

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 105 (1987)
Heft: 25

Artikel: Ausführungsaspekte bei Tunnelsanierungen
Autor: Fechtig, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-76634>

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: 15.01.2026

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

auf den eigenen Stützen steht. Verschiedene Plattformen auf dem Transportkarren erleichtern das Mitführen einer Batterie für die gesamte, unabhängige Stromversorgung und ergeben eine Abstellfläche für den mitgeführten Kleinrechner und den Hauptsteuerungskasten.

Erste Testergebnisse

Noch vor der Beschaffung des Kleinrechners und dem Beginn der Ausarbeitung der entsprechenden Auswertprogramme wurde das Messsystem mit Hilfe eines Kontrollprofils überprüft. Das Ergebnis des Vergleichs der Profile mit Ultraschallmessung einerseits und dem Kontrollnivelement andererseits hat ergeben, dass das Profil im allgemeinen recht genau, mit einer Präzision von unter 1 mm, wiedergegeben wird, wenn auch nach wie vor noch gewisse Differenzen bestehen. Letzere sind in erster Linie auf die Durchbiegung des Messbalkens unter Eigengewicht zurückzuführen. Dieser Einfluss ist konstant und kann im Auswertprogramm eliminiert werden.

Weitere Einflüsse auf das Messergebnis können auch von der Temperatur und Feuchtigkeit der Luft herrühren. Um

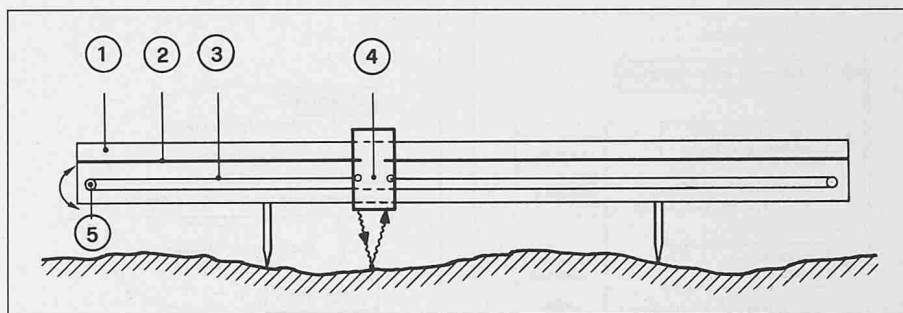


Bild 2. SQM-86, schematische Aufbauskizze

1 und 2 Messbasis, bestehend aus einem 4,25 m langen Alu-U-Profil auf Stützen und einer Präzisionslaufmaschine für die Messeinheit.

3 Antriebssaiten aus Kunststoff

4 Messeinheit, bestückt mit einem Ultraschall-

Wegmesssystem. Die Messfleckgröße im Abstand von rd. 100 mm beträgt etwa $35 \times 35 \text{ mm}^2$. Erhebungen mit kleinerer Fläche können erfasst werden, da das erste reflektierte Signal ausgewertet wird.

5 Antriebsmotor

diese Einflüsse zu berücksichtigen, wird bei jeder einzelnen Messung der Ultraschallgeber geeicht (Messung eines konstanten, bekannten Wertes am Endanschlag des Balkens).

Ausblick

Nach der Fertigstellung des dynamischen Querprofilmessgerätes DQM2, das einen raschen Überblick über die Ebenheits-Verhältnisse ganzer Stras-

senabschnitte bei hoher Geschwindigkeit erlaubt, steht zusammen mit dem beschriebenen Gerät ein Instrumentarium zur Verfügung, welches die Erhebung, Auswertung und Speicherung der für Strassen-Datenbanken notwendigen Messwerte rasch und genau ermöglicht.

Adresse des Verfassers: Prof. Karl Dietrich, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.

Ausführungsaspekte bei Tunnelsanierungen

Von Prof. R. Fechtig, Zürich

Die Sanierung von 60- bis 100jährigen Eisenbahntunneln stellt die Beteiligten, Bauherr, Projektierende und Unternehmerschaft vor ganz neue Probleme. Deren Lösung ist nur im engen, partnerschaftlichen Verhältnis möglich. Sanierungen unter Verkehr bringen erhöhte Risiken. Der Sicherheit, der Information und Organisation kommt eine besondere Bedeutung zu. Das Baugeschehen hat sich dem Betrieb unterzuordnen. Dies alles fordert von allen Beteiligten ein Umdenken und ein minuziöses Vorausplanen, eine besondere Auswahl der Equipen sowie eine straffe Führung, sonst kann ein Erfolg, zeitlich und finanziell, nicht sichergestellt werden.

Einleitung

Mit dem Zeitalter des Eisenbahnbaues wurden nicht nur in der Schweiz, sondern in ganz Europa zahlreiche Tunnel gebaut. Diese Bauwerke haben eine Altersstruktur von 60 bis 110 Jahren. Altersbeschwerden machen sich auch bei solch bestandenen Objekten bemerkbar: «Sie kommen in die Jahre.»

Seit dem Zweiten Weltkrieg haben sich die betrieblichen Bedingungen auf zahlreichen Strecken gewandelt. Die Frequenzen haben sich verstärkt, die rollenden Jahrestonnagen vervielfacht, die Profilansprüche sind anders geworden; geblieben jedoch ist die Tunnelröhre von anno dazumal.

Nicht überall kann die Sicherheit weiterhin gewährleistet werden, das Geleisebett ist in schlechtem Zustand, die

Vorflut und Drainagen nicht mehr funktionstüchtig. Der Zahn der Zeit nagt am Objekt.

In den vergangenen 15 bis 20 Jahren sind in der Schweiz erste Sanierungen ausgeführt worden. Erste Teams von Ingenieuren haben sich das notwendige Know-how solcher Sanierungsaufgaben zulegen können. Einige Unternehmen haben erste Sanierungsaufgaben erfolgreich abgeschlossen. Tunnelsanierungen haben andere Gesetzmässigkeiten als sonst irgendeine Tiefbauarbeit. Die nachfolgenden Ausführungen skizzieren die Optik des Ausführenden.

Tunnelsanierungen stellen die Unternehmerschaft vor ganz neue Probleme. Es stellt sich nämlich die Frage, inwieweit der Bauherr mit seinen Betriebsdiensten zum Partner im ganzen Geschehen wird (Bild 1).

Diese partnerschaftliche Beziehung gilt schwergewichtig für Eisenbahntunnel, hat aber in leicht abgeschwächter Form auch für Strassentunnel Gültigkeit.

Handelt es sich um ein Objekt, das für die Dauer der Sanierung stillgelegt wer-

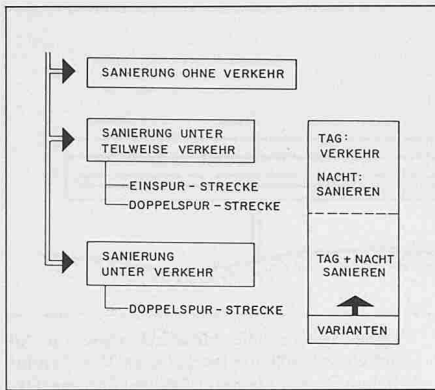


Bild 1. Partnerverhältnis bei Tunnelsanierungen

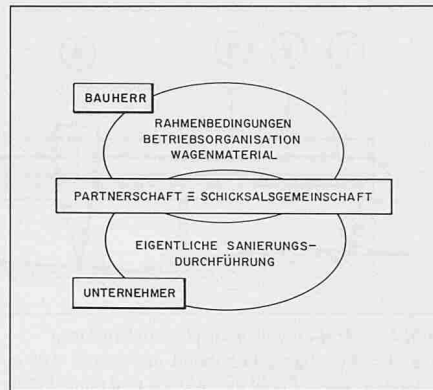


Bild 2. Sanierung unter Verkehr

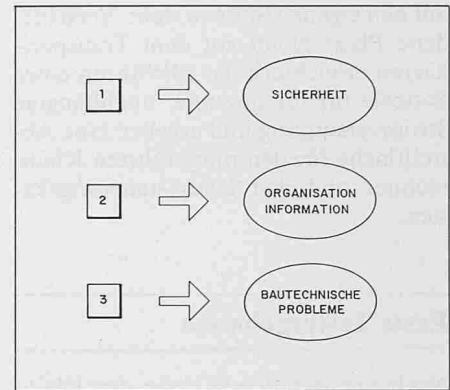


Bild 3. Prioritäten einer Tunnelsanierung

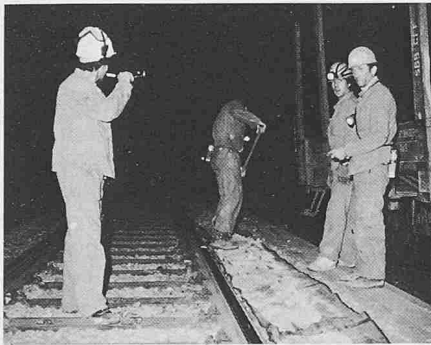


Bild 4. Sicherheitswärter im Einsatz

den kann, so verringern sich die Probleme gewaltig. Die Aufgabenstellung wird für den Unternehmer zu einer solchen des Umbaus.

Muss jedoch die Sanierung eines Objektes unter teilweisem oder vollem Verkehr durchgeführt werden, so wird die Aufgabenstellung sehr komplex. Die nachfolgenden Betrachtungen stützen sich auf die Variante «Sanierung unter Verkehr»

Die *Bauunternehmung* hat im Rahmen dieser engen Korsetts die eigentlichen Arbeiten durchzuführen. Sie muss jedoch auch umdenken, weil die *Prioritäten* bei einer Sanierungsarbeit anders gesetzt werden.

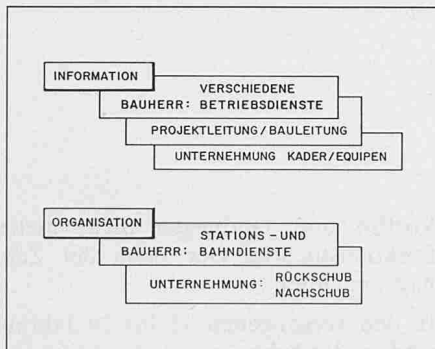
Prioritäten einer Tunnelsanierung (Bild 3)

Sicherheit

Oberstes Gebot ist die *Sicherheit*. Bauherr und Unternehmung haben ein Ziel: Es darf unter keinen Umständen etwas geschehen. Ein Sicherheitsdispositiv über alles und detaillierte Sicherheitsmassnahmen im besonderen zeichnen eine Tunnelsanierungsarbeit aus (Bild 4).

Sicherheitswärter bei den einzelnen Arbeitsequipen überwachen die Einzelheiten, akustische und optische Warnanlagen decken grössere Bereiche abschnittsweise ab. Nothaltsanlagen über die gesamte Baustelle – oft von mehreren Kilometern Länge – sollen die Kol-

Bild 5. Information und Organisation



Sanierung unter Verkehr

Eine Sanierung unter Verkehr bedingt ein äusserst enges Partnerschaftsverhältnis zwischen Bauherr und Unternehmer, das für die Dauer der Durchführung zu einer Schicksalsgemeinschaft wird (Bild 2).

Der *Bauherr* gibt mit seinem Betrieb die *Rahmenbedingungen*, er hat eine *Betriebsorganisation*, nach der sich der Unternehmer zu richten hat, und er stellt Wagenmaterial für die Durchführung der Arbeit zur Verfügung.

Bild 6. Was ist zu bauen?

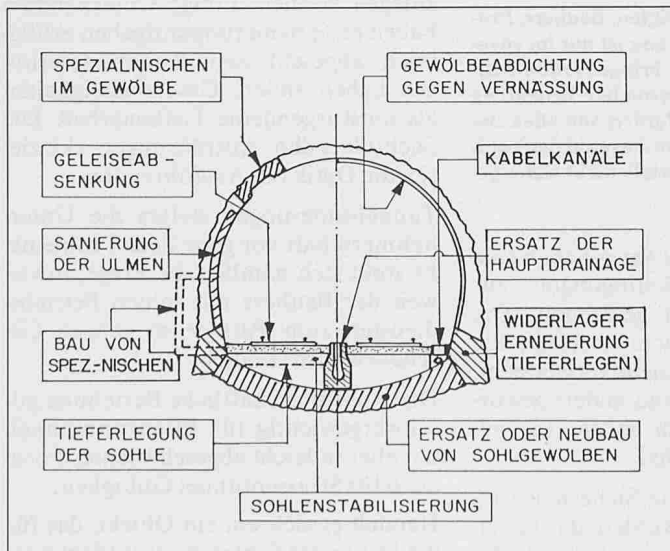
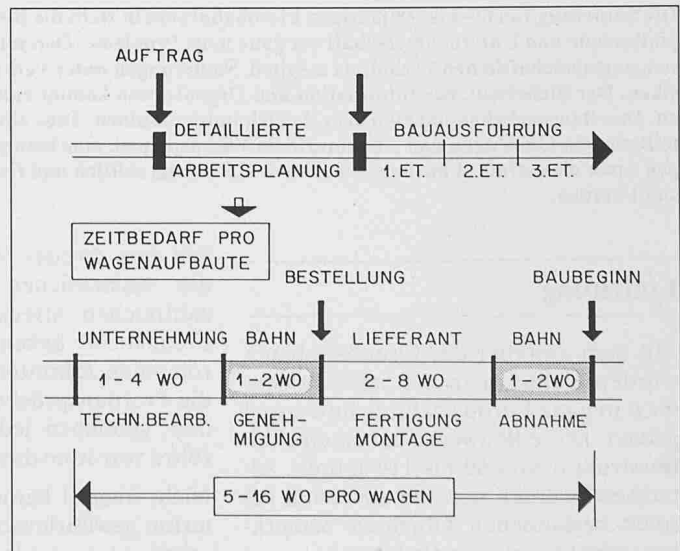


Bild 7. Phase der Arbeitsvorbereitung



	AUSBRUCH	FUNDAT. SCHICHT	ANKER/NETZE	SPRITZBETON	SCH/ARM/BETON	VORFAB. ELEMENTE
SOHLREGULIERUNG	●	●				
WIDERLAGER	●		(●) (●)	●		
SOHLGEWÖLBE	●				●	
NISCHEN SEITLICH	●		●	●	●	
NISCHEN GEWÖLBE	●		●	●		
GEWÖLBEABDICHTUNG			●	●		
DRAINAGEN	●				●	●
KANÄLE	●				●	●
ULMENSANIERUNG	●		(●) (●)	●		
PROFIL KORREKTUREN	●		(●) (●)			

Bild 8. Arbeitsschwerpunkte

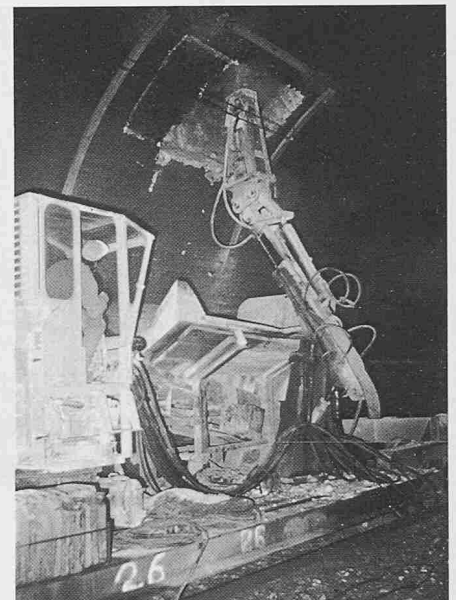


Bild 9. Nischenausbruch im Gewölbe

lisionsgefahr zwischen exponierten Bageräten und dem laufenden Zugsbetrieb bannen. Voraussetzung für ein einwandfreies Funktionieren des Sicherheitskonzeptes ist die *frühzeitige Schulung* aller Beteiligten. Ein einwandfreies Alarmdispositiv gehört mit zur Vorbereitung einer Tunnelsanierung.

Information und Organisation

Information und Organisation haben einen hohen Stellenwert (Bild 5). Eine Tunnelsanierung ist eingebunden in einen Fahrplan rund um die Uhr. Der laufende Bahnbetrieb herrscht eindeutig vor, die Detailorganisation der beteiligten Unternehmungen hat sich dem Betrieb unterzuordnen. Nur eine gute, einwandfreie Organisation gestattet das Entladen und Beladen der Wagen in den Schichtwechselzeiten. Die Bauzugslängen erreichen oft einige hundert Meter; das Umstellen und richtige Einreihen der Wagen verlangt von den Bahndienstorganen grösste Aufmerksamkeit. Fehler führen zu Zeitverlusten und würden die geplanten Arbeitsabläufe beeinträchtigen. Die Folge wären Minderleistungen der Bauunternehmung, Einbussen im Programmablauf und mitunter unliebsame Diskussionen über die Kosten.

Bautechnische Probleme

Welche bautechnischen Probleme hat der Unternehmer zu lösen, und was ist überhaupt zu bauen (Bild 6)?

Je nach Alter und Zustand des Tunnels sind verschiedenartigste Sanierungsmassnahmen durchzuführen. Geologie und Wasser sind mitbestimmend für Art und Umfang der Schäden. Handelt es sich um eine *werterhaltende* oder

eine *wertvermehrende Sanierung*? Sehr oft ist das letztere der Fall, denn verschiedene Bahnverwaltungen sind daran, ihre technischen Einrichtungen zu modernisieren (höhere Geschwindigkeiten, höhere Zugsdichten usw.).

Die gestellten Probleme führen bei jedem Objekt zu *massgeschneiderten Lösungen*. Es ist der Kreativität des Unternehmens überlassen, aufgrund der vorgegebenen Randbedingungen dem Bauherrn bestmögliche Vorschläge zu unterbreiten. Lösungen mit kurzen Bauzeiten werden im Vordergrund stehen, da ja immer auch die Kosten der bahneigenen Mittel miteinbezogen werden müssen.

Arbeitsvorbereitung

Hat der Bauunternehmer für ein angebotenes Projekt nach kürzerer oder längerer Verhandlungsdauer den Zuschlag

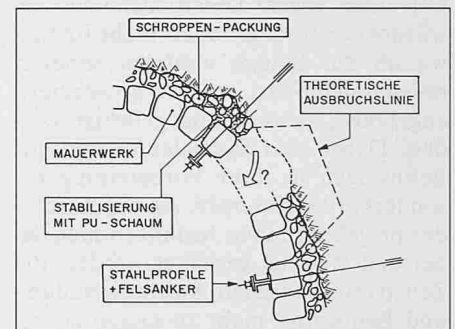


Bild 10. Stabilisierung der Schroppenpackung

Bild 11. Sprengschutzwagen

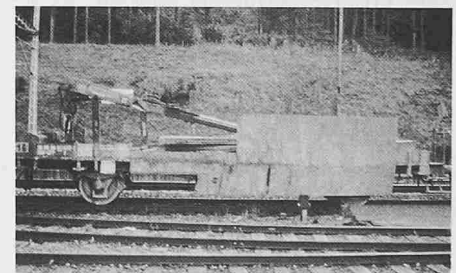
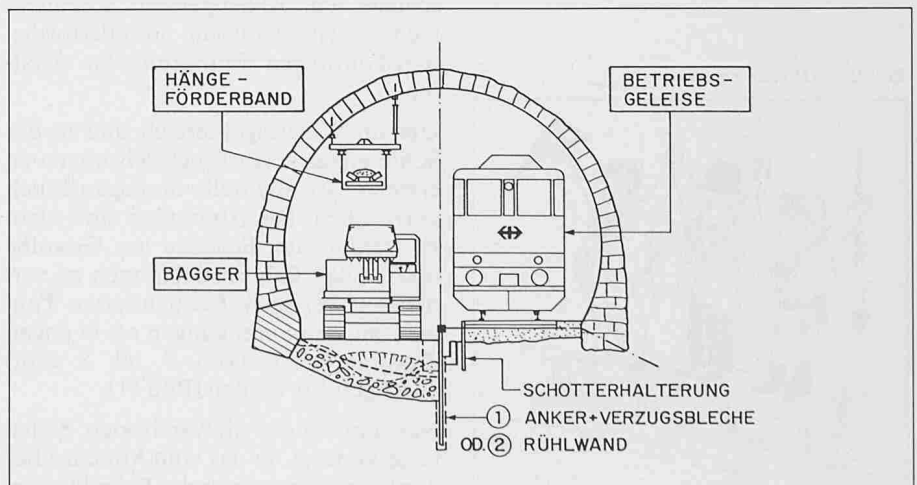


Bild 12. Ausbruch im Sohlgewölbe



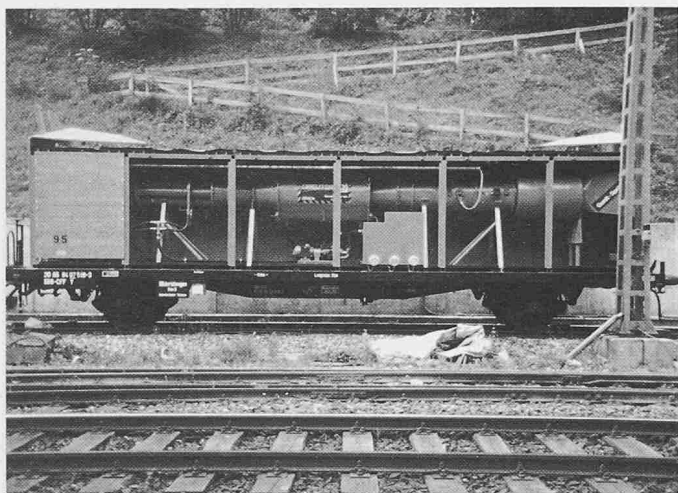


Bild 13. Schutzwagen für Sandstrahlarbeiten

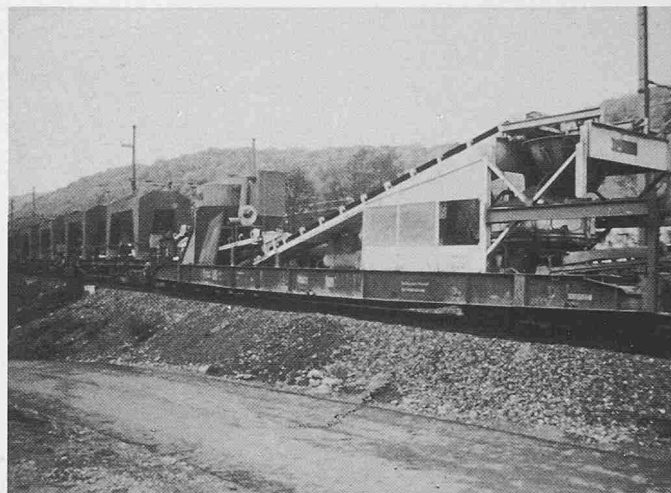


Bild 14. Betonzug des Hauenstein-Basistunnels

für eine Sanierungsarbeit erhalten, so beginnt für ihn die Phase einer minutiösen Arbeitsvorbereitung (Bild 7).

Oft oder meist lassen sich die gewünschten Installationen nicht irgendwo ab der Stange nehmen, sondern müssen detailliert geplant, konstruiert, angeboten, bestellt und gefertigt werden. Dabei sind Spezialaufbauten auf Bahnwagen in ihrer Vorbereitung besonders arbeitsintensiv. An die Adresse der projektierenden Instanzen mag daher den Wunsch gerichtet werden, die Zeitspanne zwischen Auftragserteilung und Baubeginn nicht zu knapp zu bemessen. Bei komplexen Objekten mit umfangreichen Installationen muss die Vergabe von einem halben Jahr als untere Grenze betrachtet werden. Es ist immerhin zu berücksichtigen, dass alle auf Wagen montierten Geräte und Installationen planlich durch die Spezialdienste der Bahn zu genehmigen und nach der Montage abzunehmen sind.

Baudurchführung

Welcher Art sind nun die Arbeiten, die bei einer solchen Sanierung zu bewälti-

gen sind? Die Übersicht der Arbeitsschwerpunkte mag verdeutlichen, dass bei fast allen Arbeiten *Ausbruch* auszuführen ist (Bild 8).

Ausbruchsarbeiten

Bei altem Mauerwerk ist der Fugenverbund oft schlecht und daher grösste Vorsicht beim Ausbruch geboten. Das Arbeiten mit Abbauhämmern muss gut überlegt sein. Der Ausbruch im Gewölbe und im Parament muss in kleinen Etappen erfolgen, um keine Materialniederbrüche zu verursachen (Bild 9).

Als vorteilhaft erweist sich das Sichern der Nachbarzonen mit Stahlprofilen und Felsankern. Damit kann ein Nachbrechen von seitlichem oder oberhalb liegendem Mauerwerk verhindert werden. Vorsicht ist vor dem Herausfallen der hinter dem Mauerwerk anstehenden Schroppenpackung geboten (Bild 10).

Eine vorgängige Verfestigung kritischer Zonen durch Verwendung von Polyurethanschaum oder eine Spritzbetonsicherung beim Öffnen des Schlitzes kann als Stabilisierung genügen. Vermag das alte Mauerwerk keine Druckschläge von Abbaugeräten aufzunehmen, so ist es ratsam, mit Performationsbohrungen Entlastung zu schaffen.

Um im Widerlagerbereich und in der Sohle grössere Ausbruchleistungen zu erzielen, ist allenfalls Sprengausbruch vorzusehen. Die Abschnitte sind klein zu wählen, um Schäden am Gewölbe und an den Bahninstallationen zu vermeiden. Bei stark frequentierten Tunneln müssen Sprengungen oft in engen Zugsintervallen (von 5 bis 8 min) durchgeführt werden (Bild 11).

Nur mit einem einwandfreien Sicherungskonzept, in das vom Mineur über den Sicherheitswärter der Bahn bis zum

Stations- oder Stellwerkbeamten alle am Sprengausbruch Beteiligten einbezogen werden, können solche Sprengarbeiten durchgeführt werden.

Heikel werden die Ausbruchsarbeiten im Sohlgewölbe, wenn die Seite des Betriebsgeleises noch nicht saniert ist. Je nach Qualität und Schichtung des dort anstehenden Felspaketes sind umfangreiche Sicherungsarbeiten mit Anker und Verzugsblechen oder mit einer vorgängig disponierten Rühlwand vorzusehen (Bild 12).

Bei solchen Arbeiten, wo die Ausbruchskote des Sohlgewölbes bis 3,5 m unter Schienenoberkante liegen kann, muss die Betriebsgleisseite genau beobachtet und begutachtet werden, um keine Überraschungen zu erleben.

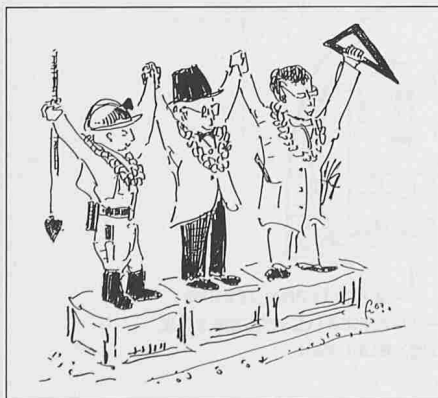
Spritzbetonarbeiten

Wenn Spritzbetonarbeiten für die flächenhaften Abdichtungen des Gewölbes vorgesehen sind, müssen die Auftragsflächen vorgängig gereinigt werden. Sandstrahlarbeiten in einem stark befahrenen Tunnel können jedoch nicht ohne besondere Schutzmassnahmen ausgeführt werden. Für die Arbeiten im Hauenstein-Tunnel zwischen Olten und Basel wurde ein Spezialwagen konstruiert, der zusätzlich mit einer Entstaubungsvorrichtung ausgerüstet worden ist (Bild 13).

Betonierarbeiten

Sind täglich umfangreiche Betonkubaturen einzubringen, was z. B. bei Sohlgewölbearbeiten der Fall sein kann, so sind Betonierinstallationen grösseren Ausmasses zu konzipieren. Probleme werden sich ergeben, wenn für derartige Installationen die notwendigen Schwerlastwagen für die Kiessilo-Dispositionen bereitgestellt werden müssen. Eine solche mobile Betonfabrik,

Bild 15. «Human Factor»



die in sechs Stunden bis zu 140 m³ Beton produziert, hat die beachtliche Länge von 150 m (Bild 14).

Logistik

Je nach der Grösse der Kubaturen, die an- und abtransportiert werden müssen, wird man sich ein Konzept zu-rechtlegen, das umweltbewusst per Bahn funktioniert. So ist es möglich, den Tunnelausbruch auf der Schiene in Deponien, die über Bahnanschluss verfügen, zu transportieren oder aber den Betonkiesantransport über die Schiene zu organisieren. Gleiches gilt für grössere vorfabrizierte Elemente, die ab Werk auf der Schiene herangeholt werden können.

Menschliche Aspekte einer Tunnelsanierung

Das gute Gelingen einer Tunnelsanierung ist nur gewährleistet, wenn gute Equipen und gute Kader an der Arbeit sind. Schlecht qualifizierte Leute haben auf derart heiklen Baustellen kein Brot. Eine straffe Führung ist notwendig, um die Belegschaft, die unter schwierigen Bedingungen zu arbeiten hat, zusammenzuhalten (Bild 15).

Die Anforderungen an alle Beteiligten sind sehr gross. Daher ist es von ausserordentlicher Wichtigkeit, dass die verantwortlichen Vertreter des Bauherrn, der Projektierung und der Bauleitung,

wie auch der Unternehmung, die gleiche Sprache sprechen. Individualitäten mit Prestigedenken sind in einem Tunnelsanierungsprojekt am falschen Platz.

Allen Berufskollegen, die sich in Zukunft mit Tunnelsanierungsarbeiten zu befassen haben, möge ein ideenreicher Kopf in der Planung und eine unfallfreie, gut organisierte, sichere Durchführung beschieden sein.

Adresse des Verfassers: Prof. R. Fechtig, Vorsteher des Institutes für Bauplanung und Baubetrieb, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.

Betriebssimulation von Eisenbahnnetzen

Von Peter Giger, Zürich

Im Jahre 1981 wurde am ETH-Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau unter Leitung von Prof. Hans Grob ein Softwareprojekt begonnen. Es sollte ein Programmpaket zur Simulation von Eisenbahnnetzen auf Kleincomputern entwickelt werden. Diese Programme wurden später in Abkürzung von Railway Simulations RWS genannt. Mit RWS kann auf marktüblichen Personalcomputern das ganze Eisenbahnnetz der Schweiz gleichzeitig simuliert werden. Damit eröffnen sich neue Möglichkeiten beim Entwurf von Fahrplänen. Erstmals können verschiedene Fahrplanprojekte gleichzeitig entwickelt und in allen betrieblichen Aspekten verglichen werden. Als weitere Möglichkeit können die Auswirkungen von Eisenbahnbauprojekten auf die Einhaltung des Fahrplanes abgeklärt werden.

Das Modell

Algorithmen

Die mathematische Beschreibung des Fahrverhaltens eines Zuges ist jedem Betriebsfachmann bekannt [1]. Gewisse Probleme bieten die Adhäsion, wozu kein befriedigendes theoretisches Modell besteht, und die Geschwindigkeitsregelung durch den Lokomotivführer. Für die Simulation grosser Eisenbahnnetze müssen die Algorithmen für kurze Rechenzeiten eingerichtet werden. Bei RWS sind nichtlineare Funktionen in Tabellen gespeichert, damit aufwendige arithmetische Operationen durch Zugriffe auf Stützwerte der Funktion ersetzt werden. Lineare Funktionen im reellen Zahlenbereich wurden auf Operationen im integren Bereich umgeformt.

Datenstrukturen

Die Parameter zur Berechnung des Fahrverhaltens sind durch die Eingabedaten bestimmt. RWS verlangt vom Be-

nutzer eine Unterteilung des Gleisnetzes an Stellen mit Informationsübertragung zwischen festen Bahnanlagen und Zügen (z. B. Signale oder Gleisisolierungen bei Weichen) sowie bei Änderung der Krafteinwirkungen auf die Züge (Wechsel der Steigung, Tunnelportal usw.). Das Gleisnetz zerfällt somit in Elemente, deren Attribute aus der Länge, Steigung und weiteren Informationen bestehen, die mathematische Eigenschaften einer Menge aufweisen [2].

Das Zusammenfügen der Gleiselemente zum ganzen Netz erfordert eine leistungsfähige Datenstruktur. Der Weg, die Elemente gemäss Graphentheorie als Kante zu deuten, liegt nahe. Bei RWS wurde jedoch eine andere Lösung gewählt. Hier werden die Elemente in der Reihenfolge, wie sie von den Zügen befahren werden, als Liste im Sinne der Informatik aufgefasst. Einige Vor- und Nachteile dieser Konzepte seien kurz erwähnt:

- Der graphentheoretische Ansatz benötigt mehr Daten und führt zu auf-

wendigeren Algorithmen als das Listenkonzept.

- Die Redundanz ist beim graphentheoretischen Ansatz grösser, was schärfere Tests an den Eingabedaten ermöglicht. Umgekehrt ist das Listenkonzept flexibler für komplizierte Betriebsabläufe.
- Graphentheoretisch abgestützte Programme können gewisse Optimierungsprobleme lösen (Suche von kürzesten Wegen usw.), während beim Listenkonzept die Züge nur den vom Programm benutzer eingegebenen Routen folgen

Sinnvolle Strukturierungsmerkmale sind Fahrstrasse und Blockabschnitt, da das Sicherheitskonzept der Stellwerke darauf abgestellt ist. Eine Fahrstrasse (mit allfällig anschliessendem Blockabschnitt) wird als Liste von Gleiselementen definiert. Durch Stellwerke wird sichergestellt, dass sich nur ein Zug in der gleichen Fahrstrasse aufhalten (oder in die Fahrstrasse einfahren) darf. Fügt man jedem Element ein Attribut hinzu, das die Zustände

Bild 1. Datenstruktur der Gleiselemente bei RWS-Programmen

