate-forme et du revêtement des parois ainsi que l'envergure des interventions.

La réfection du tunnel du Bözberg, dans les années 1963 à 1967, est brièvement évoquée. Mention est faite aussi des travaux en cours dans le tunnel de Wipkingen, qui se trouve également sur une ligne des CFF. Enfin, quelques précisions sont données au sujet de la prochaine remise en état du tunnel du Ricken, qui appartient au même réseau.

La réfection des tunnels a pour but d'assurer la sécurité du trafic et d'éliminer des causes de perturbation.

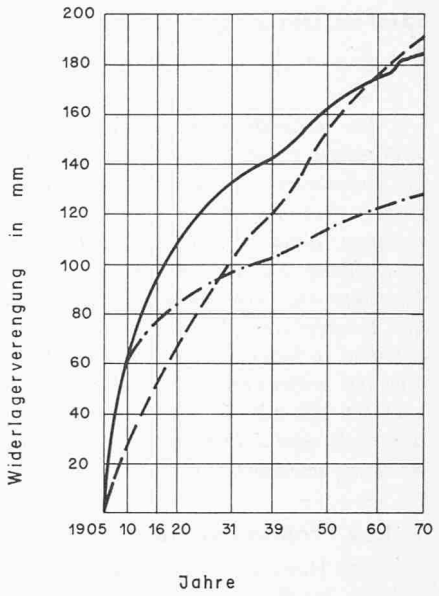


Bild 10. Widerlagerverengungen im Laufe der Zeit im Rickentunnel (Molassemergel)

Bözbergtunnel

Bauherr: Schweiz. Bundesbahnen, Kreis III, Zürich
Oberbauleitung: SBB-Bauabteilung Kreis III, Bausektion, Zürich
Projekt und örtliche Bauleitung: Ingenieurgemeinschaft Wehrli, Weimer, Golta / Soutter und Schalcher, Zürich
Bauunternehmung: Arbeitsgemeinschaft Rothpletz, Lienhard & Cie. AG, Aarau / AG C. Zschokke, Zürich

Wipkingertunnel

Bauherr: Schweiz. Bundesbahnen, Kreis III, Zürich
Oberbauleitung: SBB-Bauabteilung Kreis III, Bausektion, Zürich
Projekt: Elektro-Watt Ingenieurunternehmung AG, Zürich
Örtliche Bauleitung: SSB-Bauabteilung Kreis III, Bausektion Zürich / A. Golta, Ingenieurbüro, Zürich (Beratung)
Bauunternehmung: Th. Bertschinger AG, Zürich

Rickentunnel

Bauherr: Schweiz. Bundesbahnen, Kreis III, Zürich
Oberbauleitung: SBB-Bauabteilung Kreis III, Bausektion, Zürich
Projekt und örtliche Bauleitung: A. Golta, Ingenieurbüro, Zürich

Adressen der Verfasser: *A. Beck*, dipl. Bauing. ETH/SIA, Chef Bausektion, Kreisdirektion III der SBB, 8021 Zürich und *A. Golta*, Ingenieurbüro für Hoch- und Tiefbau, Sandacker 6, 8052 Zürich.

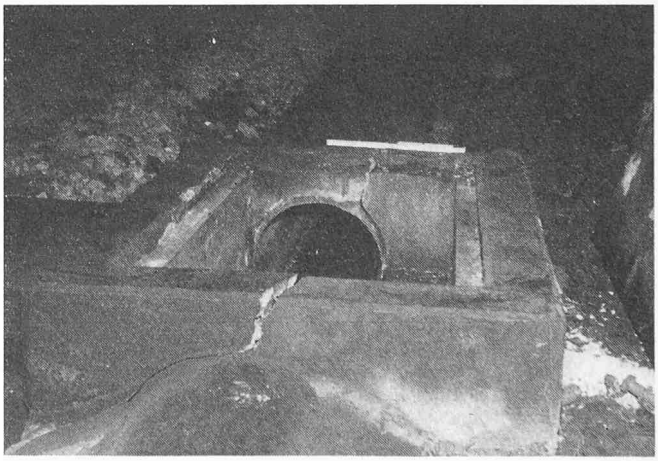



Bild 11. Zerstörung einer Tunneldole (Baujahr 1956) infolge Sohlenauftrieb. Oberer Hauensteintunnel, Aufnahme Juli 1972